

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**SODYUM KLORÜRLÜ VE SODYUM BİKARBONATLI SULAMA SULARININ
KULLANIMINA BAĞLI OLARAK TOPRAĞIN FİZİKSEL VE KİMYASAL
ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN BELİRLENMESİ**

Ayşe ERTAŞ PEKER

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ANKARA
2021**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

SODYUM KLORÜRLÜ VE SODYUM BİKARBONATLI SULAMA SULARININ KULLANIMINA BAĞLI OLARAK TOPRAĞIN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN BELİRLENMESİ

Ayşe ERTAŞ PEKER

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK

Bu çalışma, Na içeren tuzlu sulama sularının neden olduğu toprak fiziksel ve hidrolojik özelliklerindeki değişimleri izlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, tarla koşullarında, üç tekerrürlü ve beş uygulama olacak şekilde çakılı deneme alanı oluşturulmuştur. NaCl ve NaHCO₃ tuzları ile hazırlanmış, EC değerleri 3 dS m⁻¹, den düşük ve SAR değerleri 20 ve 40 olan sulama suları damlama sulama yöntemi ile parsellere uygulanmıştır. Deneme süresince 15 sulama yapılmış ve her beş yıkama sonrası olmak üzere dört dönemde 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinlikten toprak örnekleri alınarak fiziksel, kimyasal ve hidrolojik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar toprakların yüksek tamponlama özelliğinden dolayı toprak pH'sının tuz uygulamalarına bağlı olarak dönemsel değişiminin önemli olmadığını, ancak 4. dönemde SAR 40 NaHCO₃ tuz uygulamasında önemli olduğunu göstermiştir. Tuzlu sulamaların yapıldığı dönemlerde hem yüzey toprağında hem de alt toprakta EC_e, suda çözünebilir Na, Cl, SAR ve ESP değerleri, her iki tuz çeşidinde de, NaCl uygulamasının artmasıyla ve SAR değerindeki artışa paralel olarak artmıştır. Sodyum bikarbonatlı (NaHCO₃) suyun kullanılması ile hacim ağırlığı artmış, buna karşılık infiltrasyon hızı önemli derecede azalmıştır. Suyu dayanıklı agregat yüzdesi için en düşük değerler NaHCO₃ uygulamasının SAR 40 düzeyinde bulunmuştur. Bununla birlikte toprak agregatlarının ortalama ağırlık çapı ve geometrik ortalama çaplarının tuzlu uygulamalara göre dönemsel değişimleri önemli olmamıştır. Sonuç olarak, Na içeren sularla uzun süren sulamalar yapılması durumunda, toprakların fiziksel, kimyasal ve hidrolojik özelliklerinin değerlendirilmesinde sulama suyu kalitesi, tuz çeşidi, sulama dönemi, sulama sıklığı gibi faktörlerin göz önünde bulundurulmasının gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Temmuz 2021, 222 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sulama suyu tuzluluğu, sulama suyu kalitesi, toprak bozulumu, sodyum, kation değişimi

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DETERMINING THE CHANGE IN THE SOİL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF DEPENDING ON THE USE OF WATER WITH SODIUM CHLORIDE AND SODIUM BICARBONATE

Ayşe ERTAŞ PEKER

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science

Supervisor: Prof. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK

The aim of this study was to determine the changes in soil physical and hydrological properties caused by use of saline irrigation water containing Na. For this purpose, a field trial was set up with five treatments and three replications. Water with 20 and 40 SAR values and with EC values less than 3 dS m⁻¹ was prepared from NaCl and NaHCO₃ salts and applied by drip irrigation. During the trial, fifteen irrigations were performed and soil samples were taken along the profile from 0-10, 10-20 and 20-30 cm depths in four periods after the fifth and tenth irrigations and at end of the winter season - just before the irrigation of the following season, and finally, after the last leaching. Changes in soil physical, chemical, and hydrological properties were evaluated throughout the experimentation. The seasonal changes of soil pH was not significant due to the high buffering capacity of the soils, while only after the 4th period of SAR 40 NaHCO₃ salt application, soil pH changed significantly. The soil pH, EC_e, water soluble Na and Cl, SAR and ESP values both at the surface and subsurface increased in parallel with NaCl application and SAR values for both salt types. Depending on the use of water with NaHCO₃, the dry bulk density increased, whereas and infiltration rate decreased significantly. The lowest values for the percentage of water stable aggregates were found at the SAR 40 of NaHCO₃ application. However, seasonal differences in mean weight diameters and geometric mean diameter of soil aggregates were not significant. It was concluded that in the case of long-term irrigation with Na enriched water, factors such as irrigation water quality, salt type, irrigation period, and irrigation frequency should be considered in the assessment of physical, chemical and hydrological properties of soils.

July 2021, 222 pages

Key Words: Irrigation water salinity, irrigation water quality, soil degradation, sodium, cation exchange

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez konusunun belirlenmesinde beni yönlendiren, çalışmanın tüm aşamalarında yardımını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK'e (Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı) teşekkürlerimi sunarım. Tez İzleme Komitesi toplantılarında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım hocam Sayın Prof. Dr. Gökhan ÇAYCI'ya (Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı) ve Sayın Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN'e (Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Mühendisliği Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı) tezimin çeşitli aşamalarında yardım ve desteğini aldığım Ankara Üniversitesi Toprak Bölümü Araştırma Görevlisi Dr. M. Onur AKÇA, Araştırma Görevlisi Çağla TEMİZ ve Dr. Öğr. Üyesi Selen DEVİREN SAYGIN'a ve ayrıca isimlerini saymadığım tezimin hazırlamamda yardımlarını gördüğüm tüm akademik ve idari pesonele teşekkür ederim. Tez çalışmamın yürütülmesinde her türlü yardımı gösteren Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne, analizlerin yapılmasında yardımını hiçbir zaman esirgemeyen Toprak ve Su Kaynakları bölümündeki tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında ve çalışmalarım süresince dualarıyla beni yalnız bırakmayan yanımda olan annem Suna ERTAŞ'a, manevi desteklerini her daim gösteren babam Hüsamettin ERTAŞ'a derin duygularıyla teşekkür ederim. Çalışmalarım süresince fedakârlıklar gösteren benimle çalışan ve beni destekleyen kendilerine az zaman ayırmama karşın desteklerini hiç esirgemeyen özellikle de en umutsuz anlarımda bile her an yanımda ve hep umudum olan, yaşam kaynağım eşim Serdal PEKER'e ve hayatımı daha da anlamlı, güzel ve değerli kılan canım oğlum Çağan Emir ve canım kızım Zehra Eslem'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayşe ERTAŞ PEKER
Ankara, Temmuz 2021

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ ve KURAMSAL TEMELLER	5
2.1 Toprakta Tuzluluğun Oluşumu ve Tuzluluğu Etkileyen Faktörler	5
2.2 Sulama Suyu Kalitesi	9
2.2.1 Sulama suyu kalitesinin bitkilere olan etkileri	17
2.2.2 Sulama suyu kalitesinin toprağa olan etkileri	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	50
3. 1 Materyal.....	50
3.1.1 Çalışma alanı	50
3.1.1.1 Çalışma alanı hidrolojisi.....	51
3.1.1.2 Çalışma alanı bitki örtüsü	51
3.1.1.3 Çalışma alanı iklimi	52
3.1.1.4 Çalışma alanı jeolojisi	53
3.1.1.5 Çalışma alanı toprak özellikleri	54
3.2 Yöntem	54
3.2.1 Deneme alanının oluşturulması	54
3.2.2 Sulamaların yapılması	56
3.2.3 Toprak örneklerinin alınması	59
3.2.4 Analizler	61
3.2.4.1 İnfiltrasyon testlerinin yapılması	61
3.2.4.2 Laboratuvar analizleri	63
3.2.4.3 İstatistiksel analizler	65

4. BULGULAR ve TARTIŞMA	66
4.1 Çalışma Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel, Hidrolojik ve Kimyasal Özellikleri	66
4.2 Çalışma Topraklarının Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	78
4.3 Tuzlu Sulama Uygulamalarına Bağlı Olarak EC_e, Toprak pH'sı, Suda Çözünebilir ve Ekstrakte Edilebilir Katyonlar, Suda Çözünebilir Anyonlar, Toprak SAR ve ESP Değerlerindeki Değişimler	84
4.3.1 EC_e	85
4.3.2 Toprak pH' sı	90
4.3.3 Toprakta katyonların değişimi	95
4.3.3.1 Suda çözünebilir Na	95
4.3.3.2 Suda çözünebilir Ca	100
4.3.3.3 Suda çözünebilir K	104
4.3.3.4 Suda çözünebilir Mg	107
4.3.3.5 Ekstrakte edilebilir Na	111
4.3.3.6 Ekstrakte edilebilir Ca	114
4.3.3.7 Ekstrakte edilebilir K	117
4.3.3.8 Ekstrakte edilebilir Mg	120
4.3.4 Toprakta anyonların değişimleri	123
4.3.4.1 Suda çözünebilir Cl	123
4.3.4.2 Suda çözünebilir HCO_3	128
4.3.5 Toprakta SAR	132
4.3.6 ESP	136
4.4 Tuzlu Sulama Uygulamalarına Bağlı Olarak İnfiltrasyon Hızı, Suya Dayanıklı Agregat Yüzdesi, Ortalama Ağırlık Çap, Geometrik Orta Çap ve Hacim Ağırlığı Değerlerindeki Değişimler	141
4.4.1 İnfiltrasyon hızı	142
4.4.2 Suya dayanıklı agregat yüzdesi	150
4.4.3 Ortalama ağırlık çap (OAC)	160
4.4.4 Geometrik orta çap (GOC)	163
4.4.5 Hacim ağırlığı	164

5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	172
KAYNAKLAR1	178
ÖZGEÇMİŞ.....	222



SİMGELER DİZİNİ

°C	:Santigrad
%	:Yüzde
atm	:Atmosfer
cm	:Santimetre
dS	:DesiSiemens
h	:Saat
cm	:Santimetre
g	:Gram
km	:Kilometre
km ²	:Kilometrekare
m	:Metre
me	:Miliekivelan
mg	:Miligram
m ²	:Metrekare
m ³	:Metreküp
ml	:Mililitre
mm	:Milimetre
mmhos	:Milimhos
L	:Litre
s	:Saniye
<	:Küçük
>	:Büyük

Kısaltmalar

AAS	:Atomik absorpsiyon spektroskopisi
AgCl	:Gümüş klorür
Al	:Alüminyum
AO	:Aritmetik ortalama
B	:Bor
Ca	:Kalsiyum
CaCl ₂	:Kalsiyum klorür
CO ₂	:Karbondioksit
CO ₃	:Karbonat
CaSO ₄	:Kalsiyum sülfat (jips)
Ca(OH) ₂ .CaSO ₄	:Kalsiyum hidroksit
CaCO ₃	:Kalsiyum karbonat(kireç)
(CH ₃ COONH ₄)	:Amonyum Asestat
Cl	:Klor
Db	:Hacim ağırlığı
EC	:Elektriksel iletkenlik
ESP	:Değişebilir sodyum yüzdesi

EMI	:Elektromagnetik indüksiyon
FAO	:Gıda ve tarım örgütü
Fe	:Demir
GOÇ	:Geometrik orta çap
H	:Hidrojen
H ₂ O	:Saf su
HCO ₃	:Bikarbonat
K	:Potasyum
KCl	:Potasyum klorür
KDK	:Kasyon değişim kapasitesi
K ₂ SO ₄	:Potasyum sülfat
K ₂ CO ₃	:Potasyum karbonat
KNO ₃	:Potasyum nitrat
LF	:Yıkama fraksiyonu
Mg	:Magnezyum
MgCO ₃	:Magnezyum karbonat
MgSO ₄	:Magnezyum sülfat
Na	:Sodyum
NaCl	:Sodyum klorür
Na ₂ CO ₃	:Sodyum karbonat
Na ₂ CrO ₄	:Sodyum kromat
NaHCO ₃	:Sodyum bikarbonat
NaNO ₃	:Sodyum nitrat
Na ₂ SO ₄	:Sodyum sülfat
NO ₃	:Nitrat
NaOH	:Sodyum hidroksit
OAÇ	:Ortalama ağırlık çap
OH	:Hidroksil
OM	:Organik madde
SAR	:Sodyum adsorbsiyon oranı
SDA	:Suya dayanlı agregat
Өsn	:Solma noktası (cm ³ cm ⁻³)
S.H	:Standart hata
SO ₄	:Sülfat
SS	:Standart sapma
PVC	:Polivinil klorür
Ө ₅₀₀	:Tarla kapasitesi (cm ³ cm ⁻³)
VK	:Varyasyon katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 NaCl tuzunun suda çözünmesinin şematik görünümü	16
Şekil 2.2 Kolloidal bir sistemde oluşan potansiyel fark (zeta potansiyel)	28
Şekil 2.3 İyonların değişiminde hidratlaşma olayı	30
Şekil 2.4 Kalsiyum ve sodyum moleküllerinin fiziksel düzenlemedeki farklılığı	38
Şekil 3.1 Çalışma alanının konumu	50
Şekil 3.2 Çalışma alanına ait 1989-2018 yılları arasındaki iklimsel veriler	53
Şekil 3.3 Deneme alanından görüntüler	55
Şekil 3.4 Deneme deseni	56
Şekil 3.5 Sulama boruları yerleştirilen parseller	59
Şekil 3.6 Sulamaların yapılması	59
Şekil 3.7 Toprak örneklerinin alınması ve analizlere hazırlanması	61
Şekil 3. 8 Çift silindri infiltrometre ile infiltrasyon testlerinin yapılması	62
Şekil 4.1 Çalışma topraklarına ait su tutma eğrisi	71
Şekil 4.2 EC _e nin sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	88
Şekil 4.3 Toprak pH' sının sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	93
Şekil 4.4 Toprakta suda çözünebilir Na' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	98
Şekil 4.5 Toprakta suda çözünebilir Ca' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	102
Şekil 4.6 Toprakta suda çözünebilir K' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	105
Şekil 4.7 Toprakta suda çözünebilir Mg' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	109
Şekil 4.8 Toprakta ekstrakte edilebilir Na' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	112
Şekil 4.9 Toprakta ekstrakte edilebilir Ca' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	115
Şekil 4.10 Toprakta ekstrakte edilebilir K' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	118

Şekil 4.11 Toprakta ekstrakte edilebilir Mg' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	121
Şekil 4.12 Toprakta suda çözünebilir Cl' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	126
Şekil 4.13 Toprakta suda çözünebilir HCO ₃ ' in sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	130
Şekil 4.14 Toprakta SAR' in sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	135
Şekil 4.15 ESP' nin sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	140
Şekil 4.16 İnfiltrasyon hızının sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	149
Şekil 4.17 Suya dayanıklı agregat yüzdesinin sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	158
Şekil 4.18 Ortalama ağırlık çapın sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	162
Şekil 4.19 Geometrik orta çapın sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	164
Şekil 4.20 Hacim ağırlığının sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi	169

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Tuzlu toprakların sınıflandırılması	6
Çizelge 2.2 Sulama sularında bulunan başlıca iyonlar.....	11
Çizelge 2.3 Sulama sularının EC değerlerine göre sınıflandırılması	13
Çizelge 2.4 Sulama sularının SAR değerlerine göre sınıfları	14
Çizelge 2.5 Katyon ve anyonların bileşiminden oluşan iyonik tuz kristalleri	15
Çizelge 2.6 Bazı tuz çeşitlerinin 1 atm basınç altında ve sıcaklığa bağlı olarak sudaki çözünürlükleri	17
Çizelge 2.7 Bazı iyonların dehidrate ve hidrate yarıçapları.....	31
Çizelge 2.8 Sabit bir yüzey potansiyelinde elektrolit konsantrasyonun yaklaşık elektriksel çift tabaka kalınlığı	32
Çizelge 3.1 Ekstract Chem programı ile tahmin edilen sulama suyu derişimleri	58
Çizelge 3.2 Sulama suyu konularına göre verilecek tuz miktarları	58
Çizelge 3.3 Sulama takvimi, sulama uygulamalarına göre verilen sulama suyu ve tuz miktarları ile toprak örnekleme zamanları	60
Çizelge 4.1 Çalışma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	67
Çizelge 4.2 İnfiltrasyon hızı sınıfları	70
Çizelge 4.3 Çalışma alanı topraklarının 9 farklı basınç potansiyeli altında RETC programında Mualem (1976)'ya göre belirlenen Van Genuchten parametreleri.....	71
Çizelge 4.4 Toprakların bazı kimyasal özelliklerinin nitelendirilmesi	76
Çizelge 4.5 Çalışmada kullanılan sulama suyuna ait bazı özellikler	78
Çizelge 4.6 Sulama suyu kriterleri	78
Çizelge 4.7 Çoklu karşılaştırma testi sonucunda toprak özelliklerine ilişkin P değerleri.....	81
Çizelge 4.8 İzlenen toprak özelliklerinde sulama suyu dozlarına göre yapılan Tukey testi sonuçları	82
Çizelge 4.9 İzlenen toprak özelliklerinde sulama suyu tuz çeşidine göre yapılan Tukey testi sonuçları.....	83
Çizelge 4.10 İzlenen toprak özelliklerinde toprak derinliğine göre yapılan Tukey testi sonuçları	84
Çizelge 4.11 EC _e ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları	89
Çizelge 4.12 Toprak pH'sı ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	94
Çizelge 4.13 Toprakta suda çözünebilir Na ortalamalarına ait çoklu gruplandırmaları. ..	99

Çizelge 4.14 Toprakta suda çözünebilir Ca ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	103
Çizelge 4.15 Toprakta suda çözünebilir K ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	106
Çizelge 4.16 Toprakta suda çözünebilir Mg ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	110
Çizelge 4.17 Toprakta ekstrakte edilebilir Na ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	113
Çizelge 4.18 Toprakta ekstrakte edilebilir Ca ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	116
Çizelge 4.19 Toprakta ekstrakte edilebilir K ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	119
Çizelge 4.20 Toprakta ekstrakte edilebilir Mg ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	122
Çizelge 4.21 Toprakta suda çözünebilir Cl ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	127
Çizelge 4.22 Toprakta suda çözünebilir HCO ₃ ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	131
Çizelge 4.23 Toprakta SAR ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları	136
Çizelge 4.24 ESP ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	141
Çizelge 4.25 İnfiltrasyon hızı ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	150
Çizelge 4.26 Suya dayanıklı agregat yüzdesi ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	159
Çizelge 4.27 Ortalama ağırlık çap ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	163
Çizelge 4.28 Geometrik orta çap ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	166
Çizelge 4.29 Hacim ağırlığı ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları.....	171

1.GİRİŞ

Kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak bozulumuna neden olan en önemli sorunların başında tuzluluk ve alkalilik gelmektedir (Kwiatowsky 1998, Faritfeh vd. 2006). Dünyada tuzluluk nedeniyle her yıl yaklaşık 10 milyon hektar arazinin kullanılamaz duruma gelmesi kaçınılmaz olmaktadır (Aydınşakir vd. 2012). Bu bölgelerdeki sulanan tarım alanlarının yaklaşık % 50'sinde değişik seviyelerde tuzluluk sorunu görülmektedir (FAO 1988, Szabolcs 1991, Karaoğlu ve Yalçın 2018). Dünyadaki sulu tarım yapılan alanların % 20'si fazla sulamadan dolayı tuzlanmayla karşı karşıya kalmıştır. Su kıtlığı ve toprak tuzluluğu sürdürülebilir tarımı etkileyen en önemli iki unsurdur (Chen vd. 2010, Kang vd. 2017, Javadinejad vd. 2019). Ayrıca toprak tuzluluğu bitkilerin yetişmesini sınırlandıran faktörlerdendir. Sulama suyu kalitesinin toprak fiziksel koşulları, toprakların verimliliği ve bitki verimi üzerinde önemli etkileri vardır (Krouma 2009, Ögütçü vd. 2010). Toprakta ikincil tuzlanmanın önlenmesi ve verimli bir şekilde sulamanın yapılabilmesi için sulama suyu kalitesinin dikkate alınması gereklidir (Chen vd. 2018, Pourgholam-Amijia vd. 2020). Tuzluluğun ve alkaliliğin özellikle sekonder olarak giderek artması, dünya çapında önemli derecede arazi bozulmasına ve verim kaybına neden olmaktadır. Gelecekte de bu bozulma artarak devam edecektir (FAO 1988, Szabolcs 1991, Aiazzi vd. 2002, FAO 2000, Yuan vd. 2010). FAO ve ITS (2015)'ye göre Türkiye'de tuzdan etkilenmiş ekilebilir alanların % 60 hafif tuzlu, % 19.6 tuzlu % 0.4' ü alkali, % 8 tuzlu- alkali, % 12' si tuzsuz olarak belirtilmiştir.

Tuzlu topraklar, eski Amerikan toprak sınıflandırma sistemine göre intrazonal toprak ordosu altında, halomorfik alt ordosunda solonchak ve solonetz büyük toprak grubu olarak belirtilirken, soil taksonomi içerisinde ise aridisol ordosuna ait argids ve orthids alt ordolarında bulunan salorthid ve natrorgid büyük toprak grubunda yer almaktadırlar. Tuzlu topraklar dünyada daha çok Avrasya, Kuzey Afrika, Kuzey ve Güney Amerika'nın batısı ve Avustralya'nın orta kısımlarında bulunurken (USDA 2003, Karaoğlu ve Yalçın 2018, Anonim 2021a), Türkiye de Tuz Gölü, Burdur Gölü, Acıgöl, Iğdır, Küçük Menderes ve Konya Ereğli Ovaları'nda bulunmaktadır (Anonim 2021b).

Tuzluluk; kurak veya yarı kurak iklim koşullarının hakim olduğu bölgelerde yeraltı suyuna karışan çözünebilir tuzların taban suyunun yükselmesi ve kapilaritenin etkisiyle

toprak yüzeyine çıkararak buharlaşması ve birikmesi olarak tanımlanmaktadır (Ergene 1982, Kwiatowsky 1998, Kara 2002, Akgül 2003, Ekmekçi vd. 2005, Aydınşakir vd. 2012, Üras ve Dönmez 2012, Karaoğlu ve Yalçın 2018, Turhan vd. 2018). Kurak ve yarı kurak iklimin görüldüğü bölgelerde tuzlu toprakların varlığının en önemli nedenlerinden birisi, bu bölgelerde yağışların yetersizliğinden dolayı toprakta birikim gösteren çözünebilir tuzların toprak profili boyunca yıkanamamasıdır (Abrol vd. 1988). Tuzluluğa neden olan faktörler; ana materyal, denizler, topoğrafya ve arazi drenaj durumu, iklim ve topoğrafya, sulama suyu kalitesi, sulama ve gübrelemede yapılan hatalardır. Tuzlu topraklar, bitkilere zararlı olacak kadar içerisinde çözünebilir tuz veya değişebilir Na ya da her ikisini de bulunduran topraklardır. Çözünebilir tuzları kapsayan çözümlenirlerde Na, K, Ca, Mg katyonları ile Cl, SO₄, HCO₃, CO₃, NO₃ anyonları bulunmaktadır (Ajala vd. 2019). Katyon ve anyonların bir araya gelmesi ile tuzlar oluşmaktadır. Doğada en yaygın bulunan tuz çeşidi sodyum klorür (NaCl) dır.

Çözünebilir tuzlar toprakların üretkenliğini iki şekilde etkilemektedir. Bunlardan birincisi toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelini değiştirmesi, ikincisi ise değişebilir Na içeriğini artırmasıdır (Richards 1954). Bitkinin kök bölgesindeki su ihtiyacını gidermek amacıyla yapılan sulama uygulamalarıyla verilen su ile birlikte, toprağa tuz ilavesi gerçekleşir. Suyun buharlaşma ve bitkiler tarafından alınması ile tuzların büyük çoğunluğu kök bölgesinde birikmektedir. Toprakta fazla miktarda toplam çözünebilir tuzların birikmesi sonucunda toprak suyunun ozmotik basınç artar ve su içerisindeki bazı iyonların miktarındaki artışla birlikte toksik etkiler oluşur, bitkiler tuz stresine girer. Ayrıca sulama suyunda Na ve Cl iyonlarının fazla olması K, Ca, NO₃ gibi besin elementleri ile rekabete neden olur ve besin dengesizliği ortaya çıkar. Bitkiler toprak tuzluluğuna bağlı olarak; fizyolojik kuraklığa maruz kalırlar. Ayrıca bitkilerde tuzluluk ozmotik dehidrasyonlara, stomaların kapanması ile transpirasyonun düşmesine, stomaların açılması ile transpirasyonun artmasına, gelişmenin gerilemesi ve verim kaybı gibi bazı olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Bahçeci 2008, Topaloğlu 2010, Avcı 2018, Tekin 2018, Anonim 2020a, Anonim 2021c).

Tuzların toprak profilinden yıkanması veya kapillar yükselme ile toprak yüzeyinde birikmesi durumu ile toprağın kimyasal bileşimi değişmektedir. Ortamda var olan katyonların kil tanecikleri tarafından adsorbe edilmelerinden dolayı katyonların

konsantrasyonları da değişim göstermektedir. Toprak çözeltilisinin evapotranspirasyonla yoğunlaşması konsantrasyonu artırırken, toprak kolloidleri tarafından adsorbe edilen Na miktarında artmasına neden olacaktır. Oransal olarak artış gösteren Na iyonu, ortamdaki Ca ve Mg iyonları ile yer değiştirmektedir. Bunun sonucunda Na iyonunun toprakta başat duruma geçmesiyle kil tanecikleri dispers olmakta, killerin şişmesi sonucu toprak strüktürü bozulmaktadır. Aynı zamanda Na iyonunun toprak taneciklerinin dispersiyonuna neden olması, toprakların hidrolik iletkenlik, suya dayanıklı agregat, hacim ağırlığı, infiltrasyon, toprağın su tutma kapasitesi gibi önemli fiziksel özellikleri üzerine olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Yakupoğlu ve Özdemir 2007, Gökoğlu ve Çaycı 2021).

Tarımda sulama yapılması durumunda uygun kalitedeki suyun yeterli düzeyde sağlanması ile verim artışı amaçlanmaktadır. Başlangıçta yeterli kalitedeki sulama suyunun kolayca temin edilebilirken, daha sonra yeni sulamaya açılan alanların sulama gereksiniminin karşılanmasında daha düşük kaliteli su kaynaklarının kullanılmasına yol açmıştır. Düşük kalitedeki sulama kaynaklarının kullanılması halinde karşılaşılabilecek toprakta ve bitkide yaratacağı olumsuz durumların önlenmesi ve bu suların sulamada kullanılabilmesi için gerekli planlamaların yapılması gerekmektedir.

Toprak kalitesi ve arazi değerlendirilmesi konularında yapılan çalışmalar ülkemizde gün geçtikçe tarıma elverişli arazi miktarının azalmakta olduğunu göstermektedir. Özellikle de toprak tuzluluğu görülen yerlerde toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulmasından ileri gelen önemli ölçüde bir arazi bozulması olduğu belirtilmiştir. Tarımsal anlamda dünya şu anda yeterli durumda olsa da bu durumun devam etmemesi açısından toprak bozulmasının kontrol altına alınması ve bozulma gösteren toprakların yeniden tarıma kazandırılmaları gereği ortaya çıkmıştır. Bu sebeple toprak bozulmasını etkileyen faktörlerin, olay ve süreçlerin analiz edilmesi gerekmektedir. Bozulma gösteren toprakların ıslah edilmesi aşamasında toprağın üretkenliğini korumak amacıyla çevre kalitesi de göz önünde tutulmalıdır (Dudal 1982, Lal 1990, Raghavan 1990, Domzal vd. 1994). Bu tez çalışması sulama suyuna farklı düzeylerde ilave edilen iki farklı sodyum kaynağının toprak kalitesi açısından önemli bazı toprak fiziksel ve hidrolojik özellikleri üzerindeki yıkıcı etkileri arasındaki farklılıkların analizi hedeflenmiştir. Bu amaçla Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait Haymana

Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde bir çakılı deneme yürütülmüştür. Çalışma kapsamında farklı konsantrasyonlarda yapay olarak hazırlanan Na içeren tuzlu sulama suları (NaCl, NaHCO₃ içeren) damlama sulama yöntemi ile tesadüf blokları deneme desenine göre beşer sulama şeklinde üç dönem halinde verilmiş, toplamda on beş sulama yapılmıştır. Beş sulama sonrası, on sulama sonrası, kış sonrası ve kış sonrası yapılan beş sulama sonrası olmak üzere dört dönemde toprak hidrolojik özelliklerinden; infiltrasyon hızı çift silindirli infiltrometre ile ölçülmüş, ölçümün yapıldığı parsellerden alınan toprak örneklerinde toprak fiziksel özelliklerinden hacim ağırlığı, suya dayanıklı agregat yüzdesi, ortalama ağırlık çap, geometrik orta çap ile toprakta katyonlar ve anyonlar, SAR ve ESP parametreleri izlenmiştir. Çalışma sonunda tuzlu suların kullanımı ile değişkenlerin (SAR düzeyi, tuz çeşidi, toprak derinliği) toprak hidrolojik ve fiziksel özelliklerine olan etkileri MANOVA (Multiple ANOVA) çok değişkenli varyans analizi, zamanın etkisi ise tek yönlü ANOVA (varyans analizi) kullanılarak değerlendirilmiş, gruplar arasında farklılıklar Tukey post-hoc sınıflandırma testleri ile ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ ve KURAMSAL TEMELLER

2.1 Toprakta Tuzluluğun Oluşumu ve Tuzluluğu Etkileyen Faktörler

Tuzluluk ve alkalilik; kurak ve yarı kurak alanlarda toprak ve bitkisel üretim üzerinde olumsuz etkilere sebep vermelerinden dolayı önemli toprak sorunlarından (Malicki ve Walczak 1999, Ahmad vd. 2011, Moasheri ve Foroughifar 2013, Deliboran vd. 2015, Elbasher vd. 2016, Karaoğlu ve Yalçın 2018, Tekin 2018, Peng 2019, Taşan ve Demir 2019, Budak vd. 2019, Temizel ve Tok 2019a, Temizel ve Tok 2019b, Turhan 2020). Dünyada sulanan tarım alanlarının büyük bir kısmında tuzluluk ve alkalilik sorunları bulunmakta, sulanmayan tarım alanlarında da toprak bozulumu ile ilgili problemlerin olduğu bildirilmektedir (Pessarakli ve Szabolcs 1999). Bileşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü (FAO) tarafından dünyadaki tarım arazilerinin % 6'sından fazlasının tuzluluk ya da alkalilikten etkilendiği bildirilmektedir (Dai vd. 2014, Deliboran 2015, Joseph 2016, Taşan ve Demir 2019). Tarımsal alanlarda sulamada tuzlu suların kullanımı da bu artışın başlıca nedenlerinden biridir (Dinh vd. 2018, Minhas vd. 2019, Taşan ve Demir 2019).

Tuzlu ve alkali topraklar farklı sınıflandırma sistemleri altında sınıflandırılmışlardır. De Sigmond (1938) yaptığı sınıflandırma sisteminde toprakların ayırt edilmesinde toplam oransal tuz ve Na miktarlarını kullanmış ve tuzlu, tuzlu alkali, yıkanmış alkali, bozunmuş alkali ve ıslah edilmiş alkali şeklinde sınıflandırmıştır. Janitzky (1957) ise yaptığı sınıflandırmada toprakları tuzlu ve alkali topraklar şeklinde sınıflandırırken Na iyonu miktarı ve tipini esas almış ve sınıflandırma sistemleri içerisinde ilk kez alkali teriminden bahsetmiştir. Aynı araştırmacı toprakları beyaz alkali ve siyah alkali ile sahil çorakları ve kara çoraklar şeklinde de sınıflandırmıştır (Keskin ve Gıani 2006, Budak 2012, Deliboran vd. 2015, Karaoğlu ve Yalçın 2018, Anonim 2021c). Daha sonra ABD Ulusal Tuzluluk Laboratuvarı, De Sigmond (1938)'un yaptığı sınıflandırma üzerinden EC_e , ESP ve pH değişkenlerini kullanarak bir sınıflandırma sistemi geliştirmiştir. Bu sınıflandırma sisteminde topraklar tuzlu, tuzlu-alkali ve tuzsuz-alkali şeklinde sınıflandırılmıştır. U.S. Salinity Laboratory Staff (1954)'ın geliştirmiş olduğu bu sınıflandırma şekli, pratik ve uygulanabilir olması bakımından, günümüzde tuzlu ve

alkali toprakların sınıflandırılmalarında temel alınmaktadır (Çizelge 2.1) (Keskin ve Giani 2006, Odeh ve Onus 2008, Budak 2012, Deliboran vd. 2015, Anonim 2021b).

Tuzlu topraklar, bünyelerinde yüksek miktarda suda çözünebilen tuzlar içermektedirler. Tuzlu toprakların değerlendirilmesinde toprak elektriksel iletkenliği kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda toprakta EC_e ' nin toprak tuzluluğunun takibinde güvenilir, ölçümü kolay ve hızlı bir yöntem olduğu bildirilmiştir (Akgül 2003, Ekmekçi vd. 2005, Emadi ve Baghernejad 2014, Liu vd. 2016, Scudiero vd. 2017, Karaoğlu ve Yalçın 2018, Özdemir vd. 2019, Taşan ve Demir 2019,). EC (elektriksel iletkenlik) bir litre çözeltideki tuz konsantrasyonuna göre $mol L^{-1}$, $mg L^{-1}$, ppm, $meq L^{-1}$, EC ise $dS m^{-1}$ veya milimhos cm^{-1} olarak ifade edilmektedir (Richards 1954, Anonim 1996, Tanju 1996, Horneck vd. 2007, Budak 2012, Deliboran vd. 2015, Yurtseven 2016, Karaoğlu ve Yalçın 2018, Anonim 2021d,f).

Çizelge 2.1 Tuzlu toprakların sınıflandırılması (Richards 1954, Anonim 1996, Terry 1997, Akgül 2003, Horneck vd. 2007, Budak 2012, Choudhary ve Kharche 2018, Karaoğlu ve Yalçın 2018)

Sınıf	pH	EC ($dS m^{-1}$)	ESP (%)	SAR (%)
Tuzsuz	<8.5	<4	<15	<13
Tuzlu	<8.5	>4	<15	<13
Tuzlu-Alkali	>8.5	>4	>15	>13
Alkali	>8.5	<4	>15	>13

SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi EC: Elektriksel iletkenlik

Tuzlu topraklar, bitki gelişmesini engelleyecek düzeyde çözünebilir tuz içeren ($EC > 4 dS m^{-1}$) ancak topraklara zararlı olacak düzeyde Na içermeyen ($ESP < 15$) topraklardır. Tuzlu topraklarda daha çok Cl ve SO_4 iyonları bulunur. Tuzlu topraklar toprak yüzeyinde bazı durumlarda jips ($CaSO_4$), NaCl, sodyum karbonat (Na_2CO_3) veya bunların karışımını bulandıran beyaz tuz görünümleriyle tanınmaktadır (Choudhary ve Kharche 2018, Zaman vd. 2018).

Tuzlu-alkali topraklar bitkilerin gelişmelerini önleyecek derecede hem tuz, hem de Na içeren topraklardır. Tuzlu-alkali topraklar ifade olarak, $EC > 4 dS m^{-1}$ ve $ESP > 15$ olan

topraklar için kullanılırken, bu topraklarda pH 8.5 ve daha yüksek olup (James vd. 1982) genelde alkalın reaksiyon göstermektedir. Ayrıca bu topraklarda Na genel olarak NaCl, Na₂SO₄ gibi doğal tuzlar halinde bulunmaktadır (Temel ve Şimşek 2011, Deliboran vd. 2015, Karaoğlu ve Yalçın 2018, Choudhary ve Kharche 2018).

Alkali topraklar ise, bitkilerin normal gelişimini önleyecek düzeyde Na içeren topraklardır. Bu topraklarda EC<4 dS m⁻¹ ve pH>8.5 olup ESP>% 15 dir. Alkali topraklarda katyonlardan Na, anyonlardan ise Cl, SO₄ ve HCO₃ baskın olarak bulunmaktadır. Alkali topraklarda pH' a bağlı olarak az ya da fazla CO₃ iyonu da bulunabilir. Analizde titre edilebilecek miktarda CO₃ olması durumunda toprağın pH değerinin 9.0' un üzerinde olması beklenir. Alkali topraklarda toprak kurudukça yüzey kısımlarda siyah bir renk oluşur ve ESP' nin yüksek olması sebebiyle bu toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri olumsuz etkilenir. Alkali topraklarda Na oranı arttıkça toprak disperse hale gelmekte, toprakta su geçirgenliğinin düşmesi neticesinde su, toprak yüzeyinde uzun süre kalmaktadır (Anonim 2021e). Ayrıca bu topraklarda değişebilir Na miktarının artmasından dolayı alkalizasyon gerçekleşir (Bower ve Fineman 1957, James vd. 1982, Choudhary ve Kharche 2018).

Abrol vd. (1980) yapmış oldukları çalışmalarında toprakların pH' sı ile ESP değerleri arasında bir korelasyon olduğunu, bu ilişkinin saturasyon çamurunda toprakta pH'sının 8.0'in üzerinde olduğunda geçerli olduğunu, pH değerleri 8.0' den daha düşük olduğu durumda geçerli olmadığını belirtmişlerdir. Gupta vd. (1982, 1984) tarafından yapılan çalışmalarda ise toprak pH' sın, toprakların fiziksel ve kimyasal dengesine olan etkisinden dolayı alkali toprakların sınıflandırılmalarında kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Toprak alkaliliğini değerlendirmede kullanılan ESP; Na, Ca, Mg, K katyonlarının topraktaki içeriği kullanılarak hesaplanabilmektedir (Corwin ve Lesch 2005, Fernandes-Bucez vd. 2006, Odeh ve Onus 2008, Seilsepour vd. 2009, Budak 2012, Taşan 2018, Laker ve Nortje 2019, Anonim 2021f). Toprak özelliklerinin değişiminin ESP ile izlenmesinin toprakta EC_e' ye göre daha masraflı ve zaman alıcı olduğu bildirilmektedir (Goovaerts 1998, Allbed ve Kumar 2013, Taşan ve Demir 2019).

Tuzlu-alkali toprakların oluşumunda üç aşama görülmektedir (Vilenski 1957). Bunlar: tuzlulaşma (salinizasyon), tuzlulaşma-alkalileşme (solonizasyon) ve alkalileşme (solodizasyon) aşamalarıdır. Birinci aşamada, kurak ve yarı kurak bölgelerde yağışların düşük olması ve drenajın yetersiz olmasından dolayı bitki kök bölgesinde tuzluluğa neden olan katyon ve anyonlar birikmeye başlar. Bu durumda toprağın EC' si 4 dS m^{-1} den daha fazladır, pH değeri 7.0-8.5 arasındadır. İkinci evre olan tuzlu-alkalileşme aşamasında ise, kurak ve yarı kurak bölgelerde yağış evaporasyondan daha az olduğundan toprak çözeltisi, sıcaklığın etkisiyle evaporasyon ve toprakta yetişen bitkiler tarafından transpirasyonla oluşan su kaybından dolayı yoğunlaşır. Ca ve Mg iyonu toprak çözeltisinde bulunan karbonatlarla tepkimeye girerek CaCO_3 ve MgCO_3 bileşikleri şeklinde çöker. Çökme neticesinde Na iyonunun konsantrasyonu çözeltideki katyonlara oranla olarak artmaya başlar ve toprak kolloidleri tarafından tutulan Ca ve Mg ile yer değiştirir. Bu durumda toprakta değişebilir Na yüzdesi 15 veya daha fazladır. Tuzlu-alkali toprakların EC ve pH değerleri de $\text{EC} > 4 \text{ dS m}^{-1}$ ' den fazla, pH ise 7.0-8.5 arasındadır. Üçüncü aşamada ise toprakta bulunan çözünebilir tuzlar toprak profilinden derine doğru yıkandıktan sonra değişebilir Na hidroliz olur ve NaOH'i oluşturur. Oluşan bu NaOH çözeltisi havadan absorbe edilen veya mikroorganizmalar tarafından üretilen CO_2 (karbondioksit) ile tepkimeye girerek Na_2CO_3 (sodyum karbonat)'a dönüşür. Bunun sonucunda pH 8.5' in üstüne çıkar ve EC 4 dS m^{-1} ' nin altına düşer. Böylece solodizasyon meydana gelir (Richards 1954, Ergene 1997, Jordan vd. 2004, Horneck vd. 2007, Jalali 2008, Budak 2012). Bu durum toprak çözeltisinde artış gösteren Na^+ un hem bitkiler için toksik etki yaratmasına, hem de toprak kolloidlerinin disperse olmasının sonucu olarak suyun topraktaki hareketinin engellenmesine yol açmaktadır (Horneck vd. 2007, Güzel ve Gülüt 2010, Budak 2012).

Topraklarda iki tür tuzlanma görülmektedir. Bunlar birincil veya doğal tuzlanma ile ikincil veya antropojenik tuzlanmadır. Birincil tuzlanma çeşitli hidropedolojik, jeomorfik ve iklimsel faktörler nedeniyle olmaktadır. Bazalt, gabro ve dolerit gibi bazik kayaların ayrışması gibi hydropedolojik faktörler, uzun süreli tuzlu deniz suyuna maruz kalan deniz kaynaklı ana kayaların bazı fiziksel ve kimyasal süreçlerle ayrışması, yüksek yıllık nem akışı gibi hidrolojik faktörler, düşük yağış ve evapotranspirasyona neden olan yüksek sıcaklık gibi iklim faktörleri ile düşük eğim gibi jeomorfik faktör

birincil tuzlanmanın nedenleridir. Sığ su seviyesi, kalitesiz sulama suyu, yanlış drenaj ile aşırı sulama nedeniyle oluşan taban suyu tablasındaki yükselme, toprak yüzeyine yakın tuz boşaltımı, denizlere kıyısı olan delta ovaları, gel-git olayları, kıyı bölgelerinde yeraltı suyunun aşırı kullanımı ile iç kısımlara deniz suyu girişimi de ikincil tuzlanmaya neden olmaktadır. Ayrıca, arıtılmamış endüstriyel atıklar ve yüksek çözünmüş tuzlara sahip atık su ikincil tuzlanmanın nedenleridir (Yuvaraj vd. 2021, Anonim 2021a).

Toprak tuzluluğu tarımsal üretimin ve sulamanın yapılmadığı alanlarda ana materyalden de kaynaklanabilir (Panah ve Pouyafar 2006). Topraklardaki bütün bu tuzların kaynağı kayalarda bulunan primer minerallerdir. Primer mineraller örneğin bikarbonat iyonları su içerisinde karbondioksitin erimesi şeklinde toprakta hidroliz, hidratasyon, çözünme, oksidasyon ve karbonasyon işlemleriyle ayrışarak çözünebilir tuzları oluştururlar (Richards 1954, Mostafazadeh-Fard vd. 2007). Drenaj problemlerinin yaşandığı kapalı havzalarda taban suyu akışını engelleyen geçirimsiz tabakalar taban suyunun yükselmesine ve arazinin düz kısımlarında suların birikmesine neden olur (Ergene 1982, Terry 1997, Akgül 2003, Yakupoğlu ve Özdemir 2007, Karaoğlu ve Yalçın 2018). Toprağın ağır killi ve geçirgenliğin zayıf olması, taban suyu seviyesinin yüksek olması toprakta tuz birikiminin meydana gelmesine neden olmaktadır (Prost ve Yaron 2001). Kurak ve yarı kurak iklim koşullarında yağışların yetersizliği, toprak profilinden tuzların aşağı derinliklere yıkanması ve taban suyuna karışması zor olmaktadır. Bu bölgelerde yer altı sularının açık denizlere ulaşamaması sebebiyle tuzluluk oluşmaktadır (Akgül 2003, Karaoğlu ve Yalçın 2018). Faritfeh vd. (2006) tuzlu ve alkali toprakların kurak ve yarı kurak bölgelerde oluşmasının nedenini bu bölgelerde topraklarda bulunan bitki kök bölgesindeki çözünebilir tuzların yıkanmasını sağlayacak yeterli miktarda yağışın olmaması olarak açıklamaktadır.

2.2 Sulama Suyu Kalitesi

Sulama; bitkininin ihtiyacı olan suyun yağışlarla karşılanamaması durumunda toprakta bitkinin kök bölgesine gerektiği miktar ve zamanda verilmesidir. Sulama suyunun kalitesi belirli zamanda belirli hacimdeki suyun toprağa bıraktığı tuz yükünün yüksek olmasından dolayı tuzluluğa neden olur. Sulama suyu kalitesini belirleyen parametreler

genel olarak; suda çözünebilir haldeki tuzların toplam konsantrasyonu ile Na iyonunun ortamda bulunan diğer katyonlara göre nisbi oranı, bor gibi bazı toksik elementlerin konsantrasyonları ve Ca ve Mg konsantrasyonunun topraktaki değişiminden etkilenen HCO_3 konsantrasyonudur (Üzen 2009, Kanber ve Ünlü 2010, Dağdelen 2012, Dorak ve Çelik 2017, Dorak vd. 2018).

pH: pH asitlik ve bazikliğin göstergesi olarak tanımlanmaktadır. Sulama sularında pH değerinin 6.5-8.0 arasında olması istenen bir durumdur. Bitki çeşidi, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri pH değerinin uygunluk sınırlarını etkileyen faktörlerdir.

Çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonu: Sularda çözülmüş halde bulunan iyonlar; Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4 , CO_3 , HCO_3 ve NO_3 ve B' dur (Çizelge 2.2).

Kalsiyum: Ca içeren bileşiklerin en önemlileri; kireç taşı (CaCO_3), alçı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve kalsiyum fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)' dir. Kalsiyum tuzlarının çözünebilirlikleri birbirlerinden farklılık göstermektedir. Karbonat ve fosfat içeren Ca tuzları suda çözünmeyen, asitte çözünebilir özellik gösterirken, sülfat, klorit ve nitrat içeren Ca tuzları ise suda çözünebilir niteliktedir (Kanber ve Ünlü 2010). Ca' un toprakta iyon değişiminde rol oynaması, alkali toprakların ıslah çalışmalarında kullanılmaları, agregatların oluşması ve toprak strüktürü üzerine olumlu etkileri sayesinde, toprakların fiziksel özelliklerini düzeltmelerinden dolayı sulama sularında yüksek konsantrasyonda olması istenmektedir (Özbek 1990).

Magnezyum: Bitki gelişmesi için önemli olan bir element olan Mg yeşil bitkilerin klorofillerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Ayrıca Mg topraklarda Ca iyonuna benzer şekilde iyon değişiminde yer alır ve toprakların daha geçirgen ve kolayca işlenebilir hale gelmesine katkıda bulunur (Özbek 1990).

Potasyum: Toprağı oluşturan birçok kompleks silikatların temel taşı potasyumdur. K içeren tuzlar suda çözünebilir özelliktedirler. Sulama sularında en çok bulunan K tuzları, KCl, K_2SO_4 , K_2CO_3 ve KNO_3 ' lardır. Bitkiler için gerekli olan besin maddesini sağlamaları açısından sulama sularında olması istenmektedir. Na ile benzer özellikler

gösteren K⁺ un ABD Tuzluluk Laboratuvarı tarafından yapılan araştırmalarda toprakta ve sulama sularında bulunmasının bir zararının olmadığı bildirilmiştir (Yurtseven 2016).

Çizelge 2.2 Sulama sularında bulunan başlıca iyonlar
(Kanber ve Ünlü 2010, Chapman 2008, Canlı 2014)

Katyonlar	Eşdeğer ağırlığı (g)	Element ya da bileşikler
Ca ⁺²	20.04	Kalsiyum
Mg ⁺²	12.16	Magnezyum
Na ⁺	23.00	Sodyum
K ⁺	39.00	Potasyum
Anyonlar		
CO ₃ ⁻²	30.00	Karbonat
HCO ₃ ⁻	61.00	Bikarbonat
SO ₄ ⁻²	48.03	Sülfat
Cl ⁻	35.46	Klor
NO ₃ ⁻	62.01	Nitrat
İz element		
B	3.60	Bor

Sodyum: Sulama suyu kalitesinde doğrudan etkili olan en önemli bir katyon olan Na toprakta baskın duruma geçtiğinde, fiziksel bozulmaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Na toprakta varlığı strüktür oluşumunun zayıflaması, hava ve su geçirgenliğinin azalmasına ve toprak pH' nın yükselerek alkali duruma geçmesine neden olmaktadır. Bitkiler açısından ise bitkilerin besin maddelerini almaları güçleşir. Ayrıca bitkilerin ortamda ozmotik basıncın artması sebebiyle suyun alamamasına ve bitkinin ortamda var olan suyu alamadığı için fizyolojik kuraklık çekmesine neden olarak verim kayıplarına sebep olmaktadır.

Klor: Klor çözeltilerde daha çok sodyum klorür (NaCl) formunda bulunmaktadır. Cl toprak kolloidler tarafından tutulmadığından, toprak profilinde hareketlidir. Sudaki çözünürlüklerinin diğer iyonlara göre yüksek olması, toprak suyunda ve diğer su kaynaklarında oransal olarak konsantrasyonunun hızlıca yükselmesine neden olur.

Sülfat: SO_4 sulama sularında ve topraklarda düşük konsantrasyonlarda bulunur. SO_4 içeren tuzlardan Na_2SO_4 ve $MgSO_4$ suda çözünebilir iken, $CaSO_4$ suda çok az çözünür. SO_4 'ın toprakta tuzluluğun artmasına etkisinden ziyade toprakların diğer özelliklerine etkisi bulunmaktadır.

Bikarbonat ve Karbonat: Sulama suyunun kalitesi ile ilgili değerlendirmelerinde CO_3 ve HCO_3 dengesi önemlidir. Sulama sularının birçoğunda tuz çeşitlerinden bir miktarda olsa $CaCO_3$ bulunmaktadır. Ortamda karbondioksit (CO_2), CO_3 ve HCO_3 iyonlarının artmasına ve suyun pH değerini artırarak alkali özellik kazanmasını sağlar. Bu durum ortamda Ca iyonunun çökmesine ve Na iyonunun başat duruma geçmesine neden olmaktadır. Na_2CO_3 gibi alkali karbonatların bitkilere zehir etkisi yapmaları nedeniyle sulama suyunda olmaları istenmemektedir. Aynı zamanda Na_2CO_3 tuz çeşidinin toprakta agregat oluşumunu ve strüktürel yapısını bozarak toprağın sertleşmesine neden olması, toprağın fiziksel özelliklerine olumsuz etkileri ile birlikte toprağın su ve hava geçirgenliğini azaltıcı etkisi bulunmaktadır. Ayrıca toprağın kimyasal özellikler açısından pH'yı artırması ve toprakta bitki besin maddelerinin alınımı üzerinde de etkileri bulunmaktadır (Kanber ve Ünlü 2010, Canlı 2014, Yurtseven 2016).

Nitrat: NO_3 tuzları suda çözünen nitelikte olup ve kolayca yıkanma özelliğine sahiptirler. Organik madde oksidasyonu veya atmosferdeki elementer azotun fiksasyonundan dolayı NO_3 topraklarda fazla miktarda bulunmaktadır. Topraklarda sodyum nitrat gübrelemesinin devamlı olarak yapılması, toprağın strüktür özellikleri ve hidrolük iletkenliğinin olumsuz şekilde etkilenmesine yol açmaktadır (Varol vd. 2005) (Çizelge 2.2).

Sulamada kullanılan suların kalitesi sulama suyu elektriksel iletkenliği (EC_w)'ne göre farklı sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Günümüzde en çok kullanılan olan sınıflandırma ABD Tuzluluk Laboratuvarınca hazırlanan sınıflandırma sisteminde sulama suları 4 sınıf şeklinde sınıflandırılmışlardır (Çizelge 2.3).

Az tuzlu sular (C1): Çok az çözünebilir tuz içeren bu sular, her toprak koşulunda tüm kültür bitkilerinin sulanmasında emniyetle kullanılabilir.

Orta tuzlu sular (C2): Orta düzeyde yıkanmanın olduğu koşullarda, tuzluluğun kontrol edilmesi ile ve özel idareye gerek olmadan tuza orta veya yüksek derecede dayanıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabilirler.

Çizelge 2.3 Sulama sularının EC değerlerine göre sınıflandırılması

(Follett ve Soltanpour 2002, Bauder vd. 2011, Canlı 2014, Topçu 2016)

Sınıflar	EC, dS m ⁻¹
C 1 – Az tuzlu sular	0-0.25
C 2 – Orta tuzlu sular	0.25-0.75
C 3 –Yüksek tuzlu sular	0.75-2.25
C 4 – Çok yüksek tuzlu sular	2.25-5.00

Yüksek tuzlu sular (C3): Uygun drenaj koşulları sağlandığı durumlarda bile, tuzluluk kontrolü için özel toprak idaresine gerek duyulan, düşük geçirgenlik ve yetersiz drenaj koşullarının olduğu topraklarda sulama suyu olarak kullanılmalrı riskli olan, tuza orta veya yüksek derecede dayanıklı bitkilerin yetiştiriciliği için daha yoğun olan, yıkama yapılarak hafif ve orta bünyeli toprak koşullarında kullanılabilen sulardır.

Çok yüksek tuzlu sular (C4): Normal koşullar altında sulamaya uygun olmayan ancak tuza çok dayanıklı bitkiler seçilerek ve yüksek geçirgenliğe ve çok iyi drenaja sahip olan topraklarda, yeterli düzeyde yıkanmanın olmasını sağlayacak miktarda fazla suyun verilmesiyle sulamada kullanılabilen sulardır (Kanber ve Ünlü 2000, Canlı 2014, Topçu 2016, Yurtseven 2016) (Çizelge 2.3).

Sodyum katyonunun diğer katyonlara nispi oranı: Sulama sularının oluşturduğu Na zararını ortaya koyabilmek için % Na, SAR, düzeltilmiş sodyum adsorbsiyon oranı (AdjSAR) ve düzeltilen düzeltilmiş sodyum adsorbsiyon oranı (adjRNA) kullanılmaktadır (Joshi vd. 2009, Kanber ve Ünlü 2010, Canlı 2014, Özer ve Köklü 2019). % Na' un toprakta diğer katyonlara göre oransal miktarının yüksek olması durumu dispers bir yapı oluşmasına neden olarak toprakların fiziksel özelliklerini bozabilmektedir (Dağdelen 2012).

Bir sulama suyunun kalitesini belirleyen Na katyonunun mutlak konsantrasyonu yanında, Na' un diğer katyonların toplam konsantrasyonuna göre oransal miktarına da bağlıdır. Na'un sulama suyundaki konsantrasyonu miktar olarak düşük olsa da diğer katyonların toplamından oransal olarak fazla ise önemli ölçüde alkalilik tehlikesi oluşturabilir (Canlı 2014, Çebi 2020).

Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR): Sulama suyunun sahip olduğu SAR değeri toprakta katyon değişimine katılan değişebilir Na miktarının bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Topraklarda EC ve SAR değerlerinin birlikte artması durumunda değişebilir Na' un yüksek olması alkalilik sonucunu getirmektedir (Bardhan vd. 2016, Assouline vd. 2016, Qian ve Lin 2019, Phogat vd. 2020).

ABD Tuzluluk Laboratuvarı tarafından oluşturulan sınıflandırma sistemine göre sulama suları, Na veya alkalilik tehlikesi yönünden dört sınıfa ayrılmaktadırlar (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 Sulama sularının SAR değerlerine göre sınıfları (Anonymous 1954, Fipps 2003, Yılmaz 2005, Kanber ve Ünlü 2010, Bauder vd. 2011, Topçu 2016)

Sınıflar	SAR (%)
S 1 – Az sodyum içeren sular	<10
S 2 – Orta sodyum içeren sular	10-18
S 3 – Yüksek sodyum içeren sular	18-26
S 4 – Çok yüksek sodyum içeren sular	>26

Düşük sodyumlu sular (S1): Na yönünden hiçbir bitki ve toprak koşulunda zarar oluşturmadan kullanılabilen SAR değeri <10 olan sulardır.

Orta sodyumlu sular (S2): SAR değeri 10-18 arasında olan sulardır.

Yüksek sodyumlu sular (S3): SAR değeri 18-26 arasında olan sulardır. Uygun drenaj koşulları, fazla yıkama ve organik madde ilavesi gibi bazı özel toprak işleme teknikleri uygulanmadığı durumlarda kullanılmalrı sakıncalıdır.

Çok yüksek sodyumlu sular (S4): Toplam tuz içeriğinin düşük, çözünebilir Ca miktarının yüksek olduğu topraklarda yıkamanın yapılması sırasında kimyasal ıslah maddelerinin de uygulanması koşulu ile kullanılabilen SAR değeri>26 olan sulamaya uygun olmayan sulardır (Zaman vd. 2018, Anonim 2016) (Çizelge 2.4).

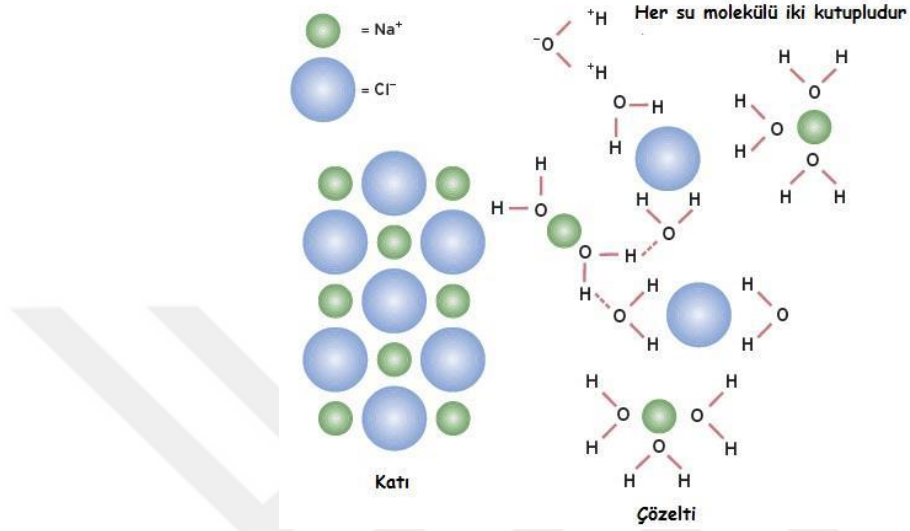
Topraklarda tuzluluğa neden olan çözünebilir tuzlar genellikle Na, Ca, Mg katyonları ve Cl ve SO₄ anyonları ile oluşturmaktadır. K katyonu ile HCO₃, CO₃ ve NO₃ anyonları az miktarda bulunmaktadır (Rengasamay 2006, Li vd. 2009). Suda çözünebilir tuz bileşikleri ana materyallerde veya suda bulunan anyon ve katyonlarla tepkimeye girmesi sonucu oluşmaktadır (Jordan vd. 2004). Na ile Cl' un bir araya gelerek oluşturduğu sodyum klorür (NaCl) bileşiği doğada en yaygın bulunan çözünebilir tuz bileşiğidir. Cl içeren tüm tuzlar, Na₂SO₄ ve MgSO₄ ile NaHCO₃ tuzları çözünürlüğü yüksek olan tuzları oluşturmaktadır. Pessarakli ve Szabolcs (1999)' e göre dünyadaki tuzdan etkilenmiş toprakların büyük bir kısmını Na₂SO₄ ve NaCl tuz çeşitlerinin oluşturduğu tuzluluk oluşturmaktadır. Katyon ve anyonların bileşiminden oluşan ve yaygın bulunan tuz çeşitleri ile ilgili bilgiler çizelge 2.5' te görülmektedir.

Çizelge 2.5 Katyon ve anyonların bileşiminden oluşan iyonik tuz kristalleri (Cardon vd. 2007, Budak 2012)

Tuz Bileşeni	Katyon (+)	Anyon (-)	Yaygın olarak ismi
NaCl	Sodyum	Klor	Sodyum Klorür
Na ₂ SO ₄	Sodyum	Sülfat	Sodyum Sülfat
MgSO ₄	Magnezyum	Sülfat	Magnezyum Sülfat
NaHCO ₃	Sodyum	Bikarbonat	Sıdyum Bikarbonat
Na ₂ CO ₃	Sodyum	Karbonat	Sodyum Karbonat
CaSO ₄	Kalsiyum	Sülfat	Jips
CaCO ₃	Kalsiyum	Karbonat	Kireçtaşı

Çözünürlük belli bir sıcaklıkta ve bir çözücüde çözünebilir maksimum madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Çözeltilerde benzer benzeri çözer kuralına göre polar çözücüler polar çözünenleri, apolar çözücüler tarafından da apolar çözücüler çözünmektedir. Polar bileşiklerde moleküller arası çekim kuvveti oldukça fazla olması nedeniyle molekülün negatif yüklü kısmı diğer molekülün pozitif yüklü kısmı tarafından kuvvetle çekilmektedir. NaCl tuz çözeltisinde tüm iyonlar karşı yüklü iyonlar tarafından çevrilidir ve elektriksel bir denge oluşmuştur. Çözelti yüzeyinde bu denge durumu bulunmamaktadır. NaCl çözeltisi su içerisine konulduğunda negatif yüklü oksijenler yüzeydeki Na atomlarını, pozitif yüklü hidrojenleri ile ise Cl iyonlarını sarar.

NaCl tuz çeşidinin suda çözünmesinin şematik görünümü şekil 2.1’ de verilmiştir (Chapman 2008).



Şekil 2.1 NaCl tuzunun suda çözünmesinin şematik görünümü (Chapman 2008).

Çözünürlüğü etkileyen faktörler; sıcaklık, ortak iyon etkisi, yabancı iyonların etkisi, hidrojen iyonu derişimi ve kompleksleşmenin etkisidir (Anonim 2021c). Bazı tuz çeşitlerinin sudaki çözünürlükleri ile ilgili bilgiler çizelge 2.6’ da verilmiştir. Sulama suyu içerisinde bulunan tuz çeşitlerinin çözünürlükleri birbirinden farklılık göstermektedir. Katı maddelerin çözünürlüğü sıcaklıkla genellikle artar. Ama sıcaklıkla çözünürlüğü; sabit kalan (NaCl, Na₂CrO₄ gibi), azalan (Ca(OH)₂, CaSO₄ gibi) önce yükselen sonra azalan (Na₂SO₄ gibi) katılar da bulunmaktadır. Çizelge 2.6’ da NaCl tuz çeşidinin 20°C’ de suda çözünürlüğü 35.9 g/100g H₂O iken NaHCO₃ tuz çeşidinde bu değer 9.6 g/100g H₂O olarak gözükmektedir. Ortak iyonun varlığında çözelti içerisindeki az çözünen bileşiğin çözünürlüğü saf sudakine göre azalan şekilde bir etki yaratmaktadır. Bunun nedeni, çözücüde bulunan iyonun derişimine, katı çözeltide bulunan iyonun derişimi eklendiğinde, çözünürlük dengesindeki iyonlardan birinin derişimi fazlalaşırken denge katıya yönünde kayarak çözünürlüğü azaltmasıdır. Buna örnek olarak CaCO₃’ un saf suda Na₂CO₃’ e göre daha fazla çözünmesi verilebilir. Yabancı iyonlar çözünürlük dengesinde yer almayan iyonlardır. Yabancı iyonların

varlığında, iyonlar arasındaki çekimden dolayı çözeltideki toplam iyon derişimi artar. Çözelti içerisindeki az çözünen bir bileşimin iyonlarının asidik veya bazik özellik taşıması, çözeltinin H iyonu derişimini değiştirdiğinden çözünlük dengesi de değişmektedir (Anonim 2020 c,d).

Çizelge 2.6 Bazı tuz çeşitlerinin 1 atm basınç altında ve sıcaklığa bağlı olarak sudaki çözünlükleri (birim: g/100g H₂O) (Anonim 2020d)

Tuz çeşidi	Formülü	Sıcaklık				
		0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
Sodyum klorür	NaCl	35.7	35.8	35.9	36.1	36.4
Sodyum karbonat	Na ₂ CO ₃	7.0	12.5	21.5	39.7	49.0
Sodyum bikarbonat	NaHCO ₃	7.0	8.1	9.60	11.1	12.7
Kalsiyum sülfat	CaSO ₄	0.22	0.24	0.25	0.26	0.26
Magnezyum sülfat	MgSO ₄	22.0	28.2	33.7	38.9	44.5

2.2.1 Sulama suyu kalitesinin bitkilere etkisi

Sulama suyunun kalitesi bitki gelişmesine doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde etki etmektedir. Sulama suyu kalitesinin bitkilerdeki doğrudan olumsuz etkileri, yüksek ozmotik koşulların yaratılması ve suda bitkilere zararlı bileşiklerin bulunması şeklinde ortaya çıkmaktadır (Bahçeci 2008, Anonim 2021e, Dorak vd. 2018).

Tuzlu topraklarda yetişen bitkiler, ortamda çözülmüş tuzların bulunmasından dolayı ortamda su olsa bile kökleri ile toprak çözeltisindeki besin elementlerini alamazlar. Bu duruma osmotik etki denir (Seeboonruang 2007, Shamim ve Akae 2009, Singh vd. 2010; Embaby ve El-Barbary 2011, Husien vd. 2017). Tuzların bitkiler üzerindeki

yarattığı diğerk bir etki de tuzluluğa neden olan Na, Cl ve B gibi iyonların meydana getirdiğı toksik etkidir (Corvin vd. 2003). Sulama suyunun olumsuz etkilerinden dolayı tuzlu alanlarda bitkilerin yetişmesi zorlaşmakta ve verim kayıpları olmaktadır. Tuzluluğun bitkilerde transpirasyon, su alımı, fotosentez oranı, protein sentezi, enzim aktivitesi, nitrat redüktaz aktivitesi, iyon alımı ve taşınmasını azalttığı, bitki kök gelişimini engellediğı; çiçek ve salkım sayısı, bitki yaş ve kuru ağırlığını dolayısıyla verimi azalttığını ortaya koyan çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Treshow 1975, Andiç 1993, Özdemir 1993, Larcher 1995, Turhan ve Kızıloğlu 1999, Aydın vd. 2000, Turhan vd. 2018, Turhan 2020).

2.2.2 Sulama suyu kalitesinin toprağa etkisi

Sulama suyu kalitesi dolaylı olarak toprağa olumsuz etkilemektedir. Sulamalarla verim artışı sağlansa da, sulama sularının içermiş oldukları suda çözünebilir tuzlar, toprak oluştundaki doğal nedenler dışında toprakta tuzluluk ve alkaliliğı arttırıcı olmaktadır. Bu artışın oranı; sulama suyunun miktarına, kimyasal bileşimi ve drenaj yoluyla toprak profilinden uzaklaştırılan su arasındaki dengeye bağlıdır. Sulamada kullanılan sular, içerdikleri tuzların çeşit ve miktarına bağlı olarak çok değışik özelliklerde olabilirler. Tuzlar; kayaların ve toprak zerrelerinin ayrışma ve parçalanma olayları ile primer minerallerden oluşurlar. Primer mineraller; kireç, jips gibi yavaş ayrışabilen mineralleri içermektedirler. Ayrışmaya uğrayan tuzlar, sulama suları ile tarım arazilerine taşınarak bitki kök bölgesinde birikmeye başlarlar. Eğer biriken bu tuzlar, kök bölgesinden yağış veya başka bir su kaynağı ile yapılan yıkamalar ile uzaklaştırılmaz ise toprakta zamanla tuzluluk sorunu ortaya çıkabilir (Sönmez ve Beyazgöl 2008).

Özbek (1990)' a göre sulama suyu kalitesi içerisindeki bu tuzların toprakta birikmeleri topraklarda tuzlulaşma ve alkalileşmeye önemli etkileri vardır. Sulama suyunun içerisinde olan çözünmüş halde bulunan maddelerin az veya çok miktarlarda toprakta birikmesi bölgenin iklim (sıcaklık, yağış ve buharlaşma gibi) ve toprak (geçirgenlik ve sızma gibi) özelliklerine bağlı olarak değışmektedir. Taiz ve Zeiger (2008) yaptıkları çalışmalarında topraklarda tuzlulaşmanın nedenlerinden birinin de sulama suyu tuzluluğı olduğunu bildirmişlerdir.

Akış vd.(2005) Harran Ovası ve çevresindeki yaptıkları bir çalışmada tarım arazilerindeki tuzluluğun oluşmasında iklimin etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar tuzluluğun nedenlerini taban suyunun yüksek olması, iklim koşulları, toprak özellikleri, sulama suyu kalitesi, yanlış ve aşırı sulama ve sulama sonucu biriken suların tarım arazilerinden uzaklaştırılmaması olduğunu ifade etmişlerdir.

Sulama sularının kalitesinin belirlenmesinde temel olan unsurlar, çözülmüş tuzların çeşitleridir (Karakoç ve Kale 2016). Sulama suyunun tuzluluğunun toprakta oluşturacağı etkiler üzerinde toprağın yapısı, tekstürü, bölgenin iklim koşulları, bitki çeşidi ve drenaj gibi faktörler önemlidir. Topraktaki tuzluluğun ortaya konmasında bu faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Düşük düzeyde tuz içeren sulama suları miktar olarak az da olsa bünyesinde tuz içermektedir. Eğer düşük kalitedeki bu suların belli bir süre kullanımı sonucunda toprakta biriken tuzlar profilden uzaklaştırılmaz ise toprakta tuzluluk artışı olacaktır. Bu konuda çok sayıda araştırma mevcuttur (Liu vd. 2013, Wang vd. 2013, Anonim 2016, Erdem ve Çelik 2018). Dünyada tuzdan etkilenen alanın yaklaşık %50'si Na içeren tuzların birikmesi sonucu oluşmuştur (Gong vd. 2014).

Toprağın en önemli kimyasal özelliklerinden biri olan toprak pH' sı bitki besin maddelerinin elverişliliğini etkilemektedir. Toprak pH' sı toprak içerisindeki çeşitli bileşiklerin çözünürlükleri, iyonların bağlanma güçleri ve mikroorganizmaların topraktaki aktivitesi ile yakından ilişkili bir toprak özelliğidir (Dursun 2017, Erkoçak 2020). Ayrıca toprağın kuvvetli bir tamponluk gücüne sahip olmasından dolayı suyun neden olabileceği bir pH değişimine karşı dayanıklılık oluşturmaktadır. Sulama suyu kalitesinin değişiminin sonucu olarak ile toprak pH' sında artma ve düşmeler görülebilir. Toprak pH'sında bu değişimler besin maddelerinin yayılmasını etkilemektedir (Yıldız 2008).

Toprakta çözeltinin pH değerinin değişmesine karşı bir direnç mevcuttur. Toprağın tamponluk özelliği adı verilen bu direnç potansiyel ve aktif asitlik arasındaki denge yardımıyla açıklanabilir. Toprağa aktif asitliği nötralize edecek miktarda kireç ilave edildiğinde değişim pozisyonlarında mevcut H⁺ iyonları dengeyi sağlamak için çözeltiliye geçerek pH değerinin aniden yükselmesine engel olurlar. Toprağın tamponluk

kapasitesi çeşitli etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Katyon değişim kapasitesi, kil tipi, kil miktarı ve organik madde tamponluk kapasitesini etkileyen en önemli faktörlerdir. 2:1 tipi kil minerallerini içeren killi ve organik madde yönünden zengin topraklar büyük ölçüde tamponluk kapasitesi gösterirler (Sağlam 2001). Toprak çözeltisine tuz ilave edildiğinde adsorbe edilmiş asitlik unsur iyonlarının miktarı ile bu iyonların çözeltideki miktarları arasındaki fark tuzun sıkıştırması sebebiyle azalmakta ve çözeltideki asitliğe neden olan iyonlar (H iyonları) daha dar bir mesafede toplanması sonucu daha düşük pH değeri elde edilmektedir. Bu konudaki diğer bir ifade ise ilave edilen tuzun katyonunun toprak kolloidlerindeki asidik katyonlarla yer değiştirerek çözeltiye geçmesi ve toprak pH' sını düşürme yönünde etkili olmasıdır (Aydın ve Sezen 1995).

Toprakta değişebilir katyonlarla toprağın pH' sı arasındaki ilişkiler reaksiyonlarla ifade edilirse,

Toprak $-(Ca+Mg)+H_2O =$ çok küçük net tepkime pH =7.0

Toprak- $Na+ H_2O=$ Toprak-H + Na + OH pH =9.0 şeklinde olmaktadır.

Tepkimelere göre değişebilir katyonların içerisinde Ca ve Mg çoğunlukta ise toprak reaksiyonunda belirgin bir değişimin olmadığı, toprak pH' sınında nötr durumda olduğu görülmektedir. Değişebilir Na' un baskın olduğu topraklarda ise Na' un yerine çözeltideki H⁺ geçerken toprak çözeltisine baziklik karakter oluşturan OH⁻ iyonu ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak toprak pH' sı yükselerek 9.0' a yükselmektedir (Bayraklı 1993).

Fazla miktarda değişebilir Na içeren topraklarda ise tuz ilavesi ile Na' un hidrolizi azalmakta ve daha düşük pH değerleri elde edilmektedir. Kireçli topraklarda ise aynı etki görülmekle birlikte pH değerindeki düşüş, değişebilir Ca'un tuzlar ile yer değiştirmesi şeklinde açıklanmaktadır (Sağlam 2001).

Puntamkar vd. (1988) tarafından yapılan çalışmada sulamada tuzlu suyun kullanılmasının toprak özelliklerine olan etkileri ve bu etkinin derecesinin toprağın tekstürü, geçirgenliği ile sulama suyunun içerdiği tuz oranına bağlı olarak değiştiği

belirtmiştir. Çalışmada, tuzlu suların kullanımından toprağın üst derinliklerinin daha fazla etkilendiği, toprak pH'sının önemli derecede değişmediği ve toprakların tuzlu suların etkisinden dolayı toprak geçirgenliğinde önemli düzeyde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Sulama sularında CO_3 ve HCO_3 konsantrasyonunun yüksek olması, topraklarda Ca ve Mg' un çökmesine neden olmakta ve Na' un nisbi konsantrasyonunu artırmaktadır. Na' un nisbi konsantrasyonunun artması ile ortamda Na_2CO_3 ve NaHCO_3 bileşikleri oluşmaktadır. (Eaton 1950, Kamhorst ve Bolt 1976)' a göre bu durum toprakların pH' sını hem yükseltir hem de topraklar disperse eder. Düşük alkali şartlar altında CaCO_3 ' ın baskın olduğu durumda toprakta pH, toprakta tuzluluktaki artışla birlikte düşüş göstermektedir (Lai ve Steawart 1990, Tan 1993, Dursun 2017). Alkali topraklarda, Na_2CO_3 ve NaHCO_3 varlığı nedeniyle toprakta pH' sı genellikle tuzluluktaki artışla birlikte artmaktadır (Gupta vd. 1989). CO_3 bitki kökleri ve mikroorganizmalar tarafından ortaya çıkarılır ve CO_3 ' ın suda çözünmesi ile HCO_3 konsantrasyonu artar. Ortamdaki HCO_3 ' un artması sonucunda suyun pH değerini artmasına bağlı olarak alkali özellikler oluşur. Toprakta Ca çöker ve Na başat duruma geçer (Kanber ve Ünlü 2010). HCO_3 ' ın yüksek konsantrasyona sahip olması Ca ve Mg' u bağlamasına neden olacağı için Na' un zararı artar (Çullu 2000a, Kızıloğlu vd. 2007).

Sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak toprak pH' sının artması ile ilgili çalışmalar da bulunmaktadır (Mancino ve Pepper 1992, Hassanli vd. 2008, Tarchouna vd. 2010). Schipper vd. (1996) yapmış oldukları çalışmada uzun süreli sulama uygulamalarından sonra toprak pH' sında 0.8 ünitelik bir fark olduğunu, bu artışın nedenini sulamalarla birlikte Na, Ca ve Mg gibi katyonların konsantrasyonlarının artmasının olduğunu vurgulamışlardır.

Qian ve Mecham (2005) yaptıkları çalışmada toprak pH' sındaki 0.2 ünitelik artışın sulama suyundaki yüksek bikarbonattan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar çalışmada Na-Mg katyonlarının yer değiştirmesinden dolayı kontrol uygulamasına göre sulama yapılan alanda Mg konsantrasyonunun % 15 düştüğünü belirtmişlerdir. Bazı araştırmacılar da amonyum nitrifikasyonu ve organik maddenin oksidasyonundan dolayı

toprak pH'ının düştüğünü ifade etmişlerdir (Hayes 1990, Vazquezmontiel vd. 1996, Mohammad ve Mazahreh 2003, Tarchouna vd. 2010).

Li vd. (2019) yapmış oldukları çalışmada orijinal toprağın pH 7.68' dir. Çalışmada Eylül ayı döneminde ise toprak pH' ı yüzey toprağında 8.06-8.20 arasında tespit edilmiştir. Araştırmacılar toprak pH'ındaki bu artışı, sulama suyunun yüksek pH' ı ve değişebilir Na' un hidrolizine (Beek ve Breemen 1973) ve suda çözünebilir Ca' un yıkanmasına ve yıkanan Ca' un HCO₃ ile birleşerek CaCO₃ şeklinde çökmesine (Chen vd. 2000) bağlamışlardır. Aynı çalışmada, Kasım ayı döneminde ise toprak pH'ında düşme görülmüştür. Toprak pH'ındaki bu azalma toprakta kation değişimi ile birikmesi, buharlaşma ve gübreleme olarak ifade edilmiştir (Beek ve Breemen 1973). Yapılan çalışmada bir yıl sonra ise toprak pH' ı 0-60 cm toprak derinliğinde düşme göstermiştir.

Bouaroudj vd. (2019) sulanan topraklarda sulama suyunun kalitesinin toprak özelliklerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında toprakta pH, EC ve organik maddenin arttığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar sulanan alandaki toprak pH'ındaki artışın nedenini üç faktöre bağlamışlardır. Bunlar; i) sulama suyundaki Na, Ca ve Mg kationlarının yüksek olması nedeniyle alkali koşulların oluşması, ii) organik bileşiklerin oksidasyonu, iii) amonyum nitrifikasyonudur (Mohammad ve Mazahreh 2003).

Chamaki vd. (2019) uzun süreli sulamanın toprak tuzluluğu dinamiğine olan etkilerini araştırdıkları çalışmada ilk örnekleme yapıldığı 2007 Ekim ayında toprak pH' ı 6.7 ile 9.3 arasında iken, 2016 Şubat ayında alınan toprak örneklerinde ise toprak pH'ının 7.3 ile 9.4 arasında değiştiğini, çalışma periyodunda ortalama toprak pH'ının 7.7' den 8.1' e yükseldiğini belirtmişlerdir.

Colling vd (1970) yaptıkları çalışmada EC_e ve toprak pH' ı arasında negatif etkileşim bulmuşlardır. Bu negatif korelasyonun ise çözünebilir tuzların varlığından dolayı toprakta EC' nin artışı ve toprak pH' ının azalması olduğunu belirtmişlerdir.

Araştırmacılar toprak pH değerlerindeki mevsimsel olarak ortaya çıkan bu farklılığın çözünebilir tuzların etkisi ile olduğunu ifade etmişlerdir.

Smedema ve Rycroft (1984) tarafından yapılan çalışmada toprak tuzluluğunun değişiminde zaman ve uzaklığın önemli olduğu, yatay ve düşey kesimde büyük oranda değişimlerin olduğu ve tuzların topraktaki dağılımlarının farklı olmasının toprakta suyun hareketinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar; toprakta tuz içeriğinin yağışlardan ve sulamalar sonrası dönemde, derinliğe bağlı olarak artış gösterirken yağışların olmadığı kuru dönemde derinlik boyunca azaldığı, toprak profili boyunca derinliğe bağlı olarak arttığını, buna karşılık kuru dönemde ise tuzluluğun toprak profil derinliği boyunca azaldığı saptanmıştır.

Meiri ve Plaut (1985) sulamada kullanılan suların etkisiyle tuzların bitki kök bölgesine iletilmesini, kış yağışlarının yetersiz veya yıkamanın yapılmadığı şartlarda toprak profilinde zamanla tuzun birikme göstereceğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar sulama ile toprağa verilen tuz miktarının toprak tuzluluğunu etkileyen önemli bir neden olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Toprak yüzeyinden profilin alt katmanlarına doğru yıkanan tuz ve kirecin biriktiği derinlik, toprağın su tutma kapasitesine, toprak tekstürüne, geçirgenliğe ve toprak içine sızan su miktarına bağlıdır (Amit vd. 2010). Bu durum bir arazi üzerinde tuz ve kirecin birikmesinde farklılıklar olmasına neden olmaktadır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde suda çözünebilir tuzların bir kısmı kapılar yükselme ile toprak yüzeyine tekrar çıkarak burada birikirken, kireç ve kil yıkandıkları derinlikte birikmektedir. (Khadkikar vd. 2000).

Kadiroğlu ve Kaplan (2000) yaptıkları çalışmada üç farklı EC (0.5, 1.0 ve 2.0 dS m⁻¹) değerine sahip sulama sularının kullandıkları sera denemesinin başlangıcında toprağın EC' sinin 1.6 dS m⁻¹ olduğunu, yetiştirme döneminin sonunda ise farklı sulama suları kullanımı ve gübrelemeden kaynaklı EC değerinde artma olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada farklı düzeylerde EC' ye sahip sulama sularının kullanımı sonucunda dönemler arasında tuzluluk değerleri açısından farklılık istatistiksel olarak önemli

bulunmuştur ($p < 0.1$). Ayrıca çalışmada tuz miktarlarının sulama düzeyleri ve bitkinin büyüme dönemlerine bağlı olarak değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Toprak profilindeki tuz miktarları, büyüme mevsiminin sonuna doğru yüksek değerlere ulaşmıştır. Araştırmacılar kış yağışlarının yetersizliği veya yıkama suyu olmamasından dolayı sulama suyu ile profile sızan tuzun zamanla birikeceği ve sulama suyu tuzluluğunun artması ile toprak tuzluluğunun artacağı sonucuna ulaşmışlardır. Aynı çalışmada yetiştirme dönemi boyunca ortalama EC değeri 0.5 dS m^{-1} olan suyun uygulanması ile 0-20 cm derinliğinde toprağın EC değerinin 3.56 dS m^{-1} ' ye kadar yükseldiğini, EC değeri 1.0 dS m^{-1} olan kuyu suyunun uygulanması ile toprağın EC'si 4.50 dS m^{-1} ' ye, EC değeri 2.0 dS m^{-1} olan Kumluca suyunun uygulanması ile de toprağın EC' sinin 5.90 dS m^{-1} ' ye yükseldiği araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Çalışmada EC değerlerindeki değişimler 20-40 cm' lik toprak derinliğinde sırasıyla $3.56, 4.37$ ve 6.31 dS m^{-1} olarak belirlenmiştir.

Antalya Demre yöresinde seralarda yapmış oldukları çalışmada Sönmez ve Kaplan (2004) vejetasyon dönemi boyunca toprak EC' sinde farklılıklar gözlemlemişlerdir. Araştırmacılara göre bu farklılıklar tuzluluğun iklim ve bölge koşullarına göre değişebileceğini göstermektedir.

Bafra Ovası'nda yaptıkları iki yıl süren çalışmada Cemek vd. (2006) sulama döneminin sonunda Ağustos ayında toprakta tuz birikiminin daha çok 30-90 cm derinlikler arasında olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmada araştırmacılar sulama döneminin başlangıç Mart döneminde toprağın yüzeyinde 0-30 cm toprak derinliğinde tuzluluk probleminin olmadığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar toprağın 30-90 cm derinliğinde az da olsa görülen tuzluluk sorunun olmasını bölgeye sonbahar ve kış döneminde düşen yağışlardan dolayı tuzların yıkanması olarak açıklamışlardır. Sonuç olarak ise, sulamanın başlamasıyla tuzluluğun artmaya başladığı ve tuzluluğun sulama mevsiminin sonunda yükseldiği vurgulanmıştır.

Günel vd. (2008) Tokat Kazova' da yaptıkları çalışma kapsamında sulama öncesi ve sulama sonrasında olmak üzere iki farklı dönemde toplam 400 örnekleme noktasından, 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm toprak derinliklerinden alınan toprak örneklerinde EC

değerlerini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, çalışmada sulama öncesi ovanın ortalama toprak tuzluluğunu 0.79 dS m^{-1} , 0-30, 30-60 ve 60-90 cm toprak derinlikleri için ise EC değerlerinin sırasıyla 0.65 , 0.71 ve 1.01 dS m^{-1} olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada sulama sonrasında ovanın ortalama toprak tuzluluğu 0.67 dS m^{-1} , 0-30, 30-60 ve 60-90 cm toprak derinlikleri için ise EC değerlerinin sırasıyla 0.50 , 0.65 ve 0.83 dS m^{-1} olarak belirlenmiştir. Ayrıca araştırmacılar sulamadan sonra toprak tuzluluğunda EC değerlerinin 0.12 dS m^{-1} 'ye kadar bir düşüş olduğunu belirlemişlerdir.

Rana vd. (2010) Hindistan Haryana'da tarım arazilerinde yaptıkları çalışmada uzun süreli kanal suyunun kullanmışlardır. Araştırmacılar 0-10 cm derinlikten aldıkları topraklarda fiziko-kimyasal özellikleri incelemişlerdir. Çalışma sonucunda toprak pH'ında 0.98 ünitelik bir azalma olduğunu, toprakta EC değerlerinin yüksek tuz içeriğine sahip kanal suyunun uzun süreli kullanımı ile 0.99 dS m^{-1} den 1.65 dS m^{-1} 'ye kadar farklılaştığını saptamışlardır.

Demir ve Kılıç (2012) Aşağı Kelkit Havzası'nda bulunan Erbaa ovasında yapmış oldukları çalışmada, alanda sulama amaçlı kullanılmakta olan su kuyularının sularının kalitesini değerlendirmişlerdir. Toprakta EC ve pH değerlerini sulama öncesi ve sulama sonrası dönemlerde istatistiksel olarak ($p < 0.05$) olarak önemli bulunurken araştırmacılar toprakta pH değerlerinin sulama mevsimi öncesi 7.23 ile 7.65 arasında belirlenirken sulama mevsiminden sonraki dönemde ise 7.40 ile 8.20 arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Üras ve Sönmez (2012) yapmış oldukları çalışmada EC değerleri 1 , 2 , 3 dS m^{-1} olan üç farklı sulama suyunun farklı tekstürdeki toprakların verimliliklerine ve toprak tuzluluğuna olan etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda toprakların pH ve değişebilir Ca içeriklerinin kil topraklarda sulama suyundaki tuz içeriğinin artmasıyla azaldığını, değişebilir K içeriğinin ise arttığını tespit etmişlerdir. Kum topraklarda ise sulama suyundaki tuz içeriğinin artmasına bağlı olarak pH ve değişebilir Ca içeriği artarken, değişebilir K azalmış, değişebilir Mg içeriği ise sulama suyu tuzluluğundan etkilenmemiştir. Killi tın topraklarda sulama suyunda tuz içeriğindeki artışla toprakta pH'nın azaldığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar bulunan bu sonucun kullanılan sulama

suyunun pH değerinin, toprakların pH değerlerine göre düşük olması ve pH' nın hafif asit (pH: 6.50) olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Tekin (2018) yağmurlama sulama yapılarak sulamada tuzlu su kullanımının toprağa olan etkilerini belirlemeye çalıştıkları çalışmada, farklı düzeylerdeki tuzlu sulama sularını buğday yetiştirme mevsiminin üç farklı döneminde; başlangıç dönemi (Ocak), orta dönemde (Mart) ve hasat dönemi (Mayıs) olmak üzere toprak örneklerini alarak profildeki tuz dağılımlarını incelemiştir. Araştırmacı deneme konularına ilişkin toprak profillerinde zaman ve uzaklığa bağlı olarak tuz birikimlerinin olduğunu ve biriken tuz miktarlarının sulama düzeyleri ile büyüme dönemlerine bağlı olarak değiştiğini ifade etmiştir. Çalışmada profildeki suyun miktarı ve tuz derişimi, kullanılan su kaynağından olan uzaklığa ve toprak derinliğine bağlı olarak değişmiştir. Toprakta ortalama tuz değerlerinin ilk yıl 0.36 dS m^{-1} den ikinci yılda daha fazla tuzlu sulama sularının uygulandığı ve su kaynağına en yakın olan sulama konusunda, toprağın yüzey kısmında ortalama 12.90 dS m^{-1} olarak belirlemiştir. Araştırmacı tuzluluk değerlerinin yüksek olmasının nedeni olarak söz konusu sulama konusunda daha fazla sulama suyu miktarının olması sonucunda toprakta fazla tuz birikimleri olmasına bağlamıştır. Aynı çalışmanın ikinci yılında toprak profili boyunca hacim ağırlığının % 16 arttığı belirlenmiştir. Hacim ağırlığındaki bu artışın nedeni olarak artan tuz oranına bağlı olarak kil bakımından zengin toprakların disperse olması ile toprakta boşluk hacminin azalması ile gözeneklerin tıkanması neticesinde birim hacimde katı madde miktarının artmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Ödemiş vd. (2018) sera koşullarında yaptıkları çalışmada 4 farklı tuz düzeyi (EC değerleri 0.7, 2, 3, 5, dS m^{-1}) ve iki farklı taban suyu seviyesinde (41 cm ve 31 cm) toprak yüzeyinden itibaren malçlı ve malçsız uygulamaların toprak profilindeki tuz dağılımına etkilerini belirlemiştir. Çalışmada taban suyu tuzluluğunu ortaya koymak için dozlara bağlı olarak çeşme suyuna NaCl ekleyerek denemede kullanılacak sulama sularını hazırlamışlardır. Araştırmacılar çalışmada tuz konsantrasyonunun yüksek olduğu sulama konusunda, toprak tuzluluğunun derinliğin artmasıyla arttığını ve toprak yüzeyinde EC değerlerinin yükseldiğini belirtmişlerdir. Toprakta elektriksel iletkenlik değerlerinin malç uygulamasında toprak derinliğine bağlı olarak artış gösterdiği,

malçsız uygulamada ise toprak yüzeyine yakın kısımlarda tuzlulukta artış olduğu saptanmıştır. Çalışmada malçız konuda taban suyunun yüksekliği ve kapilariteden dolayı yüzeyde toprak tuzluluğunun arttığı, malçlı konuda ise evaporasyonun düşük olmasından dolayı buharlaşma olmadığından tuz birikimi olmadığı toprak yüzeyinden ziyade toprak profilinde alt derinliklerde yıkanmadan dolayı tuzluluk görüldüğü ifade edilmiştir.

Özdemir vd. (2018) yaptıkları çalışmada çalışma alanı için üretilen tuzluluk, alkalilik ve pH haritalarında gözlemlenen farklılığın en önemli nedenini toprak örneklemeleri dönemlerinin farklı olması olarak belirtmişlerdir. Çalışmaya göre kurak bir dönemde yapılan örnekleme ile yağış ve sulamalardan sonra yapılan örneklemler arasında özellikle tuz konsantrasyonu açısından önemli farklılıklar oluşabildiği, tuz ve Na konsantrasyonu yüksek olan taban sularının kapilarite ile toprak profilinin üst kısımlarına taşınıyor olmasının örnekleme derinliklerinde toprakta EC, ESP ve pH değerlerinin yüksek çıkmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada yağışlı ve sulama yapılan dönemlerde toprak profilinin alt kesimlerine hareket eden tuzların, kuru dönemin sonunda tekrardan toprak profilinin üst kısımlarına doğru hareket etmiş olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kil mineralleri negatif yük taşıdıklarından pozitif yüklü katyonları çekmektedir. Kil kolloidinin yüzeylerinde çekim nedeniyle zayıf bir şekilde tutulan katyonlar sistemdeki diğer katyonlar ile kolayca yer değiştirebilirler ve kil parçacığının bulunduğu ortamın katyon statüsü değiştikçe adsorbe edilen katyonlarda yeni ortam şartlarına göre çözelti ile denge oluşturacak şekilde yer değiştirirler. Kil kolloidlerinin üzerinde değişebilir formda tutulan iyonların 100 g topraktaki miktarı katyon değişim kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Toprak kolloidleri tarafından tutulan katyonlar, toprakların birçok fiziksel özellikleri üzerinde (şişme, dispersiyon, ıslanma ısısı, higroskopisite) etkilidirler Bir katyonla yer değiştirerek çözeltiliye geçen katyonlara değişebilir katyonlar denir. Değişebilir katyonlar Na, Ca, K, Mg, Al ve H iyonlarıdır (Anonim 2021g). Katyonların sorbentler tarafından adsorbe ve desorbe edilmeleri farklı olmaktadır. Na ve K' nın aynı değerlerde olmalarına karşın farklı miktarlarda tutulmaktadır.

Katyonların farklı miktarlarda tutulmaları üzerinde katyonun değeri ile katyonların dehidrate ve hidrate çapları etkili olmaktadır. Levhasal bir yapıya sahip olan kil kolloidleri üzerinde adsorbe edilmiş olan iyonlar tamamen hareketsiz değildir. Tutulan kolloidler Brown hareketi ile kil yüzeyinden uzaklaşırlar. Ortama ilave edilen bir elektrolitin katyonu böylece pozitif iyon ile negatif yük taşıyan yüzey arasına kayar ve katyon değişimi meydana gelir. Yüzeydeki iyon çözeltiye geçer. Titreşim mesafesi elektriksel çift tabakanın kalınlığının bir fonksiyonudur (Özdemir 1998). Adsorbsiyon belli bir orana ulaşıncaya kolloid adsorbe ettiği iyonla doyar ve önceden adsorbe edilen iyonlar, sonradan gelen iyonları itmeye başlarlar. Bu durumda yüzeye bağlanmış hareketsiz tabaka ile sıvı içerisinde hareketli bir tabaka meydana gelir. Herhangi bir katı faz ile sıvı fazın birleştiği temas alanında bu iki faz arasında meydana gelen elektrokimyasal nitelikteki potansiyel farkın oluşturduğu dağılım alanına elektriksel çift tabaka adı verilmektedir. Genellikle katı yüzeylerdeki negatif yükler sıvı fazdaki pozitif yükleri çekerek çift tabakayı oluştururlar. Toprak kolloidleri negatif yüke sahip olduklarından pozitif bir yüklü iyonları çekerek çift tabakayı oluştururlar (Şekil 2.2). Bu şekilde oluşan bir sistemde hareketli ve hareketsiz iyon tabakaları arasındaki potansiyel fark zeta potansiyeli olarak tanımlanmaktadır (Sağlam 2001).



Şekil 2.2 Kolloidal bir sistemde oluşan potansiyel fark (zeta potansiyel) (Anonim 2020b)

Toprak çözeltisinde bulunan katyonların adsorbe edilme kuvvetini Coulomb yasası ile açıklanabilir. Bu yasaya göre zıt elektriksel yük taşıyan iki iyon arasındaki çekim

kuvveti bu iyonların taşıdığı yük ile doğru orantılı iken, iyonların aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Yasa aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$F = k \frac{e_a e_c}{d^2} \quad (2.1)$$

Eşitlikte, F çekim kuvveti. e_a anyonun elektrik yükü, e_c katyonun elektrik yükü, d anyon ve katyon arasındaki mesafeyi gösterir. Yasa negatif elektrik yükü taşıyan bir kil kolloidi ve pozitif yük taşıyan bir iyon için yazılırsa;

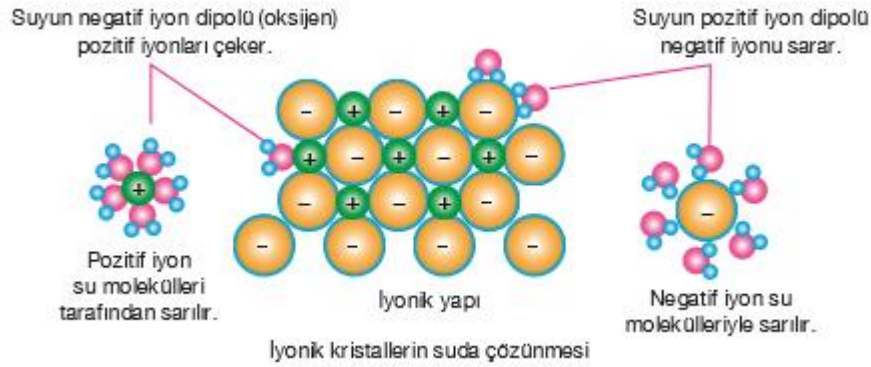
$$F = k \frac{e_a e_c}{(r_a + r_c)^2} \quad (2.2)$$

Eşitlikte, F çekim kuvveti. e_a kilin negatif yükü, e_c değişebilir katyonun elektrik yükü, r_a kil kolloidinin yarıçapı, r_c değişebilir katyonun yarıçapıdır. Bu eşitliklere göre iyonik yarıçapı küçük olan iyonlar büyük olanlara göre daha fazla kuvvetli tutulmaktadır. Bazı durumlarda Coulomb yasasına aykırılıklar olabilmektedir.

Küçük iyonik çapa (dehidrate) sahip olan Li büyük iyonik yarıçapa sahip olan Cs, Na' a oranla daha zayıf bir şekilde tutulmaktadır. Bu durumun nedeni Li katyonunun daha fazla hidrate olmasına bağlanmaktadır. Fazla hidrate olan iyonlar etrafında daha kalın bir su zarı oluşturmaktadır. Bu su zarı ile iyonun etkili yarıçapı arttığı için tutulma kuvveti azalmaktadır (Özdemir 1998). İyonik bileşiklerin çözünmesi sırasında su dipolleri iyonların etrafına sarar ve onları hidratlaştırır (Şekil 2.3). Dehidrate çapları küçük olan katyonların birim hacimlerindeki elektrik yük yoğunluğu daha fazladır. Bu bakımdan bu tip katyon veya iyonlar su moleküllerine bağlanma yönünden daha isteklidir. Çevresine su moleküllerini bağlamış yani hidrate olmuş bir katyonun iyonik çapı hidrate olmamış veya hidrasyon derecesi bundan küçük olan katyonun hidrate çapından daha büyüktür. Hidrate çapı büyük olan katyonlar, hidrasyon derecesi düşük dolayısıyla hidrate çapı küçük olan katyonlara göre kolloid yüzeyine daha zayıf bir kuvvetle tutunurlar. Hidrate çapı küçük olanların pozitif yük yoğunluğu iyon etrafındaki su tabakası tarafından daha az perdelendiğinden bu katyonların kolloid yüzeyindeki negatif elektrik yüküne yaklaşma ve tutunma şans ve imkânı daha fazladır. Bu

bakımdan bu katyonların Coulombik kuvvetlerle yüzeyde tutunma şansı daha çoktur. Kısmen dehidrate olmuş iyonlarda aynı sebepten dolayı kolloid yüzeylerinde daha yakın olurlar ve yüzeyler üzerinde daha kuvvetli tutulurlar. Aynı değerliğe sahip katyonlarda dehidrate çap büyüdükçe tutulma gücü artar. Ancak değişim su içerisinde ise katyonların dehidrate çapları yerine hidrate yarıçaplarının dikkate alınması gerekir (Çizelge 2.7). Eşit valanslı katyonlardan genelde en az hidrate olan en yüksek tutulma gücüne sahiptir. Negatif yüke sahip kolloidler tarafından pozitif yüklü iyonların tutulmasındaki güç, Coulomb kanunu ile açıklanabilir. En zayıf Li⁺ un ve en kuvvetli şekilde Al³⁺ un tutulduğunu gösteren bu sıraya liyotropik sıra denir. Liyotropik sıra Li<Na<NH₄<K<Rb<Cs<Mg<Ca<Sr<Ba<La<Al şeklindedir.

Herhangi bir iyonun kolloid yüzeyinde tutulması veya kolloid tarafından itilmesini etkileyen faktörlerden biri de o iyonun taşımış olduğu elektrik yükünün çeşit ve miktarıdır. Buna göre, iki değerlikli katyonlar bir değerlikli katyonlara üç değerlikli iki değerliklere, çok değerlikler ise üç değerliklere kıyasla kolloid yüzeyinde daha sıkı bir şekilde tutulurlar (Bayraklı 1993, Sağlam 2001).

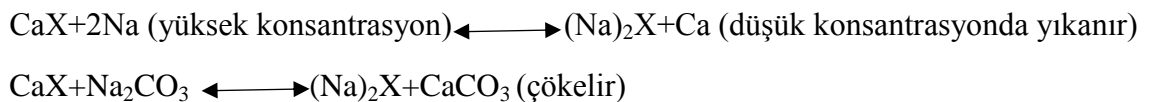


Şekil 2.3 İyonların değişiminde hidratlaşma olayı (Anonim 2020e)

Katyonların tutulması kil tipi ile yakından ilişkilidir. Genellikle 2:1 tipindeki kil mineralleri, 1:1 tipindeki kil minerallerine oranla daha fazla katyon tutma özelliğine sahiptir. Belirli bir katyonun tutulması da kil tipi ile yakından ilişkilidir. Ca, montmorillonit tarafından kaolinite oranla daha fazla tutulurken, H ise tam tersi bir durum göstermektedir. Elektriksel çift tabakanın kalınlığına adsorbe edilen katyonun tipi, hidrate çapı ve değerliği, çözeltideki konsantrasyonu, ortamın sıcaklığı ve kolloidin yüzey yoğunluğu etki etmektedir. Elektriksel çift tabakanın kalınlığı ile elektrolit

konsantrasyonu arasındaki ilişki çizelge 2.8' de verilmiştir. Buna göre tek değerli katyon ile elde edilen kalınlık iki değerli katyon ile elde edilenden daha fazladır. Konsantrasyon arttıkça her iki iyon içi elektriksel çift tabaka kalınlıkları azalmaktadır (Sağlam 2001). Değerliğin düşmesi, hidrate çapın artması gibi durumlarda elektriksel çift tabaka kalınlaşır, zeta potansiyeli artar ve koloidal sistem devamlılık gösterir. İyon değerliği arttıkça ve hidrate çaplarını küçüldükçe veya dehidrate çapları büyüdükçe çift tabaka inceler ve kolloidler çöker. Na gibi hidrate çapı büyük olan katyonlar çift tabakanın kalınlığını artırmaktadır. Eşit büyüklükteki katyonlarda katyonun değerliği arttıkça elektriksel çift tabaka kalınlığının azaldığı belirlenmiştir. Mg-kil, Li-kil' e oranla elektriksel çift tabaka kalınlığını daha fazla düşürmektedir. Na' un bulunduğu ortamlarda dispersiyon hali, Ca' un bulunduğu ortamlarda ise çökme hali daha etkili olmaktadır. Ca dispers sisteme ilave edildiğinde negatif yüklü kolloid tarafından Coulomb kanununa göre sıkı bir şekilde tutulmakta. zeta potansiyeli düşmekte ve çökme meydana gelmektedir. Bu şekilde toprakta Ca, agregatlaşmanın başlangıcı olan flokulasyonu sağlamaktadır. Na ile doyurularak dispers hale getirilmiş bir sistemde kolloidler çökmesi ve flokulasyonu iki şekilde olmaktadır. Koloidal bir sisteme tuz ilave edildiğinde fazla tuzun sıkıştırmasından dolayı çökme olur. Bu durumda elektriksel çift tabaka daralmakta zeta potansiyeli azalmakta ve çökme meydana gelmektedir. Adsorbe edilen katyon ile ilave edilen katyonun farklı cinsten olması durumunda ise iyonik sıkıştırma ve değişme birlikte meydana gelmektedir (Özdemir 1998).

Değişim çözeltilerinde bir katyonun konsantrasyonu veya diğer katyonlara nisbi oranı arttıkça, kolloidler tarafından tutulan miktarı da artar. İki değerli olan Ca ve Mg iyonları, kolloidler tarafından bir değerli olan Na ve K' a oranla daha kuvvetle tutulur. Buna rağmen çözeltide Na ve K konsantrasyonu fazla ise, Na ve K kolloidler üzerinde başat duruma geçer. Bu durumda yer değiştiren ve çözelti geçen düşük konsantrasyondaki katyon yıkanmak, çökme veya gaz halinde uçmak suretiyle ortamdaki profilin derinliklerine uzaklaşır. Kolloide bağlı olan Ca' un Na ile yer değiştirmesi ve ortamdaki uzaklaştırılması aşağıda gösterilmiştir (Sağlam 2001).





Çizelge 2.7 Bazı iyonların dehidrate ve hidrate yarıçapları
(Grim 1968, Özdemir 1998)

İyon	Dehidrate (Å°)	Hidrate (Å°)
Li ⁺	0.68	10.03
Na ⁺	0.98	7.90
K ⁺	1.33	5.32
NH ₄ ⁺	1.43	5.37
Mg ⁺²	0.89	10.8
Ca ⁺²	1.17	9.6

Çizelge 2.8 Sabit bir yüzey potansiyelinde elektrolit konsantrasyonunun yaklaşık elektriksel çift tabaka kalınlığı (Van Olphen 1963, Sağlam (2001))

Çözeltideki katyon konsantrasyonu (Normalite)	Çift tabakanın kalınlığı (Å°)	
	Tek değerli katyon	İki değerli katyon
10 ⁻⁵	1000	500
10 ⁻³	100	50
10 ⁻¹	10	5

Kelly (1960) sulama suyu ile gelen tuzların çeşitli değişimlere uğradığını, Ca ve Mg' un karbonatlar şeklinde çökme eğiliminde olduğunu, Na' un ise çözülmüş veya adsorbe edilmiş durumda kaldığını bildirmektedir. Araştırmacı sulama suyu kalitesinin toprakta tuzlanmaya olan etkisi, sulama suyunun içerik ve konsantrasyonuna, uygulama miktarına, sulama yöntemine, iklim özellikleri, yağış durumuna, toprak geçirgenliğine, profil karakteristiklerine ve taban suyu derinliğine bağlı olduğunu belirtmektedir.

Tarla şartlarında iki farklı su rejimi altındaki toprakta NO₃ ve Cl hareketini birbirini takip eden sulama ve buharlaşma dönemlerine göre inceledikleri çalışmada Cassel (1971) çalışmasında parsellerden birinde sulamadan hemen sonra polietilen örtü kullanılarak, buharlaşmayı önlemeye çalışmıştır. Çalışma sonunda araştırmacı, suyun

buharlaşmasının önlenmesi ile çözülmüş tuzlardan özellikle NO_3 ve Cl iyonlarının toprağın çok derinlerine taşınacağını belirtmiştir. Ayrıca çalışmada, topraktaki Cl tuzlarının çözünürlüklerinin yüksek olmasından dolayı su ile kolay bir şekilde topraktan uzaklaştırabileceğini vurgulanmıştır.

Paltwal ve Gandhi (1976) sulama suyundaki tuzluluk, SAR, Ca/Mg oranı ve toprak bünyesinin ESP üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Üç farklı bünyeye sahip topraklarda Na , Ca , Na-Mg iyonları ile Na-Ca-Mg iyonlarını içeren 20 ve 50 me L^{-1} toplam tuz konsantrasyonuna sahip 5 farklı SAR ve Ca/Mg oranı içeren 50 çözeltiyle çalışmayı yürütmüşlerdir. Çalışmanın sunucunda Na adsorpsiyonunun tuzluluk artışıyla hafif bir artış gösterdiğini, SAR değerinin artmasıyla ise daha fazla artış olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmada aynı tuz konsantrasyonu ve SAR değerine sahip, fakat düşük Ca/Mg oranındaki çözeltiler ile yapılan uygulamalarda toprakların Na adsorpsiyonunun, Ca/Mg oranı yüksek olan uygulamaya göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (Biggar ve Nielsen 1976).

Hindistan'da organik madde ve kirecin toprakların Na-Ca katyon değişim dengesine etkisini belirlemek amacıyla yürütülen çalışma kapsamında Gupta vd. (1984) organik maddesi, kireci ve hem organik maddesi, hem de kireci giderilmiş olan üç grup toprak kullanmışlardır. Çalışmada toprakların tümü NaCl ve CaCl_2 içeren çözeltilerle doymun hale getirilmiş ve kireç kapsayan toprak örneğinin, kireç kapsamayan ancak organik madde kapsayan toprak örneğine göre toprakta daha fazla Na adsorbe ettiği ve bu nedenle toprakta bulunan organik maddenin ve CaCO_3 'ün Na 'un olumsuz etkisini azalttığını sonucuna varılmıştır.

Curtin ve Syers (1990) yapmış oldukları çalışmada toprakta bulunan Cl ve NO_3 anyonlarının, SO_4 adsorpsiyonunu artırarak yıkanmasına engel olduğu, SO_4 tuzlarının çözünebilirliklerinin Cl iyonlarına göre az olmasından dolayı, SO_4 'ün kil mineralleri tarafından adsorbe edilmesinin etkisiyle daha az yıkandığını vurgulamışlardır.

Solonetzik B horizonun oluşmasında Miller ve Pawluk (1993) tuz ve su hareketinde mevsimlerin etkisini araştırdıkları çalışmada toprakta ve taban suyunda katyonlardan Na

, anyonlardan ise SO_4 ve HCO_3 ' un baskın olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca çözünebilir tuzlardan $NaHCO_3$ tuzlarının diğer tuz çeşitlerine göre toprak yüzeyinin ilk 40 cm derinliğinde yüksek miktarda bulunurken, çözünürlüğü $NaHCO_3$ tuzuna göre daha az olan $CaSO_4$ ve $MgSO_4$ tuzlarının toprağın 40 cm altındaki derinliklerde fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Yine aynı araştırmacılar EC, Na, Mg, Ca_2SO_4 , HCO_3 konsantrasyonlarını ilkbaharda düşük, yaz ve sonbaharda yüksek bulmuşlardır. Çalışmada araştırmacılar Na toprak profilindeki mevsimsel değişimin Ca ve Mg' a göre fazla olmasının nedenini değişim komplekslerindeki iki değerlikli katyonların daha kuvvetli tutulması olarak raporlamışlardır. Çalışmada tuz çeşitlerinin çözünebilirliklerinin farklılığından dolayı HCO_3 tuzlarının üst profilde SO_4 ' e göre daha fazla bulunduğu, SO_4 ' ın alt derinliklerde yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Öztürk (2000) iyon hareketi üzerinde farklı akış hızlarının etkilerini kumlu killi tın ve killi tın toprakta belirleyen araştırmacı toprakta Na, Ca, Mg katyonları ile B iyonunda yıkanmanın yavaş olduğunu, K ve Cl iyonlarında yıkanmanın çok daha kolay olduğunu saptamıştır. Ayrıca HCO_3 ve SO_4 ' ın ise orta derecede yıkandığı, kumlu killi tın bünyeye sahip topraktan iyon yıkanmasının, killi tın toprağa göre daha kolay olduğu belirtilmiştir.

Mostafazade vd. (2007) siltli killi tın ve tipik bir toprakta üç sulama tuzluluğunda (4.9 ve 12 dS m^{-1}) ve 4 yıkama düzeyinde (0, 17, 29 ve % 37) toprakların tuzluluk, SAR ve su tutma kapasitesi gibi özelliklerinde sulama suyu tuzluluğunun etkisini araştırmışlardır. Çalışmada sulama suyu tuzluluğu arttıkça toprak tuzluluğu ve SAR oranı artmıştır. Üst toprakta EC ve SAR değerleri sulama suyu tuz konsantrasyonu arttıkça 15-30 cm göre daha fazla artış göstermiştir. Sulama suyu tuzluluğu toprak pH' sına etkide bulunmazken toprakların su tutma kapasitesi artmıştır.

Bedhabis vd. (2014) dört yıl süren çalışmalarının sonunda sulama suyuna bağlı olarak toprak özelliklerinden toprak pH ve infiltrasyonun düştüğünü, organik madde, EC ve SAR değerlerinde artma olduğunu bildirmişlerdir. Aynı çalışmada Mg iyonunun magnezit magnezyum karbonat ($MgCO_3$) ve magnezyum klorür ($MgCl_2$) şeklinde çökeldiği, Ca iyonunda çalışma sonucunda derinlikle beraber biriktiği görülmüştür.

Başlangıçta sulama suyunun K içeriğinin yüksek olmasından dolayı, yüzey toprağında K konsantrasyonu yüksek iken derinlikle beraber konsantrasyonunda düşme tespit edilmiştir. K içeriği ile ilgili benzer çalışmalar vardır (Emongor ve Ramolemana 2004, Heidarpour vd. 2007).

Javadi vd. (2019) toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerine su kalitesinin etkilerine baktıkları çalışmada SAR değerleri 0.77, 11.30 ve 21.38; EC değerleri ise (0.6, 3 ve 6 dS m⁻¹) olan üç farklı kalitede sulama suyu iki sulama yöntemi (günlük ve aralıklı sulama) ve üç sulama dönemi (8 gün, 45 gün, 100 gün) kullanmışlardır. Çalışmada EC ve SAR değerlerinin kapillar yükselmeden dolayı 0-12 cm yüzey toprağında 12.5-40 cm derinlikten daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma sonunda Na iyonu toprakta birikme gösterirken, Ca ve Mg' un ise yıkandığı belirtilmiştir. Araştırmacılar sulama suyundaki Na konsantrasyonunun yüksek olmasının, SAR değerini yükselttiğine ve Ca ile Mg' un yıkanmış olabileceği üzerinde vurgu yapmışlardır.

Hammade vd. (2020) NaCl tuzu içeren sulama sularını kullandıkları çalışmada kısa süreli sulamalar sonrasında başlangıçta SAR değeri 0.83 iken uygulamalar sonrasında 21.81' e yükselmiştir. Çalışmada toprak tuzluluğu Şubat ayında istatistiksel olarak önemli bir fark yaratmazken, Mart ayında önemli bir fark tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu durumun nedenini Mart ayında sulamaların başlaması ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak evaporasyona bağlamışlardır. Na konsantrasyonu, EC_e ve SAR değerleri sulamalarla birlikte artış gösterirken toprakta Na birikiminden dolayı Ca ve Mg önemli şekilde azalmıştır. Çalışmada özellikle SAR değeri 13 olan sulama sularının kullanılması ile Na konsantrasyonunun arttığı tespit edilmiştir.

Coşkun vd. (2020) farklı düzeylerdeki sulama suyu tuzluluğunun mısırın fide gelişimine etkileri üzerine yaptığı çalışmada 0.5 (kontrol) , 1, 3, 5, 8, 12 ve 16 dS m⁻¹ olmak üzere 7 farklı elektriksel iletkenliğe sahip sulama suları kullanmışlar ve yapay sulama sularının hazırlanması sırasında SAR değeri 1' in altında olacak şekilde NaCl, CaCl₂ ve MgSO₄ tuzları kullanmışlardır. Çalışmada toprak saturasyon ekstraktı EC' si en düşük olan konu kontrol uygulaması olurken, sulama suyunun tuzluluğunun artmasına bağlı olarak EC değerleri yükseldiği tespit edilmiştir. Kontrol uygulamasında toprakta EC

değeri 0.52 dS m^{-1} olarak belirlenirken, EC değeri 16 dS m^{-1} olan sulama suyunun kullanıldığı uygulamada toprakta EC değeri 17.54 dS m^{-1} olarak saptanmıştır. Toprakta iyonların miktarı artan sulama suyu tuzluluk seviyesine göre değişim göstermiş, sulama suyu tuz konsantrasyonunun artmasıyla toprakta Na, Ca, Mg, Cl ve SO_4 miktarı da artış göstermiştir. Araştırmacılar iyonların değişiminde bu farklılığın nedenini uygulanan sulama suyu tuz içeriğinin farklı olması olarak açıklamışlardır. Sulama suyu tuzluluğunun en yüksek olduğu uygulamalarda iyon içeriklerinin değişiminde daha fazla olmuştur. Toprakta iyonlar Ca 3.44 ile 16.69 , Mg 0.37 ile 59.24 , 2.14 ile 30.01 ve K değeri ise uygulamalara bağlı olarak 0.06 ile 0.26 me L^{-1} arasında değişmiştir.

Toprak tekstürü katyonların tutulması ve değişiminde etkilidir. Killer, daha yüksek su tutma kapasitesine ve yavaş drene olma özelliklerine sahiptirler. Bu özelliklerden dolayı killer yüksek tuzluluktan kumlu topraklara göre daha fazla etkilenmesine yol açmaktadır. Kumlar killere göre daha yüksek miktarda yıkanabildiklerinden dolayı tuzlar toprak profil derinliklerine doğru yıkanmaktadır. Killer kumlara göre küçük parçacık çapları ve geniş yüzey alanına sahip olmalarından dolayı daha büyük değişim yüzeyine sahiptirler. Kil fraksiyonu aşırı miktarda Na iyonu bağlama kapasitesine sahip oldukları için dispersiyonla karşılaşabilmektedir. (Yakupoglu ve Özdemir 2006, Uras ve Sönmez 2012).

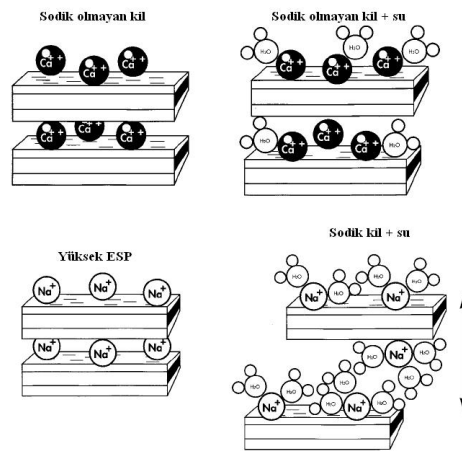
Tuzluluk ve alkaliliğin toprak özellikleri üzerindeki etkisinin açıklanmasında kil tipi önemlidir. Kil minerali gruplarının taşıdığı negatif yük miktarı, sahip oldukları KDK değerlerinin ve kafes yapılarını farklı olması toprağa ilave edilen tuza karşı toprakların davranışlarını etkilemektedir. (Warrence vd. 2002). Montmorillonit grubu killerde Na iyonunun toprakta geçirgenliği azaltıcı etkisi illit ile kaolinit grubu killeri içeren topraklara göre daha fazladır. Montmorillonit killeri, diğer kil mineralleriyle karşılaştırıldığında büyük değişim yüzeyine sahip olduğu için Na bu değişim yüzeylerine bağlanarak kil taneciklerinin dispersiyonuna neden olabilmektedir. Kaolinit ve illit killerinde ise Na dispersiyonu daha az olmaktadır. Montmorillonit kil tipi üç tabakalı (2:1) kafes yapısına sahip olduğundan kristal üniteleri birbirine silisyum tetrahedron tabakasının yüzeylerinde bulunan oksijen atomları aracılığı ile bağlanır ve bu bağlar zayıf olduğundan tabakaların arasına su ve diğer iyonların girmesi daha kolay

olur. Genişleme özelliği gösteren kil minerali şişer (Bayraklı 1998, Özdemir 1998, Yakupoğlu ve Özdemir 2006).

Özdemir (1998)' e göre Ca ve Mg gibi iki değerlikli iyonlar tek değerlikli Na iyonuna göre farklı özelliklere sahiptir. İki değerlikli katyonlar hidrate olmadıkları için kil taneciklerine daha sıkı tutunurlar ve kilin yüzeyine tek değerlikli katyonlardan daha çok çekilirler. Hidrate olmayan +2 yüklü katyonlar kil taneciklerine daha sıkı tutunur. Bu nedenle +2 yüklü katyonlar, kil yüzeylerinde +1 yüklü katyonlardan daha güçlü çekilmekte ve Na iyonu kil taneciklerinin arasına alındığı zaman parçalanmaktadır (Western Fertilizer Handbook 1995) ve toprakta dispersiyon meydana gelmektedir. Bu durum kil bünyeli toprakların ESP değeri artışına diğer bünye sınıfında yer alan topraklara göre daha dirençli olduklarını ortaya koymaktadır. Killer, silt ve kum fraksiyonuna göre dispersiyona daha eğilimlidirler. Kil tanecikler tarafından adsorbe edilen katyon Ca olduğunda tabakalar nispeten birbirine daha yakınken Na katyonu olduğunda tabakalar arası açılmakta (şekil 2.4) ve dispersiyon oluşmaya başlamaktadır (Anonymous 2020a). Na iyonlarının hidrate çapının büyük oluşu (7.90\AA) ve tek elektron yükü nedeniyle toprak taneciklerinin fiziksel olarak dispersiyonuna neden olmaktadır. Dispersiyon toprak taneciklerinin fiziksel olarak ayrılması sonucunda benzer moleküller arasındaki itici güçler bağlayıcı güçleri aşması sonucunda gerçekleşmektedir. Toprak dispersiyonu özellikle Na konsantrasyonu ile ilişkili olan fiziksel bir işlem olarak değerlendirilmektedir (Pearson 2003). Na toprakta su hareketini etkilediği için toprakta hidrolojik özelliklerinin bozulmasına neden olur (Assouline ve Narkis 2013, Assouline vd. 2016). Toprak çözeltisinde ve değişim komplekslerindeki adsorbe Na iyonu konsantrasyonu toprağın fiziksel özellikleri üzerinde etkilidir. Sulama suyunda Ca belirli bir konsantrasyonun üzerinde olduğunda toprağın hava ve su geçirgenliğini artarken Na konsantrasyonunun yüksek olması durumunda su ve hava iletimi zayıf olmaktadır (Ekmekçi vd. 2005). Bunun sonucunda Na konsantrasyonu yüksek olan topraklarda agregatlar şişer ve toprak geçirimsiz bir duruma gelir (Grim 1968). Toprağın değişim yüzeyleri tarafından Na iyonunun adsorbsiyonunu toprakta nem, bünye, tekstürü, tuz çeşidi ve tuzların çözünürlüğü ve adsorbe edilen katyonların çeşidi etkilemektedir (Biggar ve Nielsen 1962, Yakupoğlu ve Özdemir 2006). Alkali topraklarda toprak çözeltisinde artış gösteren Na bir yandan bitkiler için toksik etki

yaratırken bir yandan da toprak kolloidlerinin dispers olmasına neden olmakta ve suyun topraktaki hareketini yavaşlatmaktadır (Horneck vd. 2007, Güzel ve Gülüt 2010).

Erkin (2019) yapmış olduğu çalışmasında farklı oranlarda hazırlanan SAR değerlerine sahip sulama sularının ile fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisinin gelişimine ve büyüme parametreleri, bitki su tüketimi, klorofil içeriği, stoma iletkenliği, toprak sodyumluluğu üzerine etkilerini belirlemek amacıyla biri kontrol olmak üzere SAR=0.4, üç adet farklı 15, 30, 40 arasında değişen 4 farklı Na seviyesindeki sulama suları ile sulamalar yapmıştır. Çalışmada farklı SAR seviyesine sahip sulama sularının hazırlanmasında CaCl₂, MgSO₄ ve NaCl tuz çeşitleri kullanılmıştır. Çalışmada her konu dört tekerrürlü olacak şekilde 16 adet (4 konu x 4 tekerrür) saksıda fasulye yetiştirilmiş, saksılar hazırlanırken bozulmamış toprak alma silindirlerinden her 10 cm' lik katmana 1 adet olmak üzere 3 yükseklikte (üst, orta, alt katman) olacak şekilde yerleştirilmiştir. Çalışmada sulama suyu sodyumluluğu arttıkça toprakların ESP'si artma gösterdiği, Duncan test sonuçlarına göre EC ve pH değerlerinde üç farklı grup oluştuğu tespit edilmiştir. Sulama suyu SAR düzeyinin artmasıyla toprak EC ve pH değerlerinde derinliğe ve uygulamalara göre artış görülmüş ve toprakta pH değerleri 7.56 ile 7.81 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Araştırmacı ancak bu değişimin istatistiksel olarak önemli olmadığını, uygulamalar arasında tuzluluğun çok fazla bir değişim göstermemesinin nedeni ise % 15 yıkama suyu uygulanması ile birikimin önlenmesi ve SAR grupları oluştururken hesaplanan EC değerlerinin birbirine yakın alınması olarak ifade etmiştir.



Şekil 2.4 Kalsiyum ve sodyum moleküllerinin fiziksel düzenlemedeki farklılığı (Warrence vd. 2002, Yakupoğlu ve Özdemir 2006, Hardie 2009)

Toprak içerisindeki hidrolojik, biyolojik ve biyokimyasal olaylar açısından toprak suyunun önemi oldukça büyüktür (Brady ve Weil 2000). Tuzluluğun gerçekleştiği kurak ve yarı kurak bölgelerde toprağa düşen yağışın toprakta tutulması ve toprak suyunun davranışı toprak suyunun hidrolojisini etkilemektedir. Toprakta besin elementlerinin alınımı, birikimi, yıkanması bitkiler tarafından suyun alınması, buharlaşma gibi süreçler topraklarda hidroloji ile yakından ilgilidir (Erşahin 2001). Yarı kurak bölgelerde infiltrasyon hızı ve hidrolik iletkenlik gibi hidrolojik süreçler zamansal ve mekânsal olarak fazla değişkenlik göstermektedir. Bu bölgelerde hidrolojik süreçlere etki eden olayların bilinmesi ve izlenmesi sürecin değerlendirilmesine kolaylık sağlamaktadır ve etki mekanizmaları bilindiği takdirde bu süreçlerin kontrol edilmesi daha kolay olur (Mayor vd. 2009).

İnfiltrasyon toprağın içermiş olduğu Na miktarından önemli derecede etkilenmektedir. Genel olarak toprakta 3 mmh^{-1} lik bir infiltrasyon oranı düşük kabul edilirken 12 mmh^{-1} 'in üzerindeki bir oran ise yüksektir (Munsuz vd. 2001, Yakupoğlu ve Özdemir 2007, Üzen 2009). Uygulanan sulama suyu veya yağmur sularının toprak yüzeyinden normal infiltrasyon hızı gözlemlenebilir derecede düştüğünde ve su toprak yüzeyinde çok uzun süre kaldığında veya kabul edilebilir düzeyde verimin korunabilmesi için bitkiye yeterli suyu sağlayamayacak düzeyde infiltrasyon çok yavaş gerçekleştiğinde sulama su kalitesiyle ilişkili bir infiltrasyon problemi meydana geldiği söylenebilir. Suyun infiltrasyon hızı geniş anlamada değişmesine ve sulama suyu kalitesinden önemli ölçüde etkilenmesine rağmen toprak strüktürü, sıkışma derecesi, organik madde içeriği ve kimyasal bileşikler gibi toprak faktörleri de büyük oranda toprağa su giriş hızını etkilemektedir Normal infiltrasyon hızını etkileyen su kalitesiyle ilgili en yaygın iki faktör, suyun tuzluluğu (sudaki toplam tuz miktarı) ve Na içeriğinin Ca ve Mg içeriğine oranıdır. Tuzluluğu yüksek sular infiltrasyonu artıracaktır. Tuzluluğu düşük sular veya yüksek Na/Ca oranına sahip sular infiltrasyonu düşürecektir (Ayers ve Wescot 1989, Yurtseven 2004, Yeter vd. 2015, Yurtseven 2016).

İnfiltrasyon sürekli ve çabuk değişen pek çok faktörün etkisinde olan oldukça karmaşık bir olaydır. Toprak yüzeyindeki suyun toprağa geçişini ve toprak profilinde suyun içindeki hareketine engel olan faktörler genellikle toprak yüzeyinde ve farklı

derinliklerde oluşabilir (Singer ve Oster 1984, Schwab vd. 1993, Ertaş 2010). Bir profildeki toprak derinliklerinin infiltrasyon kapasitesi, katmandaki toprağın yapısına, bünyesine, hacim ağırlığına, mineralojisine, kimyasına ve katmanın nasıl oluştuğu ile ilgilidir. İnfiltrasyon hızının düşük olması, süreklilik göstermeyen büyük gözeneklerin azalmasından ve büyük gözenekleri tıkayan ince toprak parçacıklarının olmasıdır. Toprakta suyun hareketini sağlayan büyük gözenekler toprak işleme, işleme aletinin sıkıştırma etkisi ve su damlasının hidrolik etkisi ile yüklenmiş toprak zerrelere arasındaki kimyasal kuvvetlerin etkisi ile bozulmaktadır (Trout vd. 1992, Öztekin ve Öztekin 2007, Ertaş 2010, Ergün 2019). Toprak gözeneklerinin tıkanması genellikle toprağa infiltre olan çözeltinin elektriksel iletkenliği ve Na içeriği ile ilgilidir. Toprakta dispers olan kil miktarı toprağın SAR değerindeki artışa bağlı olmaktadır (Gülser 1999, Yakupoğlu ve Özdemir 2006). Na ile disperse olan ve şişen kil parçacıkları toprak gözeneklerine girerek tıkanmaya neden olur (Oster ve Shainberg 1979). Kil parçacıklarının boşlukları tıkanması sonucu toprakta su akışı engellenir ve suyun toprağa içerisine geçişi azalır (Wang vd. 2002).

İnfiltrasyon hızı toprağın ve suyun ESP değerleri ile ilişkili olup değişim göstermektedir. Bu konuda Agassi vd. (1981) yapmış olduğu çalışmalarında $EC=1$ $SAR=12$ de infiltrasyonunu Na konsantrasyonundan etkilenmediğini, $EC=2$ ve $SAR=20$ değerinin üzerinde iken infiltrasyonda % 50 oranında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar toprağın ESP değeri arttıkça infiltrasyon azaldığını, uygulanan suyun EC değeri arttığında ise infiltrasyonun artmakta olduğunu belirtmişlerdir. ESP toprak yapısını olumsuz etkilemektedir. Ancak ESP'nin hangi düzeyde bu etkiye neden olduğu da önemlidir. Genelde toprakta 10 -15 ESP düzeyi kritik düzey olarak belirtilmekte olup 25 ESP düzeyinin kumlu topraklarda toprak yapısına herhangi bir olumsuz etkisi olmadığı, killi topraklarda % 5 düzeyindeki ESP değerinin 2:1 tipi montmorillonit kil içeren topraklarda yüksek olduğu bildirilmektedir (Yakupoğlu ve Özdemir 2006, Yurtseven 2016).

Ertuğrul ve Apan (1979) Na' un toprak parçacıklarını disperse edip toprağın yapısını bozmasından dolayı kil içeriği fazla olan yüzey topraklarında su hareketinin yavaşlayabileceği ve infiltrasyonun sınırlayabileceğini belirtmişlerdir. Yine aynı

araştırmacılar bitki örtüsünün bulunmadığı topraklarda sulama veya yağışlarla su verilmesi durumunda başlangıçtaki infiltrasyon hızının yüksek olduğunu; kısa bir sürenin ardından toprak yüzeyindeki kil taneciklerinin parçalanarak oluşan çatlak ve yarıkların tıkanması ile infiltrasyon hızının düşmeye başladığını vurgulamışlardır.

Oster vd. (1979) farklı kalitedeki sulama sularının kullanılması ile 19 ay süren sulamalar sonrasında çok düşük SAR değerlerinde bile ($2 < SAR < 5$) infiltrasyon oranlarında değişimin olduğunu ve bu değişimde kullanılan sulama suyundaki değişebilir Na değerleri ve Na' un toprak çözeltisinde şişme ve dispersiyona neden olduğu belirtilmiştir.

Singh vd. (1992) yaptıkları çalışmada üç farklı SAR düzeyine (5, 20, 40) sahip sulama suları uygulamışlardır. Araştırmacılar sulama suyunun SAR düzeyinin artmasına bağı olarak infiltrasyon oranının düştüğünü belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar SAR 5 düzeyi için infiltrasyon hızını $16-22 \text{ mm h}^{-1}$ olarak tespit ederken, SAR 40 düzeyi için bu değeri $1.3-1.8 \text{ mm h}^{-1}$ olarak tespit etmişlerdir.

Minkas vd. (1994) farklı tuzluluk ve SAR değerlerine sahip sularla yapılan sulamalarda. 8 yıllık bir dönem sonucunda, infiltrasyon, drenaj, toprak-su özellikleri ve doymamış koşullardaki hidrolik iletkenliğin değişimini araştırmışlardır. Artan SAR ile nisbi infiltrasyon oranı azalmış, tuzluluk ve sodyumluluğun arttığı şartlarda ise hidrolik iletkenliğin azaldığı gözlenmiştir. Fakat kıtasal muson iklimi altında tuzlulaşma ve tuzsuzlaşma döngüsündeki topraklar yüksek tuz ve SAR' lı sularla sulandıklarında hidrolik özelliklerindeki değişimler laboratuvar çalışma sonuçlarıyla benzerlik göstermemiştir.

Warrence vd. (2002)' nin bildirdiğine göre, Na' un etkisiyle dispers olan kil tanecikleri toprak gözeneklerini tıkayabilir. Yüksek konsantrasyona sahip tuzlar (özellikle Na tuzu) toprağın fizikokimyasal olarak bozulmasına neden olur. Bu kil parçacıklarının dispersiyonu toprakta toprak yapısına zarar vermektedir. Toprak profiline giren suyun infiltrasyon oranını azaltır, kabuk oluşumu toprak porların tıkanmasından dolayı toprak dayanıklılığı ve hidrolik iletkenliği azalır (Al-Zu'bi 2007).

Emdad vd. (2004) tarafından üç farklı SAR değerine sahip sularla killi tın bir toprakta sulama uygulamalarının kabuk oluşumu ve toprağın infiltrasyon hızı üzerine etkilerini araştırıldığı bir çalışmada düşük SAR değerine sahip sulama suyunun infiltrasyon üzerine etki etmediğini orta ve yüksek derecede SAR değerine sahip sulama sularının ise infiltrasyon üzerine olan etkilerinin $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğunu belirlemişlerdir

Suarez (2006) laboratuvarında farklı sulama kalitelerine sahip suların kullandığı kolon bir çalışmada SAR=2' de kontrol uygulamasına benzer sonuçlar tespit etmiş ve bu değerde infiltrasyonda düşme olmadığını, SAR=4' te ise infiltrasyonda % 30 düşme olduğunu bildirmiştir.

Gao vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada yüksek NaCl içeriğinin birikimli infiltrasyonunu azalttığını tespit etmişlerdir. Çalışmada değişebilir Na' un artması ile topraklarda elektriksel çift tabakadan dolayı tuz içeren suyun varlığında toprak kil taneciklerinin disperse olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar toprak hidrolik özelliklerinin değişiminde Na ve tuzların içerikleri ile birlikte toprak tekstürü ve toprak organik maddesi gibi bazı özelliklerin de etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Suarez (2010) iki pH değeri (7.0 ve 8.2) ve SAR düzeyleri (0, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 13) olan 12 farklı su uygulaması ile yaptığı konteyner çalışmasında 180 gün toprağın infiltrasyon hızını gözlemlemiştir. Araştırmacı SAR= 1 ve SAR=3' de infiltrasyon hızında değişim azken, sulama sularının SAR değerlerinin artmasıyla infiltrasyon hızında azalmaların olduğu, pH' daki küçük değişimlerin, SAR değerlerindeki artışla birlikte toprakta infiltrasyon hızını düşürdüğü sonucuna ulaşmıştır.

Liu vd. (2011) toprakta Na konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak ortaya çıkan yer altı suyunun değişimi ve kapılar yükselmeden infiltrasyonun etkilendiğini vurgulamışlardır.

Patel ve Dave (2011) farklı SAR ve tuzluluk düzeylerine sahip sulama sularının kullanıldığı çalışmaları çift silindirik infiltrometre ile infiltrasyon testleri

yapmışlardır. Araştırmacılar çalışmada farklı SAR düzeylerinin infiltrasyon oranında düşmeye neden olduğu ifade etmişlerdir.

Dongli vd. (2014) iki farklı tekstür özelliğindeki topraklarda yaptıkları çalışmada toprakta tuz içeriğinin artması ile infiltrasyon hızı, sorptivite ve hidrolik iletkenliğin azaldığı, toprak tekstürü, hacim ağırlığı ve toprak organik madde içeriği gibi toprak özelliklerinin de toprak hidrolik özellikleri üzerindeki değişimi etkilediğini bildirmişlerdir. Kumlu toprakta topraktaki tuz içeriğinin artmasına bağlı olarak infiltrasyon oranı azalma göstermiştir. Na konsantrasyonunun artması ile toprak killerin şişmesi ve disperse olması ile büyük gözenekler tıkanmış ve su hareketi sınırlandırılmıştır.

Taş (2018) yapmış olduğu çalışmada, toprak infiltrasyon oranlarına, sulama suyu içerisinde bulunan Na etkisini incelemiştir. Çalışmada, dört farklı elektriksel İletkenlik ($EC = 0.6$ (kontrol), 5, 10 ve 15 dS m^{-1}) ve NaCl konsantrasyonunun (2, 40, 90 ve 136 mmole/L) sahip sulama suları kullanılmıştır Yapılan çift silindirli infiltrometre test sonuçlarında infiltrasyon hızı değerleri ($20-40 \text{ mm h}^{-1}$) ve birikimli infiltrasyon değerleri (350-450 mm) değişim sergilemiştir. Sulama suyunun EC ve NaCl değerlerindeki artışa karşılık, infiltrasyon hızı ve birikimli infiltrasyon değerleri azalma göstermiştir.

Bhatti vd. (2019) bitki gelişiminin farklı dönemlerinde uygulanan sulama suyunun kalitesinin suda çözünebilir iyonların konsantrasyonuna olan etkilerini belirledikleri çalışmada, devam eden sulamalarla tuzların toprakta biriktiği ve Na' un Ca ve Mg ile yer değişiminden dolayı Na toprakları disperse ettiği ve tıkanan gözenekler nedeniyle infiltrasyonun düştüğünü tespit etmişlerdir. Kış sezonunda SAR değerleri 4.42-4.21 yaz sezonunda ise 3.73-3.33 olarak belirlenirken, sulama suyundaki yüksek CO_3 ve HCO_3^- ın toprakların pH' sını arttırarak alkali koşullar oluşturduğu ifade edilmiştir.

Toprak strüktürü; primer toprak parçacıklarının (kil, silt, kum) birbirleriyle birleşerek veya birbirine yapışarak agregatları oluşturmaları durumudur (Savaş 2011). Sulama

suyunda Na'un bulunması ve toprak kolloidleri tarafından adsorbe edilmesi agregatların parçalanması ile sonuçlanmaktadır. Literatürde birçok çalışma bulunmaktadır (Rhoades ve Ingvalson 1969, Rowell vd. 1969, Felhendler vd. 1974, Frenkel vd. 1978, Pupisky ve Shainberg 1979, Shainberg vd. 1981a.b, Shainberg ve Levy 1992, Amezketa 1999, Tedeschi ve Dell'Aquila 2005). Özdemir (1998) Na ile doygun halde olan toprakların Ca ile doygun topraklardan daha fazla hidrate ve dispers olduğunu ve Na'un toprak agregatlarını parçalayarak toprak strüktürünü bozduğunu, Ca'un ise toprak tanelerini bir araya getirerek agregat oluşumunu teşvik edici özelliği olduğunu belirtmiştir. Sulama suları ile verilen Na'un toprakta birikmesi ile toprakların pH, doygun hidrolik iletkenliği, değişebilir Na, SAR, EC_e, ESP ve yarayışlı toprak suyu içeriği gibi birçok özelliğini değiştirmektedir (Al-Busaidi ve Cookson 2003, Temizel ve Tok 2019a).

Na'un toprak fiziksel özelliklerine etkisi mevcut Na tuzunun yapı ve bileşimine bağlıdır. Tuzlu topraklar değişim kompleksleri üzerinde Na ve solüsyonda Na tuzlarını (NaCl, Na₂SO₄) içerirler. Bu topraklar oldukça yüksek dağılıbilirlik özelliğine sahiptirler ve fazla dispers olmazlar. Bunun nedeni fazla tuzların kolloidleri çöktürme etkisidir. Na içeren tuzların varlığı adsorbe olmuş tuzların çözeltiliye geçmesine engel olur. Böylece hidrasyon, şişme ve dispersiyon potansiyeli azalırken kolloidler flokule olur. Sodyumlu topraklarda ise yağış ancak fazla tuzları yıkamaya yeterlidir ve değişim kompleksleri Na ile doymuş durumdadır. Na ile doymuş olan kolloidler NaOH ve Na₂CO₃ oluşturarak yüksek derecede hidrate ve dispers olurlar. Bu olay zayıf toprak fiziksel koşulları oluşturmaktadır (Sağlam 2001).

Brooks vd. (1956) çeşitli değişebilir katyonların, toprak fiziksel yapısı üzerine etkilerini belirlemeye yönelik olarak 8 farklı toprak tipinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırmacılar değişebilir Mg'un, toprak fiziksel şartlarına etkisini değişebilir Na ve K ile karşılaştırdıklarında daha önceki bulgularla uyumlu bulmuşlardır. Çeşitli karışımlar şeklindeki uygulamalarda değişebilir Na ve K'un benzer etkileri olduğu vurgulanmaktadır. Toprak örnekleri arasında farklı katyonlarla doygun şartlarda organik maddenin yıkanması arasında küçük farklılıklar belirlenmiştir. Ca ve Mg'a doygun topraklarda yıkanma miktarları arasında önemli bir farkın olmadığı ayrıca Ca'un agregat stabilitesinin üzerine olan etkisinin Mg'un etkisi ile benzerlik gösterdiği bildirilmektedir.

Uhlen (1964) çalışmasında toprakların su tutma kapasitesi üzerine diğer faktörlerin yanında mevcut iyonların karakterlerinin de büyük oranda etki ettiğini belirlemiştir. Çalışmada aynı tansiyonda Ca²⁺ lu toprağın daha az rutubet (Ca iyonunun düşük hidratasyonu nedeniyle) tuttuğu tespit edilmiştir. Ancak Ca iyonu strüktürü teşvik ettiğinden, su tutma kapasitesi bir miktar artış gösterse de hiç bir zaman Na içeren toprağına yaklaşamamıştır. Diğer taraftan tutulan bu suyun Na topraklarda tutulana göre daha hareketli olduğu belirtilmektedir.

Çullu vd. (2000b) Harran Ovası'nda sulamanın başlamasından sonra tuzdan etkilenen topraklardan alınan örneklerde hidrolik iletkenlik, strüktürel özellikler, kil minerallerindeki değişim ve tuz içeriklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda sulama sonrasında strüktür stabilitesinde ve agregasyonda hafif bir bozulma belirlenirken, hidrolik iletkenlikte önemli bir azalma olduğunu belirlemişlerdir.

Toprakta özellikle Na katyonunun fazla bulunması toprağın su iletimini azaltmaktadır. Na iyonu toprakta dispersiyona etkisi nedeniyle direkt olarak agregatların parçalanmasını dolaylı olarak ise ürün verimini düşürerek toprağına daha az bitki artığının karışması yoluyla agregat oluşumu ve dayanıklılığını etkilemektedir. Topraktaki ESP değeri % 5' in üzerine geçtiğinde Na'nın agregatlaşmayı engelleyici etkisi başlamaktadır. Katyonların agregatlaştırmada etkisi katyonların değerliğine göre Al³⁺ > Ca²⁺ > Na⁺ şeklinde azalmaktadır. Ca²⁺ u fazla içeren topraklarda agregatlaşmanın yüksek olduğu çalışmalarda bildirilmiştir (Armstrong ve Tanton 1992, Zhang ve Norton 2002, Altınbaş vd. 2004, İlay ve Kavdır 2017).

Pilatti vd. (2006) yaptıkları çalışmalarında, HCO₃⁻ ve Na içeren sulama sularının uygulandığı Mollisol topraklarda suya dayanıklı agregat yüzdesinde tuz uygulaması yapılmayan topraklara göre bir düşme olduğu tespit etmişlerdir. Çalışmada kum içeriği fazla olan bölgelerdeki agregatların dağılımı tuzlu su uygulamalarından etkilenmediği görülmüştür. Kil içeriği fazla olan bölgelerde uzun süren yıllarda tuzlu sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak agregat dağılımı azalmıştır. Islak eleme ile tuzlu su uygulamalarında Ca içeriğinin azalmasına bağlı olarak yüzde agregat stabilitesinde azalmalar daha fazla olmuştur.

Toprak çözeltilisinde ve değişim komplekslerinde Na içeriğinin artması kil taneciklerini iter ve dispersiyona neden olur ve toprak organik maddesinin ayrışması daha kolay olur. Ca, Al ve Fe gibi çok değerli katyonlar içeren topraklarda agregatlaşma daha fazla olduğundan su içerisinde dağılmaya karşı daha dayanıklı bir yapı oluşur (Tisdall 1996). Tek değerli Na ve pH kil dispersiyonunu etkilemektedir (Chorom vd. 1994, Haynes ve Naidu 1998, Bronick ve Lal 2005, Yakupoğlu ve Özdemir 2007).

Khan vd. (2006) sulama suyunun toprak yapısı üzerindeki etkisinin tek başına yağmur suyunun doğrudan etkilerinin yanı sıra, sulamalarla da hızlı bir şekilde bozulabileceğini ifade etmişlerdir. Çalışmada kalitesiz sulama suyunun kullanımının toprağın yapısını etkileme potansiyeli olduğu, drenajın yetersiz olduğu koşullarda sulama suyu kalitesi kötü olan suların toprakları alkali hale getirerek toprak yapısını bozduğu, agregatların parçalanmasını, yüzey sızdırmazlığını ve kabuk oluşumunu etkilediğini açıklamışlardır. Araştırmacılara göre ayrıca sulama suyunun neden olduğu SAR artışı infiltrasyonu azaltmaktadır. Uygulanan suyun EC' sinin azalması ve SAR değerinin artması toprakta dispersiyona neden olmakta ve hidrolik iletkenliği azaltmaktadır.

Ben-Hur vd. (2009) farklı tuz ve alkali koşullar altında strüktürel bozulma ve doymuş hidrolik iletkenlik üzerinde toprak tekstürü ve agregat büyüklüğünün etkisini araştırdıkları çalışmada tuzlu koşullardan kumlu tın toprakta büyük boşluklardan dolayı doymuş hidrolik iletkenliği etkilenmemiştir. Killi toprakta ise farklı tuzlu suların kullanılması ile ESP' nin artması ile killerin şiştiği ve kumlu toprakların tersine küçük boşluklarlar fazla olduğundan hidrolik iletkenliğin düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Al-Ghobari vd. (2011) Suudi Arabistan'ın Riyad bölgesinin farklı yerlerinde sulama yapılan tarlalarda üç büyüme mevsimi için (2007' den 2009' a) beş farklı toprak türü ve tuzluluk seviyesinde tarla denemeleri yürütmüşlerdir. Her biri buğday ekili 50-54 hektar alana sahip beş tarlayı sulamak için beş farklı yer altı suyu kalitesi kullanılmıştır. 2007 sezonu başı ve 2009 sezonu sonunda toprak yüzeyinden farklı derinliklerde (10, 20, 40, 60 cm) toprak örnekleri alınmıştır. Sulama suyunun her derinlikte her toprak tuzluluğuna kalite etkisi belirlemiştir. Sonuçlar, sulanan tüm tarlaların, saturasyon çamurundaki elektriksel iletkenlik değerlerinin bölgelerin tuz konsantrasyonunun

birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir. Bazı tarlalardaki toprak tuzluluğu diğer bölgedekilere göre azalma ve artma göstermiştir. Bu değişimde tuzların toprak profili boyunca dağılımı, sulama suyunun tuzluluğu ve toprak tipinin oldukça ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Tuzlu su, profil boyunca toprak tuzu içeriğini tuzsuz sudan daha fazla artırmıştır. Bazı tarla topraklarında biriken tuzlar, sulama suyunun tuz konsantrasyonu ile yakından ilişkili olup, sulama suyunun tuzluluğu arttıkça toprak tuzluluk değerlerinde kademeli ve önemli bir artış olmuştur. Ayrıca elde edilen sonuçlar, tüm tarlalar için toprak profilleri yoluyla toprak tuzluluğundaki düşüş veya artışın, mevsim sayısının ve toprak tuzluluğunun artmasıyla değil, özellikle ilk sezonda ve sonraki iki sezonda hafif bir artış olduğunu göstermiştir.

Budak (2012) Niğde’ de yaptığı çalışmada kil birikimi ile oluşan argillik horizonuna rastlamışlardır. Araştırmacı bunun nedenini jeolojik dönemlerde meydana gelen iklim salınımlarına bağlamıştır. Aynı zamanda araştırmacı argillik horizonlarda görülen prizmatik ve blok strüktür yerine kolumnar strüktürün oluştuğunu tespit etmiş, bunun nedenini ise Na’ un disperse edici etkisine bağlamıştır. Birçok araştırma sonucu da bu sonucu destekler niteliktedir (Miller ve Brierley 2011, Taboada 2003).

Öztürkmen ve Savaş (2014) tarafından Harran Ovası’nda yapılan bir çalışmada sulama öncesi ve sulama sonrası dönemde aynı toprak serilerinden alınan toprak örneklerinde ıslak eleme metodu kullanarak sulamanın suya dayanıklı agregat yüzdesi üzerindeki etkileri ile ilgili karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmada, toprak serilerinden Akçakale serisi topraklarında ortalama suya dayanıklı agregat yüzdesi değerlerini sulama öncesinde % 55.1 olarak tespit etmişlerdir. Sulama sonrası ise bu değer % 48.9’ a düştüğünü belirlemişlerdir. Elde edilen bu sonuçlar, Harran Ovası’ nda sulu tarımın yapılmaya başlamasından sonra bölgede suya dayanıklı agregat yüzdesinin azaldığını göstermiştir. Araştırmacılar suya dayanıklı agregat yüzdesindeki bu azalmanın nedeni olarak sulamalar sonrasında toprak agregatlarının dağılmadan ne kadar uzun süre kaldığı ve agregatların oluşturduğu toprakların erozyona olan dayanımında fazla olması olarak açıklamışlardır.

Ajala vd. (2018) sulamada Asa nehri suyunun kullanımının toprak fizikokimyasal özelliklerine etkisini değerlendirmek, toprak tuzluluğunda sulama için Asa nehri suyunun uzun vadeli kullanımının belirlenmesi ve toprak ve bitki üzerindeki gelecekteki etkisini değerlendirmek için çalışma yapmışlardır. Sulama suyu kaynağına 0, 200, 400 ve 600 m uzaklık olmak üzere dört lokasyonda 48 toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde 10 yıl aralıklarla 30 yıl sonunda pH, EC, ESP, SAR, hacim ağırlığı gibi bazı toprak özelliklerini incelemişlerdir. Deneme başlangıcında pH 7.30 iken 30 yıl sonunda 7.58, EC 0.06 dS m⁻¹ iken sulama kaynağına 400 m uzaklıkta 0.16 dS m⁻¹, SAR değeri 0.06 iken 0.63, ESP % 2.01 iken 10.71 olarak tespit edilmiştir. Başlangıçta hacim ağırlığı değeri 0.99 g cm⁻³ iken aradan geçen 30 yıl sonra 1.35 g cm⁻³, ortalama ağırlık çap değerleri ise 1.56 mm iken 1.33 mm olarak saptanmıştır.

Hassan vd. (2019) sulama suyu tuzluluğu ve toprak işleme yöntemlerinin bazı toprak özelliklerine olan etkilerini araştırdıkları bir çalışmada EC değerleri, 1.3, 3.5 ve 6.9 dS m⁻¹ olan üç su kaynağı (nehir, drenaj ve kuyu suyu) ile üç toprak işleme yöntemini (sıfır, geleneksel ve derin) kullanmışlardır. Araştırmacılar hasattan sonra uygulamalara bağlı olarak hacim ağırlığı, gözeneklilik, penetrasyon direnci, hidrolik iletkenlik ve ortalama ağırlık çap özelliklerinin değişimini değerlendirmişlerdir. Çalışmada hacim ağırlığı değerleri sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak artma göstermiştir. Sulama suyu kalitesine göre hacim ağırlığı değerleri nehir, drenaj ve kuyu suyuna göre sırasıyla 1.40, 1.44 ve 1.47 mg m⁻³, gözeneklilik değerleri sırasıyla % 47.3, 45.8 ve 43.8, hidrolik iletkenlik değerlerinin ise 5.3, 4.26 ve 1.38 cm h⁻¹ olarak tespit etmişlerdir. Çalışmada hacim ağırlığı değerleri sırasıyla sıfır, geleneksel ve derin toprak işleme için 1.48, 1.44 ve 1.38 mg m⁻³ olarak saptamışlardır. Elektriksel iletkenlik ve toprak işleme interaksyonunda hacim ağırlığı değerleri sıfır toprak işleme ve kuyu suyunda 1.50 mg m⁻³, derin toprak işleme ve nehir suyu için 1.34 mg m⁻³ olarak belirlenmiştir. Sulama suyu tuzluluğunun artmasıyla birlikte ortalama ağırlık çap değerleri azalmıştır. Ortalama ağırlık çap değerleri nehir suyunda 0.65 mm, drenaj ve kuyu suyunda 0.55 ve 0.27 mm olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni sulama suyundaki tuzların toprakların fiziksel özelliklerine olan olumsuz özelliklerinden dolayı toprak parçacıklarının dispersiyona uğratmaları ve toprak yapısını bozmaları olarak ifade edilmiştir.

Ali vd. (2019) çalışmalarında sulama suyu pH' sının, doymuş hidrolik iletkenlik (Ks), kation değişim kapasitesi, net partikül yükü ve toprağın dağılılırılığı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Farklı pH, alkalilik, kil içeriği ve mineralojiye sahip dokuz toprak, farklı SAR (20 ve 40) düzeyi, EC (0.8, 1.5, 2.5, 5, 10, 25 ve 50 dS m⁻¹) ve pH (6, 7, 8 ve 9) kullanmışlardır. % 99.9 saflıkta CO₂ gazı kullanılarak HCO₃/ Cl oranı ve CO₂ kısmi basıncı ayarlanarak istenen pH değeri elde edilmiştir. Sonuçlar, çözelti pH' sındaki artışın değişebilir kationların fazlalığından dolayı kil parçacıkları üzerindeki net negatif yüklerde bir artışa neden olduğu, negatif potansiyel ve kil dispersiyonuna neden olarak dağılan taneciklerin gözenek boşlukların tıkanmasına ve hidrolik iletkenliğin azalmasına neden olduğunu göstermektedir. Ks azalması kaolinit kil tipinde daha düşük bulunurken, smektit kil grubunda toprakların yüksek pH' ya sahip sulama suyu altında daha düşük değerler alınmasına neden olmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar, toprağın hidrolik iletkenliğinin azalmasının doğru bir şekilde tahmin etmek için toprağın orijinal pH' sı, kil içeriği ve minerali ile sulama suyunun pH' sı, EC ve SAR değerlerinin dikkate alınması gerektiğini güçlendirmektedir.

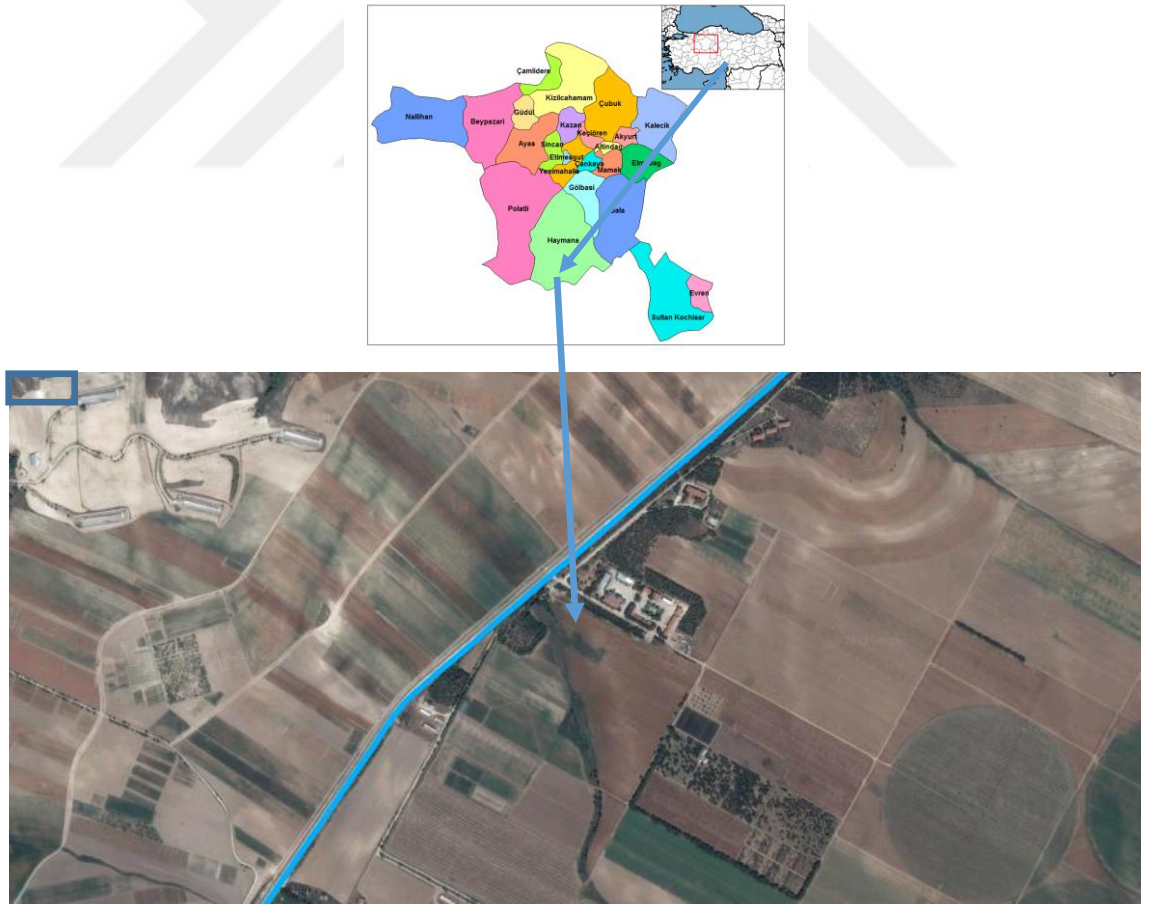
Choundhary vd. (2019) çalışmalarında uzun süreli kanal ve sodik suların kullanılmasının toprak kalite parametrelerine olan etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacıla başlangıçta kullanılan sodik suyun SAR değeri 14.9, Cl içeriği 1.60 me L⁻¹, EC değeri ise 1.40 dS m⁻¹ olduğunu, uygulamalar sonrasında kanal suyunun kullanıldığı konuda pH=7.41 iken sodik su (NaHCO₃ içeren) sulama konusunda 9.36, ESP değerleri kanal suyu konusunda 2.55 iken sodik sulama konusunda 38.6, SAR değeri 3.69 iken sodik sulama konusunda 27.2 olarak belirlendiğini rapor etmişlerdir. Bu artışlar NaHCO₃ tuzunun kullanıldığı sulama konusunda toprakların Na içeriğinin doyumluğunun artması, karbonat ve bikarbonatların yüksek oranlarda olmasıyla Ca' un çökmesine işaret etmektedir. Ayrıca araştırmacılar İnfiltrasyon hızı kanal suyu uygulamasında 2.8 cm h⁻¹ olarak ölçülürken sodik su uygulamasında 1.2 cm h⁻¹ tespit etmişler, en yüksek hacim ağırlığı değerini sodik suların uygulandığı konuda 1.7 g cm⁻³ olarak belirlerken ortalama ağırlık çap değerini NaHCO₃ uygulamasında 0.78 mm olarak rapor etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3. 1 Materyal

3.1.1 Çalışma alanı

Çalışma 2017-2018 yıllarında Ankara iline bağlı Haymana ilçesinde Ankara Üniversitesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği' nde oluşturulan deneme alanında yürütülmüştür. Çalışma alanı konum olarak 472686-475754 doğu boylamları, 4386233- 4383600 kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Haymana ilçesi Ankara'nın güneyinde yer almaktadır. İlçenin doğusunda Bala ve Gölbaşı, güneyinde Kulu ve Cihanbeyli, batısında Polatlı ve kuzeyinde Gölbaşı ve Yenimahalle ilçeleri yer almaktadır. İlçenin yüzölçümü 2983 km² olup, denizden yüksekliği ortalama 1259 m' dir (Şekil 3.1)(Soba vd. 2015).



Şekil 3.1 Çalışma alanının konumu

3.1.1.1 Çalışma alanı hidrolojisi

Çalışma bölgesinde ikisi yapay olmak üzere 3 adet göl bulunmaktadır. Mogan Gölü Mogan-Eymir İncesu deresini izleyen çukurluk başlangıçta bir akarsu vadisi olan, daha sonraları ise derelerin getirdiği materyallerin 1900' lü yıllarda Mogan çukurluğunu doldurması sonucunda oluşmuştur. Mogan Gölü' nün uzunluğu 6 km, eni 900 m, ortalama derinliği 3.5-4 m' dir. Göl alanı 63 km² ve hacmi 13-14 milyon m³' tür (Arıkan 2007).

Bölgede yer alan İkizce Göleti Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekanlığı tarafından işletilmektedir. İkizce Göleti Topaklı Deresi'nin suyunu almakta ve 1 milyon metreküp depolama hacmi ile sulamada kullanılmaktadır (Anonim 2003). İkizce Göleti' nden temin edilen sulama suyu, kapalı boru sistemi ile Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği arazisine giriş yaptıktan sonra her biri 75 L/s debi olan 4 adet pompa yardımı ile çiftlik arazisindeki en yüksek noktada kurulu olarak bulunan 2000 m³ hacimli sulama havuzuna iletilmektedir. Daha sonra (200 mm çaplı boru ile) yer altında bulunan her biri 235 mm çaplı 7 ana hat ile araziye dağıtılmaktadır. Yeraltında bulunan hatların uzunlukları 1200 m ile 1400 m arasında değişmektedir. Bu sayede borular içerisinde ihtiyaç duyulan işletme basıncı sadece yer çekimi etkisi ile sağlanmakta ve önemli ölçüde enerji tasarrufu yapılmaktadır (Anonim 2020f).

3.1.1.2 Çalışma alanı bitki örtüsü

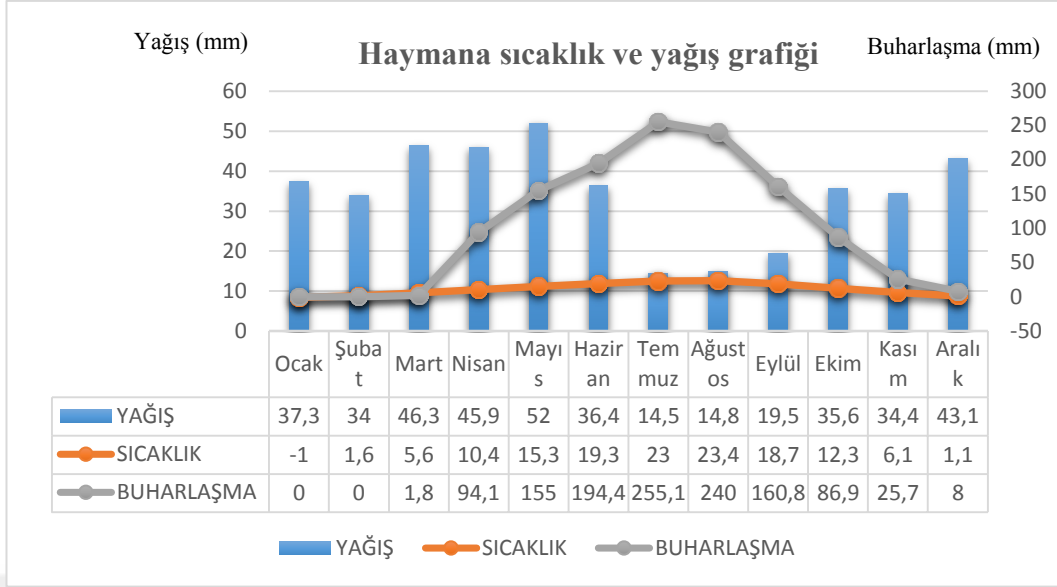
Çalışma alanı Orta Anadolu Bölgesinde yer aldığından dolayı karasal iklimin etkisi altındadır. Turan- Ön Asya step bitkilerini otsu ya da dikensi bitkiler oluşturmaktadır. Step bitkileri Orta Anadolu Bölgesinde 1000-1200 m yükseklikteki alanlarda yağışların Nisan ayında artmasının sonucu yeşeren, Mayıs ayında çiçek açan ve Haziran sonunda sararan ot topluluklarıdır (Pus 2006). Çalışma alanında doğal orman örtüsü ya da orman ağaçları yer almamakla beraber zaman zaman taban arazilerinde ve vadi içlerinde ağaçcık, ağaç formundaki bitkiler yer almaktadır (Arıkan 2007). Çalışma alanı Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği' nin toplam tarım yapılabilen arazi miktarı

3.100 dekar olup bu alanın 2.500 dekarı sulanabilir durumdadır. Kalan yaklaşık 600 dekar alanda ise kuru tarım yapılmaktadır. Çalışma alanında yaygın olarak buğday, silajlık mısır, yemlik arpa ve yonca tarımı yapılmaktadır. Alanda aynı zamanda elma, kiraz, vişne, kayısı ve erik gibi meyvelerin üretimi yapılmaktadır. Elde edilen bu ürünlerin büyük bir kısmı taze sofralık olarak, bir kısmı da Ziraat Fakültesi bünyesindeki meyve suyu işletmesinde kullanılmaktadır (Anonim 2020d).

3.1.1.3 Çalışma alanı iklimi

Mogan gölünden İkizce' ye uzanan kısımda Orta Anadolu' nun tipik karasal iklim özellikleri görülmektedir. Yarı kuraklık, bölgenin genel iklim özelliği olmakla birlikte bölgede yaz sıcaklıkları yüksek, kış sıcaklıkları ise düşüktür. Havzann yağış karakteri değişik özellikler gösterirken konvektif yağışlar bölgede oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Çoğu yağışlar yüzeysel akışa geçmeden buharlaşmakta ve sızarak yeraltı sularını beslemektedir (Arıkan 2007).

Çalışma alanına ait uzun yıllar ortalama aylık sıcaklık ve yağış grafiği şekil 3.2' de görülmektedir (Anonim 2019b). Şekil 3.2' de verilen bölgenin uzun yıllar ortalamasının baktığımızda yağışlı ayların Mart, Nisan, Mayıs ve Aralık, en kurak ayların ise sırası ile Temmuz, Ağustos ve Eylül olduğu görülmektedir. İklim verilerine göre bölgede karasal iklimin etkili olduğu görülmektedir. İlçe topraklarının 2/3' ünü Haymana Platosu oluşturmaktadır. En soğuk ay olan Ocak ayında ortalama hava sıcaklığı -1°C , en sıcak ay olan Temmuz'da ortalama hava sıcaklığı ise 23°C ve yıllık yağış ortalaması 413.8 mm ' dir. Sıcaklığı 11.3°C olduğundan sıcaklık rejimi Mesic olarak sınıflandırılmıştır (Anonim 2019b).



Şekil 3.2 Çalışma alanına ait 1989-2018 yılları arasındaki iklimsel veriler (Anonim 2019b)

3.1.1.4 Çalışma alanı jeolojisi

MTA tarafından Mogan Gölü ve çevresinin 1/25.0000 ölçekli jeolojik haritası yapılmıştır. Yaşlıdan gence doğru bu birimler Eymir oluşumu (trias), Elmadağ oluşumu (trias), Lalelik oluşumu (jura), Dereköy oluşumu (kretase), Gerder volkanikleri (üst miyosen), Virancık gölselleri (pilyosen), Oğulbey dasitleri (pilyosen), Gölbaşı oluşumu (pilyosen) ve alivyonlardır (kuvaterler). Bölgede en yaygın birim Gölbaşı oluşumu olup havzanın ortasında, kabaca kuzey – güney doğrultusunda uzanmaktadır. Havzanın kuzeyinde Eymir oluşumu doğusunda Virancık görselleri ve Gerder volkanikleri, batısında Virancık görselleri ve yer yer Elmadağ formasyonu, güney doğusunda ise Oğulbey dazitleri, Dereköy formasyonu, Gerder volkanikleri ve Virancık görselleri küçük yüzlekler halinde yer almaktadır (Anonim 2003). MTA raporlarından edinilen bilgilere göre çalışma alanı Hançılı formasyonu jeolojik oluşum içerisinde yer almaktadır (Akyürek 1997). Çalışma alanı içerisinde ve çevresinde jeolojik bir sıra dahilinde paleozoik, mezozoik, paleojen, neojen ve kuaterner yaşlı tortul ve volkanik kayaç türleri yer almaktadır (Pus 2006).

3.1.1.5 Çalışma alanı toprak özellikleri

Çalışma alanı toprakları toprak taksonomisine göre Entisol ordosuna ait Orthents alt ordosu, Xerorthents büyük toprak grubu, Typic Xerorthents alt grubu ve kil tekstüre sahip olduğundan Clay Mixed Mesic Typic Xerorthents familyası içerisinde sınıflandırılmışlardır (Bayramin 2021). Bölgenin ortalama yağış miktarının 400 mm olması kış mevsimimin soğuk, ilkbaharın yağışlı, yaz mevsiminin ise kurak geçmesi ve bölgede bozkır bitki örtüsünün hakim olması, ana kayalar, marn, şeyl ve kireçtaşları bu toprak çeşidinin fazla miktarda gelişmesini sağlamıştır. Bu topraklar genellikle A-B-C horizonuna sahip, kalın, koyu renkli, organik maddece zengin olmalarından dolayı biyolojik aktivitenin fazla olduğu, yüksek olan arazilerde ve düz ve düze yakın topoğrafyalarda yer alan, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle potansiyel verimlilikleri yüksek olan topraklardır (Pus 2006).

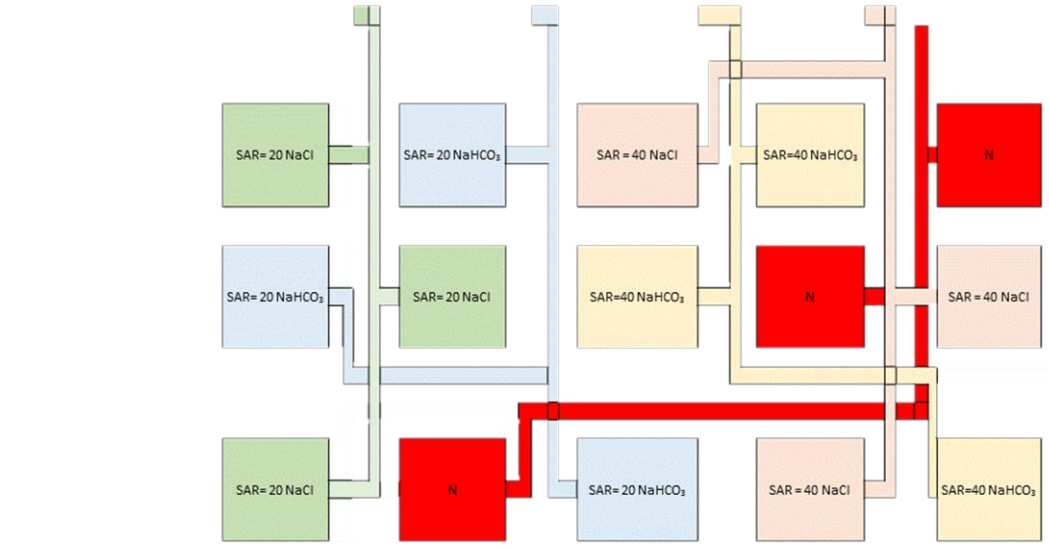
3.2. Yöntem

3.2.1 Deneme alanının oluşturulması

Sulama suyundaki yüksek tuz konsantrasyonuna bağlı olarak toprak bozulumunu izlemek için Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde bir deneme kurulmuştur (Şekil 3.2). Deneme, tarla koşullarında çakılı olarak tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve 5 uygulama konusu olacak şekilde kurulmuştur. Parsel boyu 4-m, eni 3-m ve her bir parsel arası yürüme yolu 2-m' dir. Bir parsel $3 \times 4 = 12 \text{ m}^2$ ebadında olup her blok $12 \times 5 = 60 \text{ m}^2$ dir. Toplam deneme alanı 500 m^2 olup parsel sayısı 15' dir. Deneme deseni ilişkin bazı görseller şekil 3.3' de görülmektedir.



Şekil 3.3 Deneme alanından görüntüler



Şekil 3.4 Deneme deseni

Kullanılan farklı renkler sulama suyu konularını göstermektedir.

Yeşil: SAR 20 NaCl

Sarı: SAR 40 NaHCO₃

Kırmızı: Normal su

Turuncu: SAR 40 NaCl

Mavi: SAR 20 NaHCO₃

3.2.2 Sulamaların yapılması

Denemede kullanılan sulama yöntemi damlama sulamadır. Sulama suyu olarak, İkizce Göleti'nden çiftliğe ulaştırılan su kullanılmıştır. Çalışmada parsellere verilecek suların hazırlanmasında, SAR düzeyleri 0 (kontrol), SAR düzeyi 20 ve 40 olacak şekilde; NaHCO₃ ve NaCl katılmış; EC değeri 3 dS m⁻¹' den daha düşük olacak şekilde beş değişik sulama suyu (çalışma konusu) kullanılmıştır (Şekil 3.4). Doğada bolca rastlanan ve çözünürlükleri yüksek olduğu için bu tuzlar tercih edilmiştir (Levitt 1980, Delesalle ve Blum 1994, Turhan ve Başer 2001, Karagüzel 2003). Çalışmada su konularının oluşturulmasında Ekstract Chem bilgisayar programından yararlanılmıştır. Ekstract Chem programı, sulama sularında istenilen SAR düzeyinin belirlenebilmesi amacıyla kontrol suyuna katılması gereken farklı tuz miktarlarını hesaplayabilen bir programdır (Çizelge 3.1).

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan yapay sulama suları, tuzluluk konularına göre 1000 L'lik depoda hazırlanmış ve sisteme bir pompa yardımıyla iletilmiştir. Sistemde su kaynağı, su pompası, su iletimini sağlayan polietilen hortumlar ve her parselin başında

bulunan musluklu borular bulunmaktadır. Çalışmada sulamaların yapılmasında çiftlikteki beton kaplamalı açık kanaldan alınan su, her bir konu için tuzların eklendiği deneme alanındaki 1000 L' lik tarlabası musluklu su tanklarına basılmıştır (Yıldırım ve Kodal 1998). Su tankı içerisine konulara göre ilave edilen tuzların iyice çözünmeleri sağlandıktan sonra su tankından 0.5 Hp (0.37 kW) gücündeki santrifüj pompa ile su PVC borularına iletilmiş, tarlabası musluklu borusu bulunan polietilen hortumlar vasıtasıyla su iletim hattından alınarak her bir parselle ulaştırılmıştır. Her bir parselle ise tüm parsel yüzeyini sulayacak şekilde 20 cm damlatıcı aralıklı olan 4 m uzunlukta 2 L/h debili borular yerleştirilmiştir (Şekil 3.4). Sulamalar sırasında homojen sulama sağlanması için sulama borularının yerleri devamlı olarak değiştirilmiştir. Sulamalarda buharlaşma hesaba katılmamıştır.



Şekil 3.5 Sulama boruları yerleştirilmiş parseller

Çizelge 3.1 Ekstract Chem programı ile tahmin edilen sulama suyu derişimleri

Parametre	İyon derişimleri me L ⁻¹	NaHCO ₃		NaCl	
		SAR=20 EC<3 dS m ⁻¹	SAR=40 EC<3 dS m ⁻¹	SAR=20 EC<3 dS m ⁻¹	SAR=40 EC<3 dS m ⁻¹
Na	1.30	22.30	42.30	29.30	57.30
Ca	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
Mg	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
K	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
CO ₃	0.90	22.90	41.90	1.20	1.20
HCO ₃	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
SO ₄	2.30	2.30	2.30	30.30	58.60
NO ₃	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
EC	0.54	2.20	3.68	3.56	6.57
SAR	0.98	20.88	40.21	20.51	40.31
pH	8.40	8.06	8.30	6.74	6.72

Extract Chem ile hesaplanan edilen iyon derişimleri kullanılarak her bir sulama suyu konusu için parsellere uygulanacak tuz miktarları g L⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır. Suların hesaplanmasında buharlaşma hesaba katılmamıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Sulama suyu konularına göre verilecek tuz miktarları

Sulama suyu konusu	EC	Tuz miktarı
Kontrol	0.54 dS m ⁻¹	-
SAR 20 NaHCO ₃	<3 dS m ⁻¹	1.764 g L ⁻¹
SAR 40 NaHCO ₃	<3 dS m ⁻¹	3.44 g L ⁻¹
SAR 20 NaCl	<3 dS m ⁻¹	1.638 g L ⁻¹
SAR 40 NaCl	<3 dS m ⁻¹	3.276 g L ⁻¹

NaHCO₃: Sodyum bikarbonat, NaCl: Sodyum klorür

Hazırlanan tuzlu sular tarla kapasitesi değerinin % 10 fazlası olacak şekilde deneme desenine göre parsellere verilmiş, daha sonra solma noktasına kadar beklendikten sonra aynı tuzlu sular ile sulamalara devam edilmiştir. Sulamalar beşer sulama olacak şekilde yapılmıştır. İlk dönem sulama uygulamalarına Mayıs 2017’ de başlanmış, Temmuz

2017' ye kadar beş tuzlu sulama suyu uygulaması yapılmıştır. İkinci dönem sulama uygulamalarına Temmuz 2017' de başlanmış, Ekim 2017' ye kadar beş kez sulama yapılarak 2017 yılında toplam on tuzlu sulama suyu uygulaması yapılmıştır (1. ve 2. dönem). Sulamaları takiben sonbahar ve ilkbahar yağışlarından dolayı sulamalara ara verilmiş, çalışma alanındaki tuzların durumu ve değişimler ile bu değişimlerin nedenlerini belirlemek amacıyla Haziran 2018' de her bir parselde belirlenen noktalarda tekrar toprak örnekleri alınmış ve infiltrasyon testleri yapılmıştır (3. dönem). Haziran 2018' de tekrar konsantrasyonları ayarlanmış olan tuzlu sular deneme desenine göre ilgili parsellere damlama sulama ile verilmeye başlanmış, Ekim 2018' e kadar beş kez daha tuzlu su uygulaması yapılmış ve sulamalara son verilmiştir (4. dönem) (Şekil 3.6). Sulama takvimi ve sulama konularına göre verilen su ve tuz miktarları ile toprak örnekleme zamanlarına dair bilgiler çizelge 3.3' de verilmiştir.



Şekil 3.6 Sulamaların yapılması

3.2.3 Toprak örneklerinin alınması

Çizelge 3.3' de belirtilen tarihlerde deneme alanının dışını temsil eden noktalarda 0-10 cm derinlikten 3 tekerrürlü olacak şekilde hacim ağırlığı, tarla kapasitesi ve solma noktası

Çizelge 3.3 Sulama takvimi, sulama uygulamalarına göre verilen sulama suyu ve tuz miktarları ile toprak örnekleme zamanları

No	Sulama tarihi	Mevcut nem %	TK %	Verilecek su %	Verilecek su L	SAR 20 NaHCO ₃ g	SAR 40 NaHCO ₃ g	SAR 20 NaCl g	SAR 40 NaCl g
1	17.05.2017	25	40	25	600	1.058	2.066	982.8	1.965
2	02.06.2017	24	40	26	630	1.110	2.167	1.032	2.065
3	16.06.2017	24	40	26	630	1.110	2.167	1.032	2.065
4	18.06.2017	34	40	16	380	617	1.200	573	1.150
5	05.07.2017	12	40	39	1040	1.835	3.580	1.700	3.408
26.07.2017-28.07.2017 - 5 sulama sonrası bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleme ve infiltrasyon testlerinin yapılması									
6	29.07.2017	20	40	30	820	1.446	2.820	1.343	2.686
7	19.08.2017	20	40	30	820	1.446	2.820	1.343	2.686
8	25.08.2017	20	40	30	820	1.446	2.820	1.343	2.686
9	28.09.2017	23	40	27	648	1.143	2.229	1.061	2.122
10	03.10.2017	26	40	24	576	1.016	1.981	943.4	1.886
19.10.2017-22.10.2017- 10 sulama sonrası bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleme ve infiltrasyon testlerinin yapılması									
15.05.2018-17.05.2018- Kış sonrası bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleme ve infiltrasyon testlerinin yapılması									
11	18.05.2018	25	40	25	600	1.058	2.066	982.8	1.965.6
12	14.07.2018	18	40	32	768	1.354	2.641	1.257	2.515
13	20.07.2018	17	40	33	792	1.397	2.724	1.297	2.594
14	19.08.2018	15.5	40	34.5	828	1.460	2.848	1.356	2.712
15	26.08.2018	16	40	34	816	1.439	2.807	1.336	2.673
18.06.2018-20.06.2018 - Kış sonrasında 5 sulama sonrası bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleme ve infiltrasyon testlerinin yapılması									

belirlenmesi için toplam 12 adet bozulmamış toprak örneği alınmıştır. Ayrıca her bir parselde belirlenen örnekleme noktalarından ve deneme alanının dışını temsil eden noktalardan 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinliklerde kompoze toprak örnekleri (deneme

boyunca 192 adet) alınmıştır. Alınan toprak örnekleri laboratuvara getirilmiş ve serilerek kurutulmaya bırakılmıştır. Kurutma işleminden sonra alınan örnekler tahta tokmakla dövülmüş ve 2 mm' lik elekten geçirilerek analizlere hazır hale getirilmiştir. Suyu dayanıklı agregatların belirlenmesinde 2 mm' lik elekten geçirilen toprak örnekleri daha sonra 1 mm'lik elekten tekrar geçirilmiş ve eleğin üzerinde kalan topraklardan 3 g toprak alınarak analiz yapılmıştır (Şekil 3.7). Ortalama ağırlık çap ve geometrik orta çapın belirlenmesi için ise 10 g toprak örneğinde elek çapı 2, 1, 0.5 ve 0.25 mm olmak üzere iç içe geçirilmiş elek sisteminde her bir elek üzerinde kalan toprak örnekleri kullanılmıştır.

Hazırlanan bozulmuş toprak örneklerinde tekstür, kireç, organik madde, pH, EC, KDK analizleri yapılmıştır. Toprak örneklerinden 200 g alınarak saturasyon çamuru hazırlanmış ve ekstraksiyon aleti kullanılarak toprak ekstraktı çıkarılmıştır. Çıkarılan saturasyon ekstaktında pH, EC_e, suda çözünebilir katyonlar (Na, Ca, Mg, K) ve suda çözünebilir anyonlar (Cl, CO₃, HCO₃) belirlenmiştir.



Şekil 3.7 Toprak örneklerinin alınması ve analizlere hazırlanması

3.2.4 Analizler

3.2.4.1 İnfiltrasyon testlerinin yapılması

İnfiltrasyon testleri 2017-2018 yıllarında çizelge 3.3' de belirtilen zamanlarda çift silindirli infiltrometreler kullanılarak yapılmıştır. İnfiltrasyon test ölçümlere başlamadan önce her bir parselde karınca ve köstebek yuvaları ile bitki köklerinin oluşturacağı

boşlukların test sonuçlarını etkilememesi için uygun alanlar belirlenmiştir. Silindirler içiçe olacak şekilde yatay olarak test için belirlenen yerlere konulmuş ve üzerine vurma plakası yerleştirilmiştir. Çakma materyali ile plaka üzerinden yavaş yavaş vurularak silindirler 10-15 cm' e kadar çakılmış, iç ve dış silindirlere seviyeleri eşit olacak şekilde sulamada uygulanacak su derinliği kadar çiftlikten alınan su ile doldurulmuştur. İç silindirin tabanına bir bez parçası serilerek, su ile dolmuş yapıldıktan sonra kaldırılmıştır. Su düzeyi ölçümleri iç silindirden bir ölçme aracı ile yapılmıştır. İç silindirdeki suyun yanlara doğru hareketini önlemek ve ıslatma alanının genişletmek amacıyla dış silindire su doldurulmuştur. Ölçümler sırasında toprak yüzeyindeki su yüksekliği 5 cm derinliğine düştüğünde silindire su ilavesi yapılmıştır (Anonim 2021d). Testlerde üçer tane 5 dakika ve 10 dakika ara, ikişer tane de 20 ve 30 dakika olarak ölçümler alınmıştır. Birim zamanda iletilen su miktarı eşit olana kadar ölçüme devam edilmiştir. Deneme boyunca her bir parselde ve başlangıç deneme alanını temsilen toplamda 64 adet infiltrasyon testi yapılmıştır (Şekil 3.8). Çift silindirli infiltrometre testlerinde eklemeli süre ve giren su derinliğinin eklemeli değerleri kaydedilerek logaritmik eksnelere sahip grafik oluşturulmuş, bu noktaların oluşturduğu doğrunun eğimi (n) ve ordinatı kesim noktası (k) belirlenerek Kostiakov (1932) tarafından önerilen eklemeli infiltrasyon eşitliğine ($D=kt^n$) ilişkin katsayılar (k ve n) her bir parsel için elde edilmiştir (Temizel 2012, Ergün 2019). Elde edilen eşitlik kullanılarak net infiltrasyon süresi 4 saat olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.8 Çift silindirli infiltrometre ile infiltrasyon testlerin yapılması

3.2.4.2 Laboratuvar analizleri

Toprak tekstürü: Toprak örneklerinin kum, silt ve kil fraksiyonları, Bouyoucos (1951)' e göre hidrometre yöntemine göre belirlenmiştir.

Hacim ağırlığı: Bozulmamış toprak örneklerinde Blake ve Hartge (1986)' tarafından bildirilen şekilde belirlenmiştir.

Suya dayanıklı agregat yüzdesi, ortalama ağırlık çap ve geometrik orta çap:

Suya dayanıklı agregat yüzdesi 0.25 mm elek çapı, ortalama ağırlık çap ve geometrik orta çap ise 2.0, 1.0, 0.5 ve 0.25 mm açıklığa sahip elek takımından oluşan eleme setinde Kemper ve Rosenau (1986)' e göre ıslak eleme metoduna göre belirlenmiştir.

Tarla kapasitesi: Anonymous (1954)' de belirtilen esaslara göre, bozulmamış toprak örneklerinin doyurulması ve 1/3 atm değerinde basınç uygulanması ile belirlenmiştir.

Solma noktası: Anonymous (1954)' de belirtilen esaslara göre, bozulmamış toprak örneklerinin doyurulduktan sonra 15 atm değerinde basınç uygulanması ile belirlenmiştir.

Toprak su tutma özellikleri: Toprak su tutma fonksiyonu $\theta(h)$ bozulmamış örnek alma kapları ile 0-10 cm derinlikten alanı temsil edecek şekilde 3 paralelli alınan bozulmamış toprak örneklerinde toprak nem tayinleri 9 farklı matrik potansiyelde (-1, -5, -10, -33, -50, -100, -500, -1000, -1500 kPa) belirlenmiştir. -1 ile -10 kPa arasındaki matrik potansiyellerde tutulan su kum havuzu (Romano vd. 2002), geri kalan potansiyellerdeki su ise basınçlı plaka ekstraktörleri (Dane ve Hopmans 2002) yöntemleri ile yapılmıştır. RETC version 6.02 (van Genuchten vd. 2009) bilgisayar programında Mualem (1976)($m=1-1/n$) modeli kullanarak pF eğrileri çizilmiştir.

CaCO₃ (Kireç) içeriği: Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Anonymous 1954).

Organik madde: Anonymous (1954)' e göre modifiye edilmiş Walkley Black metodu ile saptanmıştır (Tüzüner 1990).

KDK: Toprak örnekleri pH 8.2' e ayarlanmış olan sodyum asetat çözeltisi ile muamele edilerek fleym fotometrede sodyum okuması yapılarak belirlenmiştir (Bower vd. 1952).

Bu çalışma kapsamında sulama suyunda ve toprak saturasyon ekstraktında aşağıdaki analizler yapılmıştır.

pH: Saturasyon çamurundan alınan süzükte pH metre ile belirlenmiştir (Anonymous 1954).

EC: Saturasyon çamurundan elde edilen süzükte EC metre yoluyla belirlenmiştir (Anonymous 1954).

Suda çözünebilir katyon ve anyonlar: Suda çözünebilir katyon ve anyonların belirlenmesinde 200 gr toprak örneği saf su kullanılarak doygun hale getirilmiş, saturasyon çamuru hazırlanmıştır. Hazırlanan çamurda basınçlı ekstraksiyon aletiyle her bir toprak örneği için süzükler elde edilmiştir. Saturasyon ekstraktından elde edilen süzüklerde Na, Ca ve K analizleri fleym fotometre aleti ile Mg analizi ise AAS (Atomik absorpsiyon cihazı) ile yapılmıştır. CO₃ ve HCO₃ 0.01 N H₂SO₄ ile Cl ise 0.005 N AgNO₃ çözeltisi ile titre etmek suretiyle tayin edilmiştir (Anonymous 1954).

Ekstrakte edilen katyonlar: 5 g bozulmuş toprak örneği pH' sı 7 olan 25 ml 1 N amonyum asetat (CH₃COONH₄) ile iki kez çalkalayıcıda çalkalandıktan sonra iki kez santrüj edilmiş, elde edilen ekstaksiyon çözeltisi filtre kâğıdından süzülmüştür. Elde edilen süzükte Na, Ca ve K fleymfotometrede, Mg ise AAS ile belirlenmiştir (Black vd. 1965).

SAR: Sodyum adsorpsiyon oranı $SAR = \frac{Na}{\frac{\sqrt{Ca+Mg}}{2}}$ eşitliği kullanılarak hesaplama yoluyla bulunmuştur (Anonymous 1954).

ESP: ESP' nin belirlenmesinde $ESP = 1.475 (SAR) / 1 + 0.0147 SAR$ eşitliği kullanılmıştır (Carrow ve Duncan 1998).

3.2.4.3 İstatistiksel analizler

Çalışma alanı topraklarının genel durumunu ortaya koymak için her bir değişken için kum, kil, silt, pH, EC_e , organik madde, kireç oranı, suda çözünebilir katyonlar ve anyonlar, ekstrakte edilebilir katyonlar, SAR, ESP, katyon değişim kapasitesi, tarla kapasitesi, solma noktası, hacim ağırlığı, suya dayanıklı agregat yüzdesi, birikimli infiltrasyon, infiltrasyon hızı parametreleri için aritmetik ortalama, maksimum, minimum, standart sapma, % varyasyon katsayısı SPSS 23 programı kullanılarak belirlenmiştir.

Çalışma sonunda her bir toprak özelliğindeki ortalamalar arasında SAR düzeyi, tuz çeşidi ve toprak derinliği açısından farklılıkların değerlendirilmesinde çok değişkenli varyans analizi, Multiple ANOVA (MANOVA), daha sonra farklılıkların nereden kaynaklandığını görebilmek için post-hoc çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. İzlenen toprak özelliklerinin ortalama değerlerinin dönemsel olarak zamana bağlı olarak değişimi ise tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiş, dönemler arasındaki farklılıklar $p < 0.05$ güven sınırında 'Tukey' testi ile gruplandırılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışma alanında 3 farklı SAR düzeyi (SAR 0 (Kontrol), 20 ve SAR 40), 2 farklı tuz çeşidi (NaCl ve NaHCO₃), 3 toprak derinliği (0-10, 10-20, 20-30 cm) değişken olarak kullanılmıştır. Bulguların sunumuna öncelikle her sulama öncesi dönemde 0-10, 10-20 ve 20-30 cm toprak derinliğinden alınan örneklere ait en küçük ve yüksek değerler, ortalama ve standart sapmalar, değişimin göstergesi olan varyasyon katsayısı değerlerinden oluşan tanımlayıcı istatistik verilerinin değerlendirilmesi ile başlanmıştır. Daha sonra çalışmanın son dönemi olan 4. dönemde alınan toprak örnekleri için SAR düzeyi, tuz çeşidi ve derinlik kademeleriyle birlikte hem de bu faktörlerin birbirleriyle etkileşimde buldukları koşullar göz önünde bulundurularak çok değişkenli varyans analizi MANOVA, ortalamalar arasında fark çıkması halinde farkın nereden kaynaklandığını (sulama suyu SAR düzeyi, sulama suyu tuz çeşidi ve toprak derinliği) ortaya koyan Tukey post-hoc çoklu karşılaştırma testi sonuçları verilmiştir. Son olarak ise toprak örnekleme yapılan dört dönemde alınan toprak örneklerinde sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak toprak fiziksel ve hidrolojik özelliklerinin değişiminde zamanın etkisinin değerlendirildiği tek yönlü varyans analizi ANOVA sonuçları verilmiştir.

4.1 Çalışma Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Hidrolojik Özellikleri

Çalışma alanı topraklarının sulamalar öncesi başlangıç dönemine ait bazı fiziksel ve hidrolojik özelliklerine ilişkin sonuçlar çizelge 4.1’ de verilmiştir. Toprakların 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinliklerinde kil içeriği % 57.88-59.26 arasında değişmektedir ve kil bünyeye sahiptir. Toprakların ortalama kil içeriği % 58.49, kum içeriği % 29.0 ve silt içeriği % 11.4’ dür. Çalışma alanında kil içeriği derinliğe bağlı olarak azalma gösterirken, silt içeriği derinliğe bağlı olarak artma göstermiştir. Kum içeriğinde ise derinlikler arasında benzer sonuçlar alınmıştır (Çizelge 4.1). Soba vd. (2015), Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği topraklarının verimliliklerini araştırdıkları çalışmalarında alanda en yüksek kil içeriğini % 32.8 ile % 58.9 olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar aynı çalışmada silt içeriğini % 15.1 ile % 27.4 arasında, kum içeriğini ise % 21.5 ile % 42.5 olarak belirlemişlerdir.

Çizelge 4.1 Çalışma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Derinlik	Min.	Max.	A.O.	SS	%VK
	0-10 cm	57.88	59.26	58.49	1.45	2.44
Kil, %	10-20 cm	58.34	62.73	60.83	2.00	3.29
	20-30 cm	50.71	60.56	57.53	4.58	7.96
	0-10 cm	8.13	14.40	11.40	3.04	26.67
Silt, %	10-20 cm	8.97	13.02	11.40	1.90	16.67
	20-30 cm	10.20	15.33	13.46	2.41	17.90
	0-10 cm	27.15	31.20	29.00	1.89	6.52
Kum, %	10-20 cm	23.56	28.30	25.95	2.07	7.97
	20-30 cm	24.12	30.54	26.99	2.94	10.91
Db, g cm ³	0-10 cm	1.16	1.18	1.17	0.01	1,20
Θ _{500 kPa} , cm ³ cm ⁻³	0-10 cm	40.01	40.02	40.00	0.94	3.70
Θ _{sn} , cm ³ cm ⁻³	0-10 cm	32.2	33.3	33.2	0.97	10.20
	0-10 cm	0.91	1.55	1.23	0.27	21.95
OM, %	10-20 cm	0.58	1.32	0.79	0.35	44.30
	20-30 cm	0.58	1.32	0.79	0.35	44.30
	0-10 cm	21.00	28.72	26.42	3.63	13.74
CaCO ₃ , %	10-20 cm	23.42	30.08	27.50	2.88	10.47
	20-30 cm	23.42	29.82	27.98	3.05	10.90
	0-10 cm	7.55	7.55	7.55	0.00	0.00
pH	10-20 cm	7.53	7.53	7.53	0.00	0.00
	20-30 cm	7.61	7.61	7.61	0.00	0.00
	0-10 cm	0.60	0.63	0.61	0.01	1.64
EC _e , dS m ⁻¹	10-20 cm	0.52	0.69	0.58	0.09	15.52
	20-30 cm	0.57	0.80	0.65	0.12	18.46
Suda çözünebilir katyonlar meq L ⁻¹						
	0-10 cm	0.10	0.13	0.12	0.01	8.33
Mg	10-20 cm	0.05	0.16	0.08	0.06	75.00
	20-30 cm	0.02	0.23	0.13	0.10	76.92
	0-10 cm	2.25	2.27	2.25	0.01	0.44
Na	10-20 cm	2.36	2.39	2.37	0.01	0.42
	20-30 cm	2.59	2.60	2.59	0.00	0.00
	0-10 cm	1.76	1.79	1.77	1.76	99.44
Ca	10-20 cm	1.96	2.04	1.99	0.04	2.01
	20-30 cm	1.98	2.09	2.03	0.05	2.45
	0-10 cm	0.10	0.12	0.11	0.01	9.09
K	10-20 cm	0.07	0.11	0.09	0.02	22.22
	20-30 cm	0.09	0.11	0.09	0.00	0.00

Çizelge 4.1 Çalışma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (devam)

Özellik	Derinlik	Min.	Max.	A.O.	SS	%VK
Suda çözünebilir anyonlar meq L ⁻¹						
Cl	0-10 cm	2.29	2.89	2.59	0.29	11.20
	10-20 cm	2.59	2.72	2.66	0.06	2.26
	20-30 cm	2.37	2.85	2.62	0.22	8.40
HCO ₃	0-10 cm	2.68	2.87	2.79	0.11	3.94
	10-20 cm	3.18	3.39	3.26	0.11	3.37
	20-30 cm	3.58	3.88	3.80	0.17	4.47
Ekstrakte edilen katyonlar meq L ⁻¹						
Mg	0-10 cm	5.60	5.80	5.68	0.10	1.76
	10-20 cm	5.20	5.41	5.28	0.11	2.08
	20-30 cm	6.56	7.04	6.80	0.24	3.53
Na	0-10 cm	6.50	6.54	6.51	0.02	0.31
	10-20 cm	5.93	5.98	5.96	0.02	0.02
	20-30 cm	6.62	6.65	6.60	0.01	0.44
Ca	0-10 cm	361.00	365.00	363.00	2.00	0.23
	10-20 cm	220.23	221.25	220.77	0.51	0.23
	20-30 cm	325.62	326.00	325.83	0.19	0.06
K	0-10 cm	6.00	6.80	6.40	0.40	6.25
	10-20 cm	4.49	6.13	5.30	0.82	15.45
	20-30 cm	4.67	5.00	4.81	0.01	0.33
KDK, meq 100 g ⁻¹	0-10 cm	50.69	58.04	54.81	3.17	5.78
	10-20 cm	32.50	63.22	50.14	12.82	25.57
	20-30 cm	41.96	57.64	49.91	8.07	16.17
SAR, meq L ⁻¹	0-10 cm	1.76	1.79	1.77	0.01	0.56
	10-20 cm	1.96	2.04	1.99	0.04	2.01
	20-30 cm	1.98	2.09	2.03	0.05	2.45
ESP, %	0-10 cm	1.32	1.36	1.34	0.02	1.49
	10-20 cm	1.60	1.72	1.65	0.06	3.78
	20-30 cm	1.63	1.79	1.71	0.08	4.68
SDA,%	0-10 cm	80.0	81.90	81.24	0.87	1.07
	10-20 cm	79.50	81.70	80.65	1.08	1.33
	20-30 cm	78.56	81.60	80.65	1.41	1.74
Birikimli infiltrasyon, m		1.28	1.36	1.33	0.03	2.25
İnfiltrasyon hızı, cm h ⁻¹		24.60	26.20	25.40	0.69	2.71
OAÇ, mm	0-10 cm	1.62	1.81	1.74	0.08	4.59
	10-20 cm	1.56	1.81	1.64	0.11	6.70
	20-30 cm	2.06	2.19	1.00	0.06	6.00
GOÇ, mm	0-10 cm	1.00	1.03	1.01	0.01	1.00
	10-20 cm	0.96	1.03	1.00	0.03	3.00
	20-30 cm	1.00	1.04	1.02	0.01	1.00

Min: Minimum değer. Max: Maksimum değer. A.O: Aritmetik ortalama. S.S: Standart sapma. V.K: Varyasyon katsayısı. OM: Organik madde EC: Elektriksel iletkenlik KDK: Katyon değişim kapasitesi SAR: Sodyum absorpsiyon oranı ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi SDA: Suya dayanıklı agregat OAÇ: Ortalama ağırlık çap GOÇ: Geometrik orta çap, $\theta_{500 \text{ kPa}}$: Tarla kapasitesi, θ_{sn} : Solma noktası, Db: Hacim ağırlığı

Killi topraklar havalanma ve infiltrasyon kapasitelerinin düşük, su tutma kapasitelerinin yüksek olmalarından dolayı aşırı sulama ya da yağışlarla sonucunda arazide çalışılması zor olan topraklar haline gelmektedirler (Soba vd. 2015).

Toprağın teksele taneciklerinin kil, organik madde, kireç ve demir gibi çimentolayıcı maddelerle bir araya gelerek oluşturdukları yapıya agregat denilmektedir (Budak 2012). Toprak yapısının; bitki gelişimi, karbon alımı ve besin döngüsü, suyun toprakta muhafazası ve iletimi ile toprakların erozyona direnç göstermesi üzerinde önemli etkileri vardır (Sumner 2000). Çalışma alanında SDA değerleri 0-10, 10-20, 20-30 cm derinliğinde ortalama % 80.65 ile 81.24 arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). Erarslan vd. (2016) İnebolu Havzası topraklarında yaptıkları çalışmada suya dayanıklı agregat değerlerinin derinliğe bağlı olarak azalma gösterdiğini ve yüzey toprağında SDA ortalama % 54.27 iken 10-20 cm derinlikte % 49.02 ve 20-30 cm derinlikte ise % 44.37 olarak tespit etmişlerdir.

Hacim ağırlığı, belirli bir toprak hacmindeki katı toprak maddesi miktarını gösteren önemli toprak özelliğidir (Ertaş 2010). Hacim ağırlığı sıkışma, suyun geçirgenliği, gözeneklilik, toprak suyunun derinlik olarak ifade edilmesi gibi konularda gerekli olan bir toprak parametresidir (Özdemir 1998, Gülser vd. 2016, Özdemir 2019). Çalışma alanı topraklarının yüzey katmanında ortalama hacim ağırlığı değerleri 1.17 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Cass, (1999) hacim ağırlığının değerlendirilmesinde toprak tekstürünün önemli olduğunu belirterek kumlu tın toprakta 1.8 g cm^{-3} , tınlı ve killi tın bünyeye sahip topraklarda 1.6 g cm^{-3} ve killi topraklarda ise toprakta 1.4 g cm^{-3} olduğunu belirtmiştir. Taşan (2018) Bafra Ovası'nda yaptığı çalışmada sulama öncesi dönemde toprakların yüzeyden alt katmanlara doğru kum artışına bağlı olarak toprak hacim ağırlığında artma olduğunu bildirmiştir.

İnfiltrasyon hızı, toprağın birim yüzeyinden birim zamanda toprak profiline giren suyun hacmi olarak tanımlanır (Hillel 1980, Ergün 2019). Çalışma alanında toprakların nihai birikimli infiltrasyon değerleri 1.28 ile 1.36 m arasında değişirken nihai infiltrasyon hızı $24.60-26.20 \text{ cm h}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.1). Deneme başlangıcında çalışma alanı topraklarının nihai infiltrasyon hızı yüksek olarak belirlenmiştir (Çizelge

4.2). İnfiltrasyon toprak yüzeyinin topoğrafik yapısından oldukça etkilenen bir toprak özelliğidir. Hacim ağırlığı ve toprak gözenekliliği infiltrasyonu etkileyen önemli parametrelerdir. Buradan yola çıkarak çalışma alanında deneme öncesi dönemde toprak işlemeli tarım yapılıyor olması hacim ağırlığını değiştirmekte ve infiltrasyonun değişkenliğine etki etmektedir. Öztekin (2007) infiltrasyon üzerinde hacim ağırlığının etkilerini belirlediği çalışmada infiltrasyon kapasitesinin, hacim ağırlığı ile negatif korelasyon gösterdiğini belirtmiştir. Çalışma alanı topraklarının tekstürü kil olmasına rağmen infiltrasyon hızı yüksektir. Bunun nedeni olarak toprakların strüktürünün gelişmiş olması ve yüzeye kadar uzanan makrogözenekliliğin olması söylenebilir. Mazaheri ve Mahmoodabadi (2012) gözenek büyüklük dağılımı ile infiltrasyon hızı arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında artan kum miktarına bağlı olarak kararlı infiltrasyon hızında artışa neden olduğunu, kil ve silt içeriğinin infiltrasyon hızı üzerinde negatif bir etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 4.2 İnfiltrasyon hızı sınıfları Kohnke (1968)'den uyarlanmıştır

İnfiltrasyon Sınıfı	İnfiltrasyon Hızı (cm h⁻¹)
Çok yüksek	> 25.4
Yüksek	12.7 – 25.4
Orta yüksek	6.3 – 12.7
Orta	2 – 6.3
Orta düşük	2 – 0.5
Düşük	0.5 – 0.1
Çok düşük	< 0.1

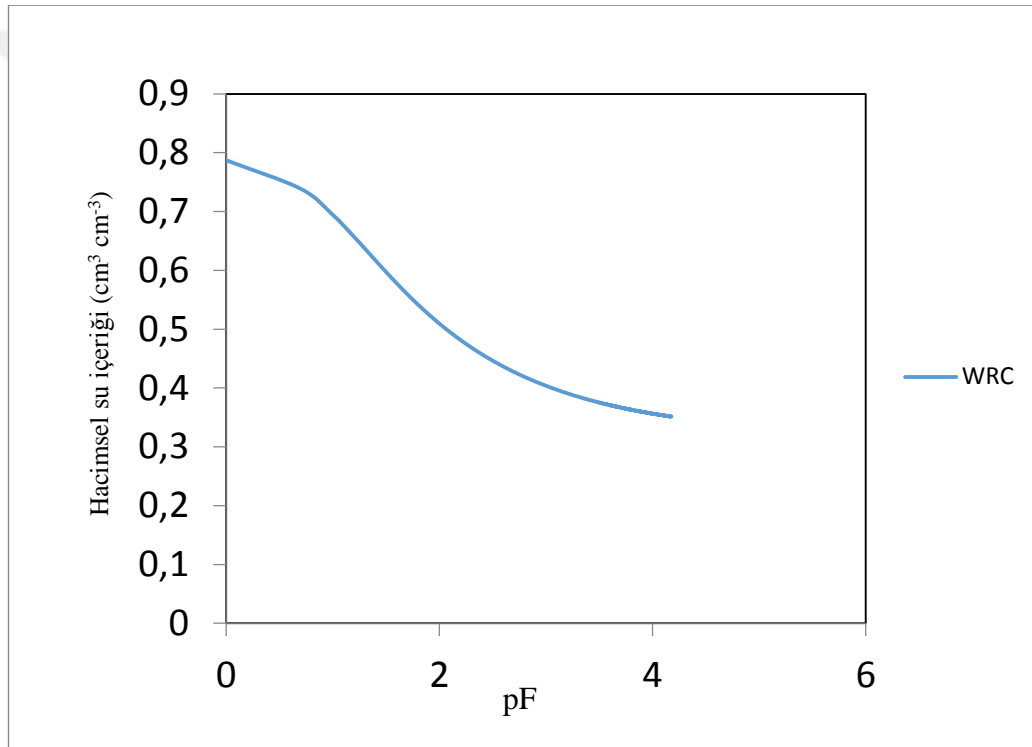
Bir toprakta ne kadar su tutulduğunun belirlenmesi tarla kapasitesi ve solma noktası gibi parametrelerinin hesaplanması ile olmaktadır. Çalışma alanı topraklarının tarla kapasitesindeki nem içerikleri $40.3 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ile $40.1 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında, solma noktasındaki nem içerikleri ise $33.3 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ile $32.2 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında değişmiştir (Çizelge 4.1). Bitkilerin topraktan kökleri aracılığı ile alamadıkları koşullardaki topraktaki nem oranına solma noktası olarak tanımlanmaktadır. Solma noktası killi topraklarda yüksek değerler alırken, kumlu topraklarda düşük değerler almaktadır (Anonim 2021). Solma noktasındaki su, toprak parçacıklarına ve agregatlara güçlü

şekilde bağlanan ve bitki tarafından alınması mümkün olmayan toprak su içeriğindeki sudur.

Çizelge 4.3 Çalışma alanı topraklarının 9 farklı basınç potansiyeli altında RETC programında elde edilen Mualem (1976)'ya göre Van Genuchten parametreleri

SSQ	θ_r (cm ³ cm ⁻³)	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	α	n	m
0.004	0.318	0.787	0.123	1.354	0.2618

θ_r : Doygun hacimsel su içeriği, θ_s : Kalıcı su içeriği, α , n,m: Toprak tipine bağlı olarak değişen parametreler



Şekil 4.1 Çalışma topraklarına ait su tutma eğrisi

Toprak su tutma eğrisi toprakların tekstür, strüktür, gözeneklilik, gözenek büyüklük dağılımları ile toprak suyunun adsorbe edilmesini gösteren bir parametredir. Toprakta nemin giderek azalması durumunda toprakta kalan nemin topraktan uzaklaşabilmesi için gerekli olan tansiyon değeri yükselmektedir. pF basınç potansiyelinin logaritmasıdır (pF= log cm su sütunu; 1 bar \approx 1000 cm su sütunu) (Anonim 2021h). Çalışma alanı topraklarının toprak su karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar ortamında, toprak nem tayinleri 9 farklı matrik potansiyelde (-1, -5, -10, -

33, -50, -100, -500, -1000 - 1500 kPa) ölçülmüş ve bu değerler yardımıyla RETC programında Van Genuchten parametreleri Mualem (1976)' ya göre belirlenmiştir (Çizelge 4.3). RETC programında Van Genuchten parametreleri belirli bir toprak suyu basıncındaki ölçülen ve tahmin edilen hacimsel su içeriği arasındaki farktan yararlanılarak belirlenmektedir (Büyüктаş ve Hakgören 2005). Van Genuchten parametreleri kullanılarak oluşturulan toprak su tutma eğrisi (pF) şekil 4.1' de görülmektedir.

Çalışma alanı topraklarının Van Genuchten parametrelerinden doymuş hacimsel su içeriği (θ_s); 0.787, kalıcı su içeriği (θ_r) 0.318 , α ; 0.123 ve n ;1.16 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Carsel ve Parish (1988) farklı tekstüre sahip toprakların Van Genuchten parametrelerini belirledikleri çalışmada kumlu, tınlı ve kil bünyeye sahip toprak için n parametresini, sırasıyla 2.68, 1.56 ve 1.09; α parametresini (cm^{-1}) 0.145, 0.036 ve 0.008 olarak tespit etmişlerdir.

Çalışma alanında sulamadan önceki dönemde alınan topraklardaki tuzluluk durumları incelendiğinde 0-10 cm toprak derinliğinde EC_e değerlerinin 0.60 dS m^{-1} ile 0.63 dS m^{-1} arasında değişim gösterdiği ve ortalama EC_e 'nin 0.61 dS m^{-1} olduğu belirlenmiştir. 10-20 cm toprak derinliğinde EC_e değerleri 0.52 ile 0.69 dS m^{-1} arasında değişim göstermiş, ortalama EC_e 0.58 dS m^{-1} olarak tespit edilmiştir. 20-30 cm derinlikte ise EC_e değerleri 0.57 ile 0.80 dS m^{-1} arasında değişmiş ve ortalama EC_e değeri 0.65 dS m^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Maas (1986)' a göre çalışma alanı toprakları tuzsuz topraklar olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.4). Üst katmanda tuzluluk değerleri yüksek bulunmuş, alt katmanlara doğru inildikçe tuzluluk değerleri azalmıştır (Çizelge 4.1). Soba vd. (2015) aynı alanda yaptıkları çalışmalarında toprakta EC_e değerlerini 0.27 dS m^{-1} ile 1.70 dS m^{-1} arasında belirlemişlerdir. Taşan (2018) Samsun Bafra bölgesinde yaptığı çalışmasında toprakların elektriksel iletkenliklerinin sulama öncesi dönemde derinlikle birlikte azalma gösterdiğini ve bunun sebebi olarak alt katmanlarda kil içeriğinin azalması ve EC ' yi yükseltecek toprak kimyasal olayların azalması ile yıkama olduğunu ifade etmiştir. Kil fraksiyonu ile toprağın EC değeri arasında pozitif bir ilişkinin olduğunu ve kil içeriğinin azalması durumunda toprakta EC ' nin azaldığı

literatürlerde bildirmiştir (Rhoades ve Chanduvy 1999, Ekberli ve Dengiz 2017, Taşan 2018, Sarı vd. 2019, Taşkın 2019).

Çalışmada incelenen diğer bir toprak özelliği olan pH, bitki gelişimi açısından önemli olan bir özelliktir. Yapılan çalışmalarda bitki gelişimi açısından pH değerinin en uygun olduğu aralığın 6.5 ile 7.5 arasında olduğu belirlenmiştir. 0-10 cm derinlikteki ortalama pH değeri 7.55, 10-20 cm toprak derinliğinde ortalama pH değeri 7.53, 20-30 cm toprak katmanında ortalama pH değeri 7.61 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4. 1). 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinliğinde pH değerlerinin toprak derinliğine göre 7.32 ile 8.0 arasında değiştiği için çalışma alanı toprakları hafif alkali olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.4). Alkali topraklar, değişebilir Na yüzdesinin Ca ve Mg' a oranla daha yüksek olduğu ve EC'nin 4 dS m^{-1} den düşük olduğu toprakları tanımlamak için kullanılır. Alkali topraklarda toprak pH'sı 8.5' ten fazladır. Çalışma alanı topraklarında deneme başlangıcında alkalilik durumu görülmemektedir. Soba vd. (2015) aynı çalışma bölgesinde yaptıkları çalışmalarında pH değerlerini 7.90 ile 8.68 arasında belirlemişlerdir.

Topraktaki organik madde, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik birçok özelliğini etkileyen önemli parametredir (Haynes vd. 1991). Başlangıç döneminde OM içeriği ise, derinliğe bağlı olarak % 0.58-1.55 arasında olup yüzeyde OM değeri ortalama % 1.23' dür. Çalışma alanında derinliğe bağlı olarak organik maddenin azaldığı görülmektedir (Çizelge 4.1). Organik madde içeriği açısından çalışma alanı toprakları Ülgen ve Yurtsever (1974)' e göre az şeklinde sınıflandırılmaktadır (Çizelge 4.4). Sağlam vd. (2013) yaptıkları çalışmada toprakların OM içeriklerinin % 2' den az olduğunu ve kireç içeriklerini ise yüksek belirlemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar çalışılan alanda toprakların organik madde kapsamlarının oldukça düşük olduğunu ve OM' nin yüzeyde % 0.29-0.62 arasında değişim gösterdiğini, derinlik arttıkça OM' nin azaldığını belirtmişlerdir.

Çalışma alanı topraklarının CaCO_3 içeriklerinin derinliğe bağlı olarak ortalama % 26.42 ile % 27.98 arasında değiştiği ve CaCO_3 (%) içerikleri derinlik arttıkça artış gösterdiği çizelge 4.1' de görülmektedir. CaCO_3 içeriği açısından çalışma alanı toprakları Ülgen ve Yurtsever (1974)' e göre çok kireçli şeklinde sınıflandırılmaktadır (Çizelge 4.4).

Sağlam vd. (2013) Samsun’ da elektriksel iletkenliği düşük ve tuzluluk problemi olmayan alanda yaptıkları çalışma kapsamında yüzeyde kireç içeriğinin yüksek olduğunu, derinlere doğru gidildikçe profilde kireç içeriğinin azaldığını belirtmişlerdir.

Çalışma alanı yüzey topraklarında KDK 50.69-58.04 meq 100 g⁻¹ arasında ve ortalama 54.81 meq 100 g⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). KDK, derinliğe bağlı olarak kil içeriğinin azalması ile azalma göstermiştir. Hazelton ve Murphy (2016)’ e göre, KDK 6.0 meq 100 g⁻¹ dan düşük ise, çok düşük, 6.0-12.0 meq 100 g⁻¹ arası düşük, 12.0-25.0 meq 100 g⁻¹ arası orta, 25.0-40.0 meq 100 g⁻¹ arası yüksek ve 40.0 meq 100 g⁻¹ dan fazla olması ise çok yüksek olarak tanımlanmıştır (Çizelge 4.4). Bu kriterlere göre çalışma alanı topraklarının KDK’ sı yüksektir. Toprakların toplam kation tutma kapasitesi olarak tanımlanan KDK üzerinde toprakların kil miktarı ve tipi, organik madde içeriği, pH vb. gibi birçok faktörün etkisi bulunmaktadır. Farklı tekstüre sahip topraklarda KDK ve kıvam limitlerini ölçtükleri çalışmada Moradi (2013) en düşük KDK değeri killi tın topraklarda, en yüksek KDK değerini ise killi topraklarda tespit etmişlerdir.

Çalışma başlangıcında toprakların suda çözünebilir Na değerleri incelendiğinde 0-10 cm toprak derinliği için 2.25 ile 2.27 meq L⁻¹ arasında değiştiği ve ortalama değer ise 2.25 meq L⁻¹ olduğu belirlenmiştir. 10-20 cm toprak derinliğinde ise 2.36 ile 2.39 meq L⁻¹ arasında değişmiş ve bu katmandaki ortalama değer 2.37 meq L⁻¹ olarak belirlenmiştir. 20-30 cm toprak derinliğindeki Na değeri 2.59 ile 2.60 meq L⁻¹ arasında değişmiş ve ortalama değer ise 2.50 meq L⁻¹ olmuştur (Çizelge 4.1). Toprağın değişim yüzeylerindeki Na iyonunun adsorpsiyonu toprak çözeltisinin bileşimi ile ilişkilidir (Western Fertilizer Handbook 1995).

Başlangıç döneminde suda çözünebilir Ca içerikleri 0-10 cm toprak derinliğinde ortalama 1.77 meq L⁻¹, 10-20 cm toprak derinliğinde 1.99 meq L⁻¹ ve 20-30 cm toprak derinliğinde 2.03 meq L⁻¹ olarak belirlenmiştir. Suda çözünebilir Mg içerikleri 0-10 cm toprak derinliğinde ortalama 0.12 meq L⁻¹, 10-20 cm toprak derinliğinde ortalama 0.08 meq L⁻¹, 20-30 cm toprak derinliğinde ise ortalama 0.13 meq L⁻¹ olarak bulunmuştur. Potasyum, toprakta N ve P’ dan sonra önemli olan makro besin elementidir (İlay ve

Kavdır 2017). Suda çözünebilir K içerikleri 0-10 cm toprak katmanında ortalama 0.11 meq L⁻¹, 10-20 cm toprak derinliğinde ortalama 0.09 meq L⁻¹, 20-30 cm toprak derinliğinde ise ortalama 0.09 meq L⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1).

Çalışma alanında ekstrakte edilebilir Na içerikleri 0-10 cm toprak derinliğinde ortalama 6.51 meq L⁻¹, 10-20 cm toprak derinliğinde 5.96 meq L⁻¹ ve 20-30 cm toprak derinliğinde 6.60 meq L⁻¹ olarak görülmektedir. Düşük tuz konsantrasyonuna sahip topraklarda aralarında özellikle Na' un yer aldığı değişebilir katyonların başat duruma geçmesi toprak yapısının bozulmasına neden olmaktadır (Singer ve Munns 2002). Çalışma alanında ekstrakte edilebilir Ca için aritmetik ortalama 293.75 meq L⁻¹, en küçük değer 242.0 meq L⁻¹, en yüksek değer 331.0 meq L⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1). Literatür bulgularına göre baskın miktarda bulunan anyonlar, H₂PO₄, NO₃, SO₄, Cl ve HCO₃ gelmektedir (İlay ve Kavdır 2017).

Çalışma alanında başlangıç dönemi toprakların suda çözünebilir Cl içerikleri 0-10 cm toprak derinliğinde ortalama 2.59 meq L⁻¹, 10-20 cm toprak derinliğinde ortalama 2.66 meq L⁻¹ ve 20-30 cm toprak derinliğinde ise ortalama 2.62 meq L⁻¹' dir. Suda çözünebilir HCO₃ içerikleri 0-10 cm toprak derinliğinde ortalama 2.79 meq L⁻¹, 10-20 cm toprak derinliğinde ortalama 3.26 meq L⁻¹ ve 20-30 cm toprak derinliğinde ise ortalama 3.80 meq L⁻¹' dir (Çizelge 4.1). Çalışma alanında sulama öncesi topraklarının tuzluluk parametreleri olan SAR ve ESP değerleri incelendiğinde SAR 1.77 ile 2.03 meq L⁻¹ arasında değişim gösterdiği, ESP değerlerinin ise % 1.34 ile 1.71 arasında olduğu çizelge 4.1' de görülmektedir. Buna göre ESP <% 15, SAR <13 olduğu için çalışma alanı topraklarında alkalilik sorunu yoktur ve topraklar tuzsuz sınıfına girmektedir (Richards 1954, Anonim 1996, Horneck vd. 2007). SAR ve ESP değerleri birbirlerine bağlı olarak değişim gösteren parametrelerdir. Budak (2012) tuzlu alkali toprakların sınıflandırılması amacıyla yaptığı çalışmalarında yapmış olduğu korelasyon analizinde SAR ile ESP arasında pozitif ilişkiler olduğunu bildirmiştir. Aritmetik ortalama verilerin değerlendirmesinde tek başına yeterli olmamaktadır. Bu nedenle ortalama yanında değişkenlik ölçümlerinden varyans, standart sapma ve varyasyon katsayısının hesaplanması gerekmektedir.

Standart sapma farklı ölçü birimleri ile kıyaslanmasının mümkün olmaması nedeniyle farklı verilerin birbiri arasında kıyaslanmasında varyasyon katsayısı kullanılmaktadır. Varyasyon katsayısı ise standart sapmanın veri aritmetik ortalamasına bölünüp 100 ile çarpılması sonucunda elde edilen bir değişkendir. Geleneksel istatistikte toprak özelliklerindeki değişkenliği ifade edilmesinde varyasyon katsayısı kullanılmaktadır.

Çizelge 4.4 Toprakların bazı kimyasal özelliklerinin nitelendirilmesi

CaCO₃, g kg⁻¹	Çok az kireçli	Az kireçli	Orta kireçli	Fazla Kireçli	Çok fazla kireçli	Ülgen ve Yurtsever 1974
	<10	10-50	50-150	150-250	250<	
Organik madde, g kg⁻¹	Çok <10	Az 10-20	Orta 20-30	İyi 30-40	Yüksek >40	Ülgen ve Yurtsever 1974
EC dS m⁻¹	Tuzsuz 0-4	Hafif tuzlu 4-8	Orta tuzlu 8-15	Tuzlu >15		Maas 1986
pH	Orta asit 4.5-5.5	Hafif asit 5.5-6.5	Nötr 6.5-7.5	Hafif alkali 7.5-8.5	Kuvvetli alkali 8.5≤	Richards 1954
KDK me L⁻¹	Çok düşük <6.0	Düşük 6.0-12.0	Orta 12.0-25.0	Yüksek 25-40	Çok yüksek 40<	Hazelton ve Murphy 2016

Wilding vd. (1994)' in yaptığı sınıflandırmaya göre varyasyon katsayısı <% 15 ise ilgili özelliğin düşük derecede değişken, % 16-35 ise orta derecede değişken ve >% 36 ise yüksek derecede değişken olarak kabul edilmektedir. Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarda toprak özelliklerinin değişkenlik katsayısına göre düşük, orta ve yüksek değişkenlikler gösterdiği (Erşahin 1999a, Sağlam 2008, Sağlam 2013, Özyazıcı vd. 2015, Dengiz vd. 2015, Çelenk 2016, Özyazıcı vd. 2016, Sünal 2018, Taşdelen 2020) bildirmektedir.

Çizelge 4.1' de pH' nın çalışma alanında varyasyon katsayısı bakımından düşük düzeyde değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Sağlam (2013) yapmış olduğu çalışmada toprak fiziko-kimyasal özellikleri değişkenlik katsayılarına göre değerlendirildiğinde, doymuş hidrolik iletkenliğin en yüksek değişkenliğe (% 124.2)

sahip özellik olduğunu, buna karşın pH' nın ise en düşük değişkenliğe (% 1.64) sahip özellik olduğunu bildirmiştir.

Wilding vd. (1994) ve Mulla ve McBartney (2000) yaptıkları değerlendirmeye göre, çalışma alanında doymuş hidrolik iletkenliğinin yüksek düzeyde değişkenliğe sahip tek toprak özelliği olduğunu, yarayıslı su içeriği, elektriksel iletkenlik ve organik madde orta düzeyde değişkenliğe sahip toprak özellikleri olarak bildirmiştir. Araştırmacılar diğer toprak özelliklerinin alan içerisindeki değişkenliklerinin ise düşük düzeyde olduğuna vurgu yapmışlardır. Tokat Kazova' da toprakların uzaysal değişkenliğinin belirlenmesi için yapılan bir çalışmada Erşahin (1999b), en büyük varyasyon katsayısını KDK için, en küçük varyasyon katsayısını ise pH olarak bildirmiştir. Buna benzer yapılan başka bir çalışmada Corwin ve Lesch (2005) toprakların uzaysal değişkenliğinin araştırdıkları çalışma sonucunda araştırmacılar EC için yüksek, pH için düşük varyasyon katsayısı belirlemişlerdir. Toprakta değişkenliğe neden olan önemli faktörler iklim ve topoğrafyadır. Sıcaklık ve yağış topraklarda bölgesel düzeyde değişkenliğe neden olan iklim faktörleridir. Topoğrafyadaki farklılıklarda topraklarda değişkenliğe neden olmaktadır. Toprak sistemi içerisinde meydana gelen kimyasal ve fiziksel süreçler, hayvan artıkları, sulama suyu ilavesi, gübreleme, toprak işleme gibi tarımsal alanlardaki uygulamalar toprak değişkenliğe neden olmaktadır (Goderya 1998).

Çalışmada sulama suyu kaynağı olarak İkizce Göleti' nden çiftliğine ulaştırılan su kullanılmıştır. Sulama suyunun bazı özelliklerine ilişkin bulgular çizelge 4.5' te verilmiştir. Çalışma alanındaki kullanılan sulama suyu pH_w değerleri 8.40 olup sulama için uygun sulardır. Sulama suyu kalitesini belirleyen parametrelerden biri olan EC, suyun elektriği iletme derecesinin bir ölçüsüdür. EC_w değeri 0.545 dS m^{-1} olup izin verilebilir sınıfına girmektedir. Sulama suyunun SAR değeri 0.98 meq L^{-1} 'dir (Çizelge 4.5). Çalışma alanında kullanılan sulama suyu analiz sonuçlarına ilişkin bulgular çizelge 4.6' dan yararlanılarak değerlendirilmiştir

Çizelge 4.5 Çalışmada kullanılan sulama suyuna ait bazı özellikler

pH _w	EC _w dS m ⁻¹	Kasyon (meq L ⁻¹)				Anyon (meq L ⁻¹)			ESP %	SAR (meq L ⁻¹)
		Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²		
8.40	0.54	1.43	2.2	2.35	0.12	1.92	0.7	1.75	0.19	0.98

EC_w: Sulama suyu elektriksel iletkenliği, ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı

Çizelge 4.6 Sulama suyu kriterleri

pH _w	6.5-8.4	Uygun	Ayers ve Westcot 1985
EC _w , dS m ⁻¹	0.10-0.25	Mükemmel	Richards 1954
	0.25-0.75	İyi	
	0.75-2.25	İzin verilebilir	
	2.25-5.00	Şüpheli	
	>5.00	Uygun değil	
SAR, meq L ⁻¹	<10	Mükemmel	Richards 1954
	10-18	İyi	
	18-26	Şüpheli	
	>26	Uygun değil	
ESP, %	0-20	Mükemmel	Richards 1954
	20-40	İyi	
	40-60	İzin verilebilir	
	60-80	Şüpheli	
	>80	Uygun değil	

EC_w: Sulama suyu elektriksel iletkenliği, ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı

4.2 Çalışma topraklarının çoklu karşılaştırma test sonuçlarının değerlendirilmesi

Çok değişkenli istatistik yöntemleri iki veya daha fazla değişkenin olduğu problemleri aynı anda analiz eden istatistiksel yöntemler olarak kullanılmaktadır (Shaw 2003, Sağlam 2013). Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinde, süreç içerisinde birbirleriyle ilgili olan birden fazla değişken vardır ve değişkenler karşılıklı etkileşim halindedir. Çok değişkenli istatistiği tek değişkenli istatistiksel analizlerden ayıran önemli özellik; tek değişkenli istatistiksel analizlerde veri olarak kabul edilen birçok faktörün çok değişkenli istatistiksel analizlerde birer değişken olarak ele alınmasıdır (Ünlükaptan 2008, Sağlam 2013, Özyazıcı vd. 2015, Sünal 2018). İncelenen değişkenler arasındaki ilişkiler ele alındığında, birçok değişkenin bir veya birden fazla değişken ile

ilişki içerisinde olduğu görülmektedir. Problemin çözümünde bu farklılıkları ele alarak güvenilir istatistiksel çözümlere ulaşmak için çok değişkenli istatistiksel yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir (Sağlam 2013, Sünal 2018).

Varyans analizi, ikiden çok ortalamaların karşılaştırılması durumunda ortalamalar arasında fark olup olmadığını belirlemede fakat farklılığın kaynağını belirleyememektedir. Çoklu karşılaştırma yöntemleri ise üç ya da daha fazla ortalamadan hangisinin daha iyi hangisinin daha kötü olduğunu, ortalamaların etkilerini karşılaştıran karar verme olasılığının kontrol ederek hangi denemenin ne kadar daha iyi ya da ne kadar daha kötü olduğuna karar veren yöntemlerdir (Doğan ve Doğan 2014). Çalışmada değişkenlerin karşılaştırılması ve güvenilir sonuçların elde edilmesinde post-hoc çoklu karşılaştırma yöntemlerinden ‘Tukey’ çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Çalışmalarda Tukey testi varyans analizi sonrası uygulanan çoklu karşılaştırma yöntemleri içerisinde en doğru ve en güçlü testlerden birisi olmakla birlikte ikişerli karşılaştırmalar yapabilmektedir (Hayran ve Özdemir 1996).

Çalışmanın uygulamaların yapıldığı son dönem olan 4. döneminde tuzlu sulamalar sonrasında her bir bağımsız değişkenin, toprak özellikleri üzerindeki etkisine bakmak amacıyla çok değişkenli varyans analizi, Multiple ANOVA (MANOVA) yapılmıştır (Çizelge 4.7.). Elde edilen sonuçlara göre, toprak kimyasal özelliklerinden toprak pH’sı ve suda çözünebilir Mg üzerine SAR düzeyi ve tuz çeşidinin etkisi, suda çözünebilir Na, Ca, Cl ve ekstrakte edilebilir Na ve Ca üzerine tüm değişkenlerin etkisi, EC_e üzerine SAR düzeyi hariç tüm değişkenlerin etkisi önemli bulunurken, yüzde SDA için SAR düzeyi ve SAR düzeyixtuz interaksiyonunun etkisi önemli bulunurlen ($p < 0.05$), GOÇ ve ekstrakte edilebilir K için tüm değişkenlerin etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Yine suda çözünebilir HCO_3 üzerine SAR düzeyi, tuz çeşidi, derinlik değişkenlerinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. İnfiltrasyon hızı üzerine SAR düzeyi, tuz çeşidi ve SAR düzeyixtuz çeşidi interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$)(Çizelge 4.7). Çalışma alanında SAR düzeylerine göre toprak fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerinin ortalamaları arasında önemli bir farkın olup olmadığını anlamak için post-tock Tukey testi yapılmış

olup, incelenen değişkenlerin ortalamaları arasındaki fark 0.05 düzeyinde önemli olduğundan farklı alt gruplara ayrılmıştır.

Tukey test sonuçları her bir SAR düzeyi için incelenen toprak özelliklerinin ortalamalarına göre girdikleri grupları göstermektedir (Çizelge 4.8). Örneğin, SAR düzeyleri için toprak kimyasal özelliklerinden suda çözünabilir Na ve HCO₃ için üç alt grup (a-b-c) oluşmuştur. Buna göre her SAR düzeyi birbirinden farklılık göstermiştir.

Varyans analizi sonrasında ortalamaya etki eden faktörler için yapılan Tukey testi sonuçları çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10' da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; suda çözünabilir Na, Ca, Cl ve HCO₃ için tüm SAR düzeyleri farklı olurken SDA için SAR 20 düzeyi, OAÇ için SAR 40 düzeyi istatistiksel olarak farklılık oluşturmuştur (p<0.05). GOÇ için ise tüm SAR düzeyleri birbirine benzer bulunmuş ve aynı grupta yer almıştır. İnfiltrasyon hızı için tüm SAR düzeyleri istatistiksel olarak üç alt grup (a-b-c) oluşturmuştur.

Literatürlerde sulama sularının Na ve tuzlarını fazla miktarda içermelerinden dolayı sürekli olarak sulamada kullanılmalarının toprakların kalitesini bozduğu belirtilmektedir (Thompson 1991, Amezketa 1999, Tedeschi ve Dell'Aquila 2005, Al-Zu'bi Y 2007, Huang vd. 2011, Askri vd. 2014, Amor vd. 2018). Sulama yapılan topraklarda tuzların yıkanmasını etkileyen faktörler, tuz çeşitlerinin çözünürlüğü, sulama sıklığı, toprak çözeltisi içerisindeki iyonların dağılımı, toprağın tekstürü ve geçirgenliği gibi toprak özellikleridir (Tedeschi ve Dell'Aquila 2005). Mon vd. (2007) Arjantin Pampa şehrinde sulamanın toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini belirledikleri çalışmada, sulama yapılan ve yapılmayan toprakların özelliklerini karşılaştırmışlardır. (Çizelge 4.8). Sulanan topraklarda toprak pH' sının 6.13' den 6.45' e artma gösterdiğini, toprakta EC_e' nin ise uygulamalarda benzer sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar çalışmada EC_e ve toprak pH' sındaki değişimlerin istatistiksel olarak önemli olmadığını tespit etmişlerdir. Kathumo ve Gachene (2012) Kenyada iki farklı su kalitesine sahip sulama sularını uyguladıkları çalışmada kontrol uygulamasına göre Na, SAR ve EC değerlerinde yapılan sulama uygulamalarına göre istatistiksel olarak

farklılıkların önemli olduğunu, toprak pH' sı, Mg, Cl, HCO₃ toprak özelliklerinde istatistiksel olarak önemli bir değişimin olmadığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.7 Çoklu karşılaştırma testi sonucunda toprak özelliklerine ilişkin P değerleri

Değişken		SAR düzeyi	Tuz çeşidi	Derinlik	SAR düzeyi* Tuz çeşidi	SAR düzeyi *Derinlik	Tuz*Derinlik
Toprak özelliği		P	P	P	P	P	P
Suda çözünabilir katyonlar, meq L ⁻¹	Mg	0.00*	0.05	0.45	0.09	0.00*	0.52
	Na	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
	K	0.21	0.00*	0.00*	0.01*	0.25	0.00*
	Ca	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
Suda çözünabilir anyonlar, meq L ⁻¹	HCO ₃	0.00*	0.00*	0.00*	0.25	0.01*	0.06
	Cl	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
Ekstrakte edilebilir katyonlar, meq L ⁻¹	Mg	0.58	0.00*	0.00*	0.31	0.69	0.01*
	Na	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
	K	0.22	0.28	0.38	0.25	0.48	0.13
	Ca	0.01*	0.00*	0.00*	0.00*	0.01*	0.00*
	pH	0.05*	0.00*	0.27	0.43	0.67	0.00*
	EC _e , dS m ⁻¹	0.06	0.00*	0.00*	0.47	0.25	0.00*
	SDA, %	0.00*	0.54	0.31	0.04*	0.01*	0.18
	OAÇ, mm	0.00*	0.24	0.00*	0.6	0.03*	0.00*
	GOÇ, mm	0.75	0.75	0.59	0.75	0.65	0.90
	İH, cm h ⁻¹	0.00*	0.01*		0.00*		

*p<0,05 düzeyinde önemlidir. SDA: Suya dayanıklı agregat yüzdesi, OAÇ: Ortalama ağırlık çapı, GOÇ: Geometrik orta çap, İH: İnfiltrasyon hızı

Elde edilen sonuçlara göre suda çözünabilir Na, Ca, Cl ve HCO₃ için tüm tuz çeşitleri birbirinden farklı grup oluştururken, EC_e ve ekstrakte edilebilir Na için NaCl tuz çeşidi, toprak pH'sı için NaHCO₃ tuz çeşidi, OAÇ için kontrol tuz çeşidi istatistiksel olarak önemli bir grup oluşturmuştur (p<0.05). İnfiltrasyon hızı için kontrol tuz çeşidi ayrı bir grup oluştururken, NaCl ve NaHCO₃ tuz çeşitleri aynı grup içerisinde yer almıştır (Çizelge 4.9). Toprak derinliğinin izlenen toprak özelliklerindeki etkisini gösteren varyans analiz sonuçları çizelge 4.10' da verilmiştir. Suda çözünabilir Na, Ca için tüm toprak derinliklerinin etkisi önemli olurken, suda çözünabilir HCO₃, Cl, EC_e ve ekstrakte edilebilir K için 0-10 cm toprak derinliği istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. SDA, OAÇ ve GOÇ için toprak derinliklerinin etkisi önemli değildir (p<0.05)(Çizelge 4.10). Nidegwa ve Kiiru (2010) Kenya 'da Turkana bölgesinde toprak kalitesi üzerine sulama yapılan ve yapılmayan topraklarda yaptıkları çalışmada sulama

yapılan topraklarda EC' nin özellikle 0-10 cm derinliğinde artma gösterdiğini, alt derinliklerde tuzların etkisinin olmadığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.8 İzlenen toprak özelliklerinde sulama suyu SAR düzeyine göre yapılan Tukey testi sonuçları

	Toprak özellikleri	Kontrol	sig	SAR 20	sig	SAR 40	sig
Suda çözünebilir	Mg	0.08ab	0.22	0.12a	0.18	0.05b	0.22
katyonlar,	Na	5.04c	1.00	16.50b	1.00	23.86a	1.00
meq L ⁻¹	K	0.09a	0.31	0.10a	0.31	0.11a	0.31
	Ca	1.70c	1.00	4.76a	1.00	3.94b	1.00
Suda çözünebilir	HCO ₃	4.23c	1.00	6.00a	1.00	5.54b	1.00
anyonlar,	Cl	3.44c	1.00	16.98b	1.00	22.19a	1.00
meq L ⁻¹							
Ekstrakte	Mg	6.97a	0.19	7.07a	0.19	6.48a	0.19
edilebilir	Na	33.31ab	0.17	49.50a	0.17	27.60b	0.79
katyonlar,	K	4.12a	0.51	5.00a	0.51	4.55a	0.51
meq L ⁻¹	Ca	167.3b	0.27	182.72ab	0.11	202.77a	0.11
	pH	7.87b	0.15	7.89ab	0.15	7.96a	0.19
	EC _e dS m ⁻¹	0.75b	1.00	2.01a	0.99	2.04a	0.99
	SDA, %	74.07a	0.98	69.02b	1.00	73.9a	0.98
	OAÇ, mm	1.80a	0.27	1.76a	0.27	1.47b	1.00
	GOÇ, mm	1.01a	0.89	1.01a	0.89	1.01a	0.89
	İH, cm h ⁻¹	25.46a	1.00	8.65b	1.00	3.86c	1.00

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı satırda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. SDA: Suya dayanıklı agregat yüzdesi, OAÇ: Ortalama ağırlık çapı, GOÇ: Geometrik orta çap, İH: İnfiltrasyon hızı

Çizelge 4.9 İzlenen toprak özelliklerinde sulama suyu tuz çeşidine göre yapılan Tukey testi sonuçları

	Toprak özellikleri	Kontrol	sig	NaCl	sig	NaHCO ₃	sig
Suda çözünebilir kationlar, meq L ⁻¹	Mg	0.08a	0.20	0.10a	0.20	0.07a	0.20
	Na	5.44c	1.00	28.96a	1.00	11.40b	1.00
	K	0.03a	0.27	0.14b	1.00	0.07a	0.27
	Ca	1.70c	1.00	5.33a	1.00	1.37b	1.00
Suda çözünebilir anyonlar, meq L ⁻¹	HCO ₃	4.23c	1.00	4.38b	1.00	6.96a	1.00
	Cl	3.44c	1.00	33.77a	1.00	5.40b	1.00
Ekstrakte edilebilir kationlar, meq L ⁻¹	Mg	6.97a	0.12	6.45a	0.12	7.11a	0.12
	Na	33.31b	0.14	60.67a	1.00	16.43c	0.14
	K	4.12a	0.50	5.00a	0.50	4.55a	0.50
	Ca	167.43b	0.06	194.75a	0.91	190.75ab	0.06
	pH	7.87b	0.08	7.75b	0.08	8.09a	1.00
	EC _e , dS m ⁻¹	0.75b	0.53	3.08a	1.00	1.11b	0.53
	SDA, %	74.07a	0.09	71.82a	0.09	71.10a	0.09
	OAÇ, mm	1.80a	1.00	1.60b	0.59	1.63b	0.58
	GOÇ, mm	1.01a	0.89	1.01a	0.89	1.01a	0.89
	İH, cm h ⁻¹	25.46a	1.00	6.57b	0.77	5.94b	0.77

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı satırda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. SDA: Suya dayanıklı agregat yüzdesi, OAÇ: Ortalama ağırlık çapı, GOÇ: Geometrik orta çap, İH: İnfiltrasyon hızı

Çizelge 4.10 İzlenen toprak özelliklerinde toprak derinliğine göre yapılan Tukey testi sonuçları

Toprak özellikleri		0 -10 cm	sig	10-20 cm	sig	20-30 cm	sig
Suda çözünebilir katyonlar, meq L ⁻¹	Mg	0.09a	0.83	0.08a	0.83	0.09a	0.83
	Na	21.60a	1.00	13.71c	1.00	16.15b	1.00
	K	0.16a	1.00	0.07b	0.87	0.07b	0.87
	Ca	4.83a	1.00	2.11b	1.00	2.11b	1.00
Suda çözünebilir anyonlar, meq L ⁻¹	HCO ₃	5.93a	1.00	5.35b	0.12	5.11b	0.12
	Cl	23.13a	1.00	12.74c	0.68	13.19b	0.68
Ekstrakte edilebilir katyonlar, meq L ⁻¹	Mg	7.03a	0.15	6.44a	0.15	6.98a	0.15
	Na	46.38a	0.11	37.08a	0.11	29.05a	0.11
	K	7.00a	1.00	3.71b	0.79	3.22b	0.79
	Ca	179.62a	0.31	190.17a	0.31	193.26a	0.31
	pH	7.94a	0.19	7.92a	0.19	7.88a	0.19
	EC _e dS m ⁻¹	2.69a	1.00	1.26b	0.91	1.38b	0.91
	SDA, %	72.85a	0.47	71.31a	0.42	72.85a	0.47
OAC, mm	1.57ab	0.58	1.61a	0.58	1.67b	0.94	
GOÇ, mm	1.01a	0.55	1.01a	0.55	1.01a	0.55	

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı satırda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. SDA: Suya dayanıklı agregat yüzdesi, OAC: Ortalama ağırlık çapı, GOÇ: Geometrik orta çap

4.3 Tuzlu Sulama Uygulamalarına Bağlı Olarak EC_e, Toprak pH'sı, Suda Çözünebilir ve Ekstrakte Edilebilir Katyonlar, Suda Çözünebilir Anyonlar, Toprak SAR ve ESP Değerlerindeki Değişimler

Bu bölümde tuz uygulamalarına bağlı olarak ilk olarak sulama sularının SAR düzeylerine göre EC_e ve toprak pH' sı üzerine etkileri açıklanacak daha sonra topraktaki her bir katyon ve anyonun durumu ile SAR ve ESP parametrelerindeki değişimler incelenecektir.

4.3.1 EC_e

Elektriksel iletkenlik, topraktaki tuz miktarını gösteren bir ölçüdür ve toprak tekstürü, kation değişim kapasitesi, drenaj, organik madde miktarı ve bitki verimliliğini etkileyen toprak özellikleri ile ilgili bir parametredir. Topraklardaki tuzluluk, zararlı iyonların aşırı alınımı nedeniyle toprak-su dengesini etkileyerek bitki gelişimi ve verimini olumsuz yönde etkilemektedir.

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak toprakta EC_e ortalamalarının dönemlerdeki değişimi şekil 4.2' de, Tukey çoklu gruplandırılmaları çizelge 4.11' de verilmiştir. Çalışmada tuzlu sulamaların yapıldığı 1, 2 ve 4. dönemlerde hem toprak yüzeyinde hem de yüzey altı derinliklerde EC_e değerlerinin özellikle NaCl' lü suyun kullanılmasıyla, her iki tuz çeşidinde de sulama suyunun SAR düzeylerindeki artışa paralel olarak arttığı belirlenmiştir. Ayrıca 2 ve 3. dönem arasında tuzların üst toprak katmanından alt katmanlara taşındığı, toprakta EC_e değerlerinin düştüğü ve yıkanan tuzların alt derinliklerde biriktiği tespit edilmiştir (Şekil 4.2).

Yaptığımız çalışmada NaHCO₃ tuz uygulamalarındaki toprakta EC_e değerlerindeki artışların NaCl tuz uygulamalarındaki kadar belirgin olmadığı görülmüştür. Başlangıç döneminde ortalama toprakta EC_e değeri 0.60 dS m⁻¹ iken, 4. dönem 0-10 cm toprak derinliğinde NaCl tuz uygulamasının SAR 20 düzeyinde ortalama toprakta EC_e değeri 3.32 dS m⁻¹, SAR 40 düzeyinde ise 5.53 dS m⁻¹ e ulaşmıştır. Yine 4. dönemde 0-10 cm toprak derinliğinde ortalama toprakta EC_e değerlerinin NaHCO₃ tuz uygulamasının SAR 20 düzeyinde 1.40 dS m⁻¹, SAR 40 düzeyinde ise 1.38 dS m⁻¹ olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.2). Çalışmada NaHCO₃ tuz uygulamasının SAR 20 düzeyinde ise 2 ve 4. dönemde toprakta EC_e değerleri artış göstermiştir. Ayrıca 1. dönemde 10-20 cm derinlikte, 3. dönemde ise 10-20 ve 20-30 cm derinliklerde toprakta EC_e değerlerinde artış olduğu görülmektedir. NaHCO₃ tuz uygulamasının SAR 40 düzeyinde ise, başlangıç dönemine göre 1, 2 ve 4. dönemlerde toprakta EC_e değerlerinin artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.2). Ancak toprakta EC_e değerlerinde görülen bu

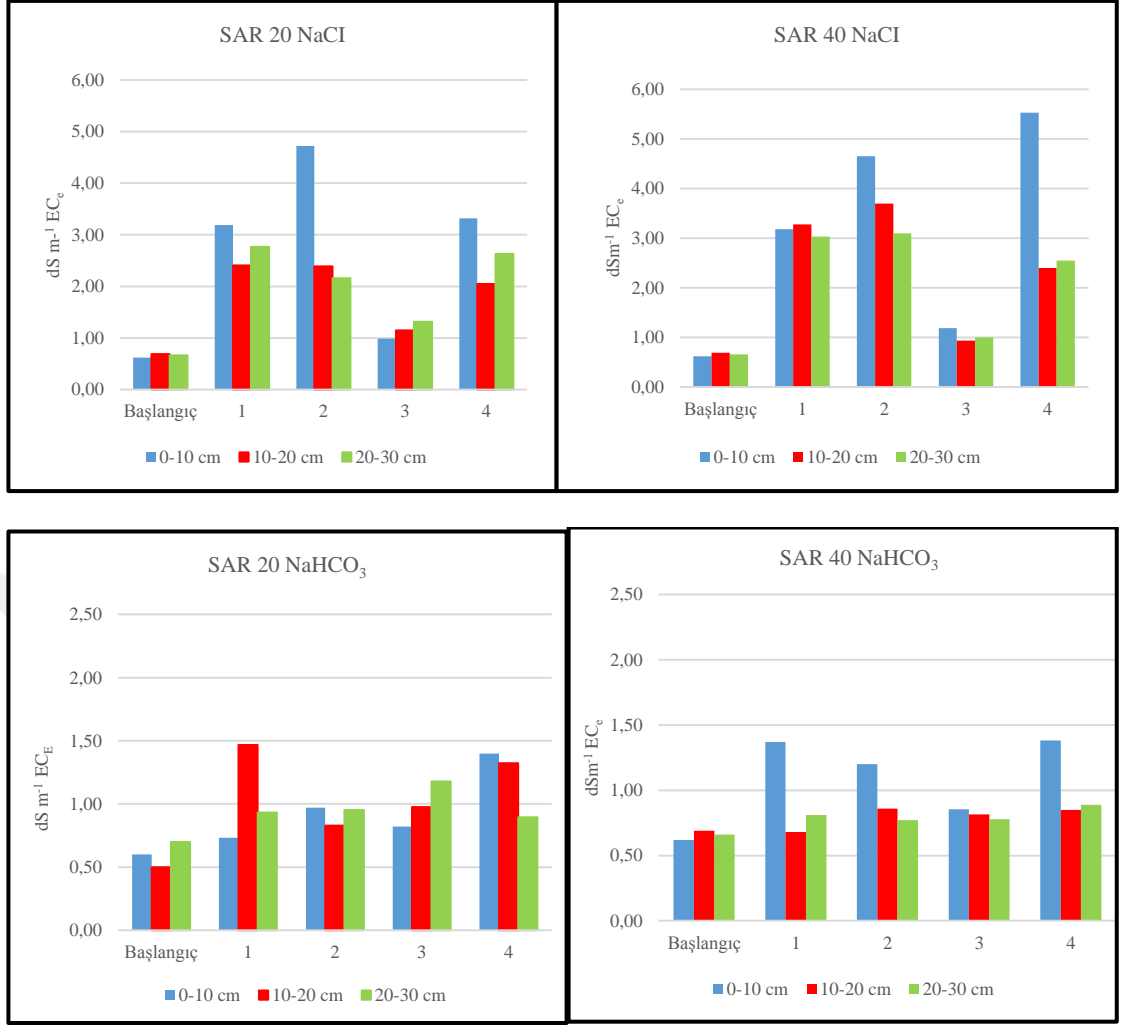
artışlar istatistiksel olarak dönemler arasında önemli bulunmamıştır ($p>0.05$) (Çizelge 4.11).

Bir çözeltilerdeki toplam tuz konsantrasyonu ile çözeltilerin elektriksel iletkenliği arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Richards 1954, Esehie 1994). Bundan dolayı Na içeren sulama sularının uygulamaları sonrasında tuz konsantrasyonuna bağlı olarak özellikle NaCl tuzu içeren sulama suyu uygulamalarının SAR 40 düzeyinde istatistiksel olarak önemli farklıklar bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.9). Bu farklılığın nedenleri olarak tuz uygulamaları ile toprağa devamlı tuz ilavesinin olması ve NaCl tuz çeşidinin sudaki çözünürlüğünün yüksek olması söylenebilir. Hammade ve Sulieman (2020) farklı oranlarda NaCl tuz çeşidi ile hazırlanan sulama sularını kullandıkları çalışmalarında kontrol uygulamasında toprakta EC_e değerinin 0.96 dS m^{-1} den, en yüksek tuz uygulamasında 7.9 dS m^{-1} e yükseldiğini belirtmişlerdir. Meiri ve Plaut (1985), sulamada kullanılan suların etkisiyle belirli miktardaki tuzun bitki kök bölgesine iletilmediğini, kış yağışlarının yetersiz veya yıkama yapılmadığı takdirde zamanla profilde tuz birikmesi olacağını ve toprak tuzluluğunu etkileyen asıl etmenin sulama ile toprağa verilen tuz miktarının olduğunu bildirmişlerdir. Rana vd. (2010) Hindistan Haryana’da yapılan çalışmada uzun süre tarım arazilerinde kanal suyu kullanmışlar ve toprakta EC_e değerlerinin 0.99 dS m^{-1} den 1.65 dS m^{-1} ye kadar farklılaştığını tespit etmişlerdir. Avcı (2018), lizimetre koşullarında farklı kalitedeki sulama sularının kullanılmasının toprak tuzluluğuna etkilerini izlediği çalışmasında, farklı zamanlarda tuzlu sular kullanmış ve devam eden sulamalar neticesinde toprak profilindeki tuzluluğun zaman içerisinde arttığını ve yapılan yıkamalarla üst topraktaki tuzların sürekli alt toprağa doğru taşındığını ifade etmiştir. Literatürde sulama suyuna bağlı olarak topraklarda tuz birikiminin olacağına dair çalışmamızla benzer sonuçlar veren çalışmalar mevcuttur (Mostafazadeh-Fard vd. 2007, Rana vd. 2010, Alsadon vd. 2013, Li vd. 2014, Hasan vd. 2015, Tunç ve Şahin 2015, Üzen 2015, Karakoç 2016, Liu vd. 2016, Abu-Alrub vd. 2018, Bouaroudj vd. 2019).

Toprak yüzeyinden profilin alt katmanlarına doğru yıkanan tuzların ve kirecin biriktiği derinlik, tuzların çözünürlüğü ve iyonların dağılımı, toprağın su tutma kapasitesine, toprak tekstürüne, geçirgenliğe ve toprak içine sızan su miktarına bağlıdır (Amit vd. 2010). Çalışmanın 3. döneminde ise biriken tuzların yüzeyden itibaren tüm derinliklerde

yıkandığı ve toprağın EC_e değerlerinin düştüğü görülmektedir (Şekil 4.2). Çalışmanın yapıldığı bölgede yağışların büyük kısmının kış ve ilkbahar mevsimlerinde düştüğü görülmektedir (Çizelge 3.2). Dolayısıyla bu dönemlerde, yüzeyde biriken tuzlar yağışlarla profilin alt derinliklerine kadar yıkanması mümkündür. Bouaroudj vd. (2019) yaptıkları çalışmada kış boyunca yağışlardan ve düşük sıcaklıklardan dolayı kış mevsimi ile karşılaştırıldığında yaz mevsiminde toprakta tuz birikiminin daha fazla olduğunu vurgulamışlardır. Belaid vd. (2010) sulama yapılan topraklarda tuzluluğun artmasının nedenlerini tuz içeriği yüksek sulama sularının kullanılması ve yaz aylarında görülen evaporasyonun olabileceğini belirtmişlerdir.

Yapılan birçok çalışmada sulama yapılan bölgelerde sulama mevsimi boyunca toprakta tuz içeriğinin arttığı, kış ve ilkbahar döneminde ise yağışların yıkama etkisinden dolayı tuzluluğun azalabileceği rapor edilmiştir (Yurtseven ve Güngör 1990, Yurtseven ve Sönmez 1996, Pilatti vd. 2006, Torres Duggan vd. 2012, Yurtseven vd. 2012, Alsdon vd. 2013, Wang vd. 2011, Wang vd. 2015, Liu vd. 2016, Abu-Alrub vd. 2018, Taşan 2018, Pessoa vd. 2019). Yaptığımız bu çalışmada kullanılan sulama suyunun tuzluluğu ve tuz çeşidine bağlı olarak tuz birikiminde farklılıklar olmuştur. $NaHCO_3$ tuz çeşidinin sudaki çözünürlüğünün $NaCl$ tuz çeşidine göre daha düşük olması bu sonucun çıkmasına neden olmuştur. Ayrıca $NaHCO_3$ sulama konularında tuz çeşidinin çözünürlüğünün az olmasından dolayı tuzlar alt derinliklere ulaşamamıştır (Şekil 4.2). Çözünebilir tuzların toprağa olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan araştırmalarda, sulama sularının tuz düzeyininin ayarlanmasında çözünürlüğü yüksek ($NaCl$, $MgCl_2$, $CaCl_2$ gibi) olan tuzlar kullanılmaktadır. Kullanılan tuzların bu tuzların sudaki çözünürlüklerinin birbirlerinden farklı olmaları toprak çözeltisine karışabilme oranlarını etkilediğinden toprak tuzluluğuna olan etkileri de değişmektedir (Karakoç ve Kale 2016). Çözünme oranları yüksek olan tuzlar hızlı ve kolay çözünmelerinden dolayı toprak çözeltisine hemen karışmaktadır. Bu durum yüksek çözünürlükte olan bu tuzların, sudaki çözünme oranları düşük olan tuzlara göre toprak tuzluluğuna olan etkileri yönünden farklılıklar göstermesine neden olmaktadır (Van Hoorn ve Van Alpen 1990). $NaCl$ tuzunun $20^\circ C$ ' de çözünürlüğü $29.4 \text{ g}/100\text{g H}_2\text{O}$ iken, $NaHCO_3$ tuzunun ise $8.4 \text{ g}/100\text{g H}_2\text{O}$ ' dır (Munsuz vd. 2001).



Şekil 4.2 EC_e' nin sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.11 EC_e ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: dS m⁻¹)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	0.62b±0.01	0.58b±0.06	0.66a±0.07	Başlangıç	0.62a±0.01	0.58a±0.06	0.66b±0.07
1	3.19a±0.12	2.41a±0.34	2.77c±0.26	1	3.17bc±0.20	3.28bc±0.36	3.03a±0.31
2	4.72a±0.61	2.39b±0.45	2.16bc±0.28	2	4.65cd±0.86	3.70c±0.19	3.10a±0.12
3	0.99b±0.05	1.15ab±0.20	1.32ab±0.13	3	1.19ab±0.09	0.94a±0.15	1.00b±0.08
4	3.32a±0.53	2.05ab±0.43	2.63c±0.40	4	5.53d±0.38	2.40bc±0.26	2.55a±0.15
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0- 10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	0.62b±0.01	0.58b±0.06	0.66a±0.07	Başlangıç	0.62b±0.01	0.58a±0.06	0.66a±0.07
1	0.73b±0.14	1.73a±0.45	0.77a±0.04	1	1.37a±0.15	0.68a±0.05	0.81a±0.04
2	0.97ab±0.05	0.67ab±0.13	0.65a±0.05	2	1.20a±0.23	0.86a±0.05	0.77a±0.07
3	0.95ab±0.10	0.78ab±0.04	0.83a±0.07	3	0.89ab±0.08	0.82a±0.07	0.78a±0.17
4	1.40a±0.21	1.55a±0.06	0.89a±0.18	4	1.38a±0.01	0.85a±0.10	0.85a±0.06

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4:Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir.

4.3.2 Toprak pH' sı

Çalışma alanındaki uygulamalara bağlı olarak toprakta pH ortalamalarının dönemlerdeki değişimi şekil 4.3' te, Tukey çoklu gruplandırmaları çizelge 4.12' de verilmiştir. Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde toprak pH' sının 2. dönem sonuna kadar önemli olarak artmadığı, hatta 2. dönem süresince sadece SAR 20 düzeyinde önemli olarak azaldığı ve sulama öncesi döneme benzer sonuçların olduğu, sadece kış yağışlarından sonraki 3. dönemden itibaren toprak pH' sının artmaya başladığı görülmektedir (Şekil 4.3).

Başlangıçta toprak pH' sı 7.55 iken NaCl tuz uygulamalarında 3 ve 4. dönemde toprak pH' sı 8.0' i aşmıştır. NaHCO₃ tuz uygulamalarının toprak pH değerleri ise 1 ve 2. dönemin sonuna kadar değişmemiş, 3. dönemle birlikte her iki SAR düzeyinde özellikle SAR 40 düzeyinde artma olmuştur. SAR 40 düzeyindeki bu artış 1. dönemden itibaren başlamış ve 4. dönemde toprakta pH 8.28' e ulaşmıştır (Şekil 4.3). Çalışmamızda NaCl tuz çeşidinin toprak pH üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$)(Çizelge 4.9). Bu durum toprakların tamponlama özelliklerinden dolayı, Na' un etkisini geç göstermesi ve ortamdaki Na iyonlarının Ca iyonlarını yıkaması ile açıklanabilir. Üçüncü dönemde toprakta pH' sının artmasının nedeni olarak kış yağışları ile katyonların daha fazla yıkanmış olması ve toprakta Na katyonların suyla hidrolizinden sonra OH⁻ iyonunun serbest hale geçmesi söylenebilir. Aynı zamanda toprakta pH' sının tamponlama etkisinden dolayı gösteremediği artışı 3. dönemde ortaya çıkarmıştır. Bu sonuç istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.12).

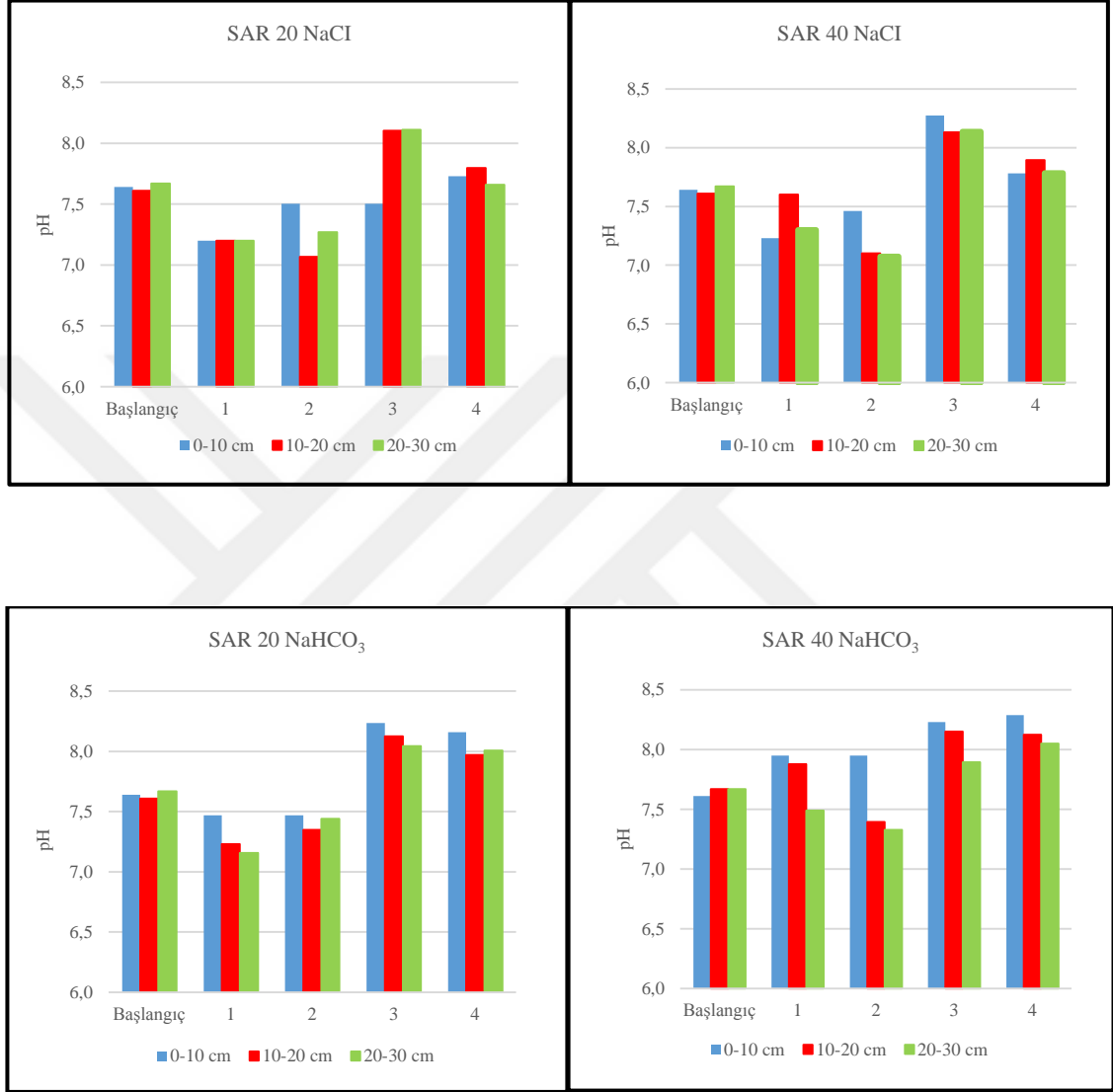
Çalışmada alınan sonuca benzer şekilde Coleman ve Mehlich (1957)' a göre Na iyonunun suda hidrolizinden sonra açığa çıkan OH⁻ iyonları, toprak pH' sını arttırmaktadır. Haj-Amor vd. (2018) ise üç yıl süren çalışmalarında üç derinlik için 0-30, 30-60 ve 60-90 cm) sulama öncesinde 7.2-6.9 olan arasında olan toprak pH değerlerinin, sulama sonrası 6.5-6.1 arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Sreenivas (2008) yapmış olduğu çalışmasında saturasyon ekstraktının tuzluluğu ile toprak pH değerleri arasında negatif bir korelasyon olduğunu, sulama suyundaki NaCl tuz konsantrasyonunun yüksek olmasının toprak pH' sını yükseltmediğini bildirmiştir.

Bouaroudj vd. (2019) yaptıkları çalışmada toprak pH' sı ile sulama suyu Na konsantrasyonu arasında önemli bir ilişki olduğunu ve sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak toprak pH' sının yükseldiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar aynı çalışmada kış boyunca yağışlardan ve düşük sıcaklıklardan dolayı, kış mevsimi ile karşılaştırıldığında yaz mevsiminde toprakta tuz birikiminin daha fazla olduğu vurgulanmışlardır. Literatürlerde sulama yapılması ile toprakların pH' sının arttığı bildirilmiştir (Hassanlı vd. 2008, Torchouna vd. 2010). Çalışmalarda araştırmacılar toprak pH' sındaki bu artmanın nedenini; OH⁻ iyonlarının açığa çıkması ile denitrifikasyonun artması ve sulama suyunun Na, Ca ve Mg gibi temel katyonları yüksek oranda içermesi ile amonyumun nitfikasyonuna bağlamışlardır.

Çalışmada NaHCO₃ tuz uygulamalarının toprak pH' sının 1 ve 2. dönem sonuna kadar değişmediği, 3. dönemle birlikte her iki SAR düzeyinde özellikle SAR 40 düzeyinde artma olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.3). Toprak pH' sının uygulamalar arasında dönemsel olarak değişimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.12). Sulama suları SAR düzeylerindeki artışa bağlı olarak toprakta pH' sındaki bu değişimin NaCl tuz uygulamalarında belirgin olmadığı görülmüştür. Pessoa vd. (2019) kum ve siltli tın bünyeye sahip topraklarda farklı tuz seviyeleri ve farklı tuz çeşitleri ile hazırlanan sular ile yaptıkları çalışmalarında sulamalar sonrasında Cl içeren tuzların kullanılması ile sulama suyu tuzluluğunun arttığını, kum topraklarda ise ortamdaki suda çözünebilir Cl konsantrasyonunun CO₃ ve HCO₃ iyonlarına göre yüksek olmasından dolayı toprak ekstraktında pH' yı düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Araştırmacılar aynı çalışmada siltli tın topraklarda toprak pH' sının başlangıç toprağına göre bir miktar artmış olmasına rağmen bu artışın istatistiksel olarak topraklar arasında fark oluşturmadığını belirtmişlerdir. Buna ek olarak Weil ve Brady (2016) yapmış oldukları çalışma sonucunda CaCl₂ tuz içeren suların kullanılmasıyla toprak suyunda H⁺ iyonlarının arttığını ve buna bağlı olarak toprak ekstraktında pH' nın düştüğünü belirtmişlerdir.

Üçüncü dönemde özellikle NaHCO₃ tuzu uygulamalarında toprak pH' sının artmasının nedeni kış yağışları ile çözünebilir tuzların toprak profilinden aşağıya doğru yıkandıktan sonra değişebilir haldeki Na' un hidrolize olması, NaOH (sodyum hidroksit) oluşturması

ve oluşan NaOH' un havadan absorbe edilen veya mikroorganizmalar tarafından üretilen CO₂ (karbondioksit) ile tepkimeye girerek Na₂CO₃ (Sodyum karbonat)' lara dönüşmesi ve sulama suyundaki yüksek bikarbonattır. Gupta vd. (1984), toprağın kation değişim dengesine CaCO₃ ve hümik maddenin etkisini değerlendirmek için yaptıkları laboratuvar çalışmasında, alkali topraklarda sulama suyundaki NaHCO₃' ın varlığından dolayı tuzluluğun artmasına bağlı olarak toprak pH' sının arttığını bildirmişlerdir. Qian ve Mecham (2005), golf sahası geçiş yollarına geri dönüşümlü atık suların kullanılmasının toprak özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmada, toprak pH' sındaki 0.2 ünitelik artışın sulama suyundaki yüksek bikarbonattan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Sağlam vd. (2014), Bafra ve Çarşamba delta ovalarını içine alan alüvyal alanlarda yaptıkları çalışmalarında yüksek alkalilik oluşturan değerlerin sulamadan kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar topraklarda alkaliliğin insan kaynaklı nedenlerle ortaya çıkabileceği gibi doğal süreçlerle de meydana gelebildiğini, doğal gelişen alkaliliğin, genelde ayrışma sonucunda NaCO₃ meydana getiren toprak minerallerinin varlığı nedeniyle oluştuğunu, insan kaynaklı alkaliliğin ise nispeten yüksek miktarlarda NaHCO₃ içeren yüzey veya yeraltı sularının sulamada kullanılmasıyla meydana geldiğini vurgulamışlardır. Yine Costa vd. (2015), yüksek NaHCO₃ tuzu içeriğine sahip sulama sularını kullandıkları çalışmada, sulama yapılan bölgelerde sulama öncesi toprak pH' sının 5.42 iken, sulama sonrası 6.08' e yükseldiğini ve bu değişimin uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli olduğunu tespit etmişlerdir (p<0.05). Pondkule ve Jadhan (2019) ise Hindistan'da yaptıkları çalışmada bir yıl boyunca sulama öncesi ve sulama sonrası alınan toprak örneklerinde bazı toprak özelliklerinin değişimini ortaya koymuşlar ve sulama öncesi toprak ekstraktında pH' nın 8.65 ile 8.94 arasında değiştiğini sulama sonrasında ise 8.76 ile 8.96 arasında değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar toprak pH' sındaki bu değişimin, toprak suyundaki HCO₃ iyonunun baskın olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.



Şekil 4.3 Toprak pH' sının sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.12 Toprakta pH' sının ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	7.55ab±0.38	7.53ab±0.13	7.61ab±0.13	Başlangıç	7.55a±0.22	7.53b±0.13	7.61b±0.13
1	7.50ab±0.27	7.23a±0.14	7.15a±0.15	1	7.46a±0.10	7.60b±0.03	7.30ab±0.12
2	7.16a±0.44	7.06a±0.12	7.27ab±0.08	2	7.12a±0.09	7.05a±0.10	7.07a±0.10
3	8.20b±0.11	8.10c±0.08	8.11c±0.02	3	8.27ab±0.14	8.13c±0.13	8.13c±0.06
4	7.73ab±0.20	7.79bc±0.07	7.66bc±0.07	4	7.65b±0.27	7.89bc±0.03	7.78bc±0.06
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	7.55a±0.20	7.53a±0.13	7.61ab±0.13	Başlangıç	7.55a±0.22	7.53ab±0.13	7.61ab±0.13
1	7.47a±0.11	7.44a±0.06	7.33a±0.05	1	7.97ab±0.07	7.87bc±0.05	7.69a±0.02
2	7.57ab±0.09	7.35a±0.03	7.44s±0.11	2	7.60ab±0.16	7.39a±0.06	7.32a±0.10
3	8.23c±0.07	8.12b±0.04	8.0b±0.14	3	8.23b±0.01	8.15c±0.05	7.89bc±0.01
4	8.16bc±0.06	7.97b±0.08	8.00b±0.04	4	8.28b±0.11	8.12c±0.02	8.05c±0.06

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir.

4.3.3 Toprakta katyonların değişimi

4.3.3.1 Suda çözünebilir Na

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak suda çözünebilir Na ortalamalarının dönemlerdeki değişimi şekil 4.4' de, Tukey çoklu gruplandırmaları çizelge 4.13' de verilmiştir. Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde toprakta suda çözünebilir Na' un 2. dönem sonuna kadar önemli olarak arttığı, hatta 2. dönem süresince bu artışın SAR 40 düzeyinde daha fazla olduğu, kış yağışlarından sonraki 3. dönemde toprakta suda çözünebilir Na konsantrasyonunun azaldığı ve 4. dönemden itibaren tekrar suda çözünebilir Na konsantrasyonunda artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.4). Bu artışlar toprak örnekleme dönemleri arasında

istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşturmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.13). Başlangıçta toprakta suda çözünebilir Na konsantrasyonu 0-10 cm toprak derinliğinde 2.26 meq L^{-1} iken, 2. dönem sonunda NaCl tuz uygulamasının SAR 20 düzeyinde 22.16 meq L^{-1} , SAR 40 düzeyinde ise 26.17 meq L^{-1} ye ulaşmıştır. Üçüncü dönemde ise toprakta suda çözünebilir Na konsantrasyonu, 0-10 cm toprak derinliğinde NaCl tuz uygulamasının SAR 20 düzeyinde 10.78 meq L^{-1} , SAR 40 düzeyinde ise 15.30 meq L^{-1} ye düşmüştür (Şekil 4.4). Bu düşme istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.13). Ayrıca NaCl tuz uygulamalarında tuz uygulamasının yapıldığı 1, 2 ve 4. dönemlerde tuzların 10-20 cm ve 20-30 cm derinliğe kadar ulaştığı ve bu derinliklerde tuz birikiminin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4).

Çalışmada NaHCO_3 tuz uygulamalarının her iki düzeyinde toprakta suda çözünebilir Na konsantrasyonu 1 ve 2. dönem sonuna kadar artmış, SAR 20 düzeyinde ise 3 ve 4. dönemde 2. döneme benzer sonuçlar alınmıştır. Üçüncü dönemde SAR 40 düzeyinde 2. döneme benzer sonuçlar alınırken, 4. dönemde toprakta suda çözünebilir Na konsantrasyonu tekrar artma göstermiştir (Şekil 4.4). Ayrıca NaHCO_3 tuz uygulamalarında 10-20 ve 20-30 cm derinliklerde 2. dönemin sonunda ciddi bir tuz birikiminden bahsedilebilir. NaHCO_3 tuz uygulamalarında toprakta suda çözünebilir Na' un dönemlerdeki ortalamalarının farklılığı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.13).

Çalışmada toprak profilindeki tuz birikimi, sulama suyundaki artan tuzluluk düzeyine bağlı olarak artmış ve toprak katmanlarındaki tuz birikiminde farklılıklar meydana gelmiştir. Buna göre, bitki kök bölgesindeki tuz birikimi toprak derinliğine göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.4). Bunun nedeni olarak, Na içeren sulama sularının tuzluluğu ile tuz uygulamalarının yapıldığı 1 ve 2. dönemlerde ile toprakta EC_e ' nin artması ve kış yağışlarından dolayı ise topraktan suda çözünebilir Na' un yıkanmış olabileceği söylenebilir. Aynı zamanda toprakta suda çözünebilir Na konsantrasyonunun diğer katyonlara göre yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ise sulamada kullanılan suların Na içeren tuz içermesidir. Yapılan bazı çalışmalarda tuzdan etkilenen topraklarda toprak suyundaki katyonların konsantrasyonunun $Na > Ca > Mg > K$ olduğuna dair çalışmalar bulunmaktadır (Melo vd. 2008, Santos vd. 2013, Rodrigues vd. 2018, Pessoa vd. 2019). Sulama suyunda bulunan Na iyonunun Ca ve Mg' a oranla fazla olması durumunda alkalilik koşullarının oluşması nedeniyle sulama suyunun kalitesi düşmektedir. Ayrıca sulama suyu içerisindeki mevcut çözünebilir tuz miktarının fazlalığı tuzların toprakta birikmesine sebep olmaktadır (Kızılkaya 1988, Kanber 1992). Sulama suyundaki tuzların toprakta Na içeriğini arttırması ile ilgili benzer çalışmalar bulunmaktadır (Alsadon vd. 2013, Liu vd. 2016, Abu-Alrub vd. 2018, Pessoa vd. 2019).

Çalışılan bölgenin kurak olması nedeniyle sulamaların yapıldığı yaz döneminde evaporasyondan dolayı tuzların özellikle yüzey toprağında biriktiği ve değişimin burada olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.4). Zaten çalışmada sular tarla kapasitesinin % 10 fazlası verilerek tuzların 0-20 cm toprak profilinde kalması ve toprağa olan etkilerinin belirlenmesi amaçlandığı için bu durumun çıkması muhtemeldir. Benzer olarak Zhang vd. (2018) tuzdan etkilenen alandaki toprakların ıslahı ile ilgili yaptıkları çalışmada, ıslah öncesi toprağın 0-20 cm derinliğinde Na içeriğini 123.5 meq L^{-1} , EC_e değerini 18.7 dS m^{-1} , SAR değerini ise 35.4 olarak belirlemişler ve derinliğe bağlı olarak azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Benzer sonuçların alındığı Louati vd. (2018) Doğu Tunus' ta tuzlu sulama sularının toprak tuzluluğuna etkilerini araştırdıkları çalışmasında sulama sularının yüksek SAR oranlarından dolayı derinliğe bağlı olarak toprakta suda çözünebilir Na içeriğinin azaldığını, bunun nedeni de toprak çözültisi ve toprak değişim kompleksi arasındaki etkileşim olarak rapor etmişlerdir. Sulama sularındaki tuzların

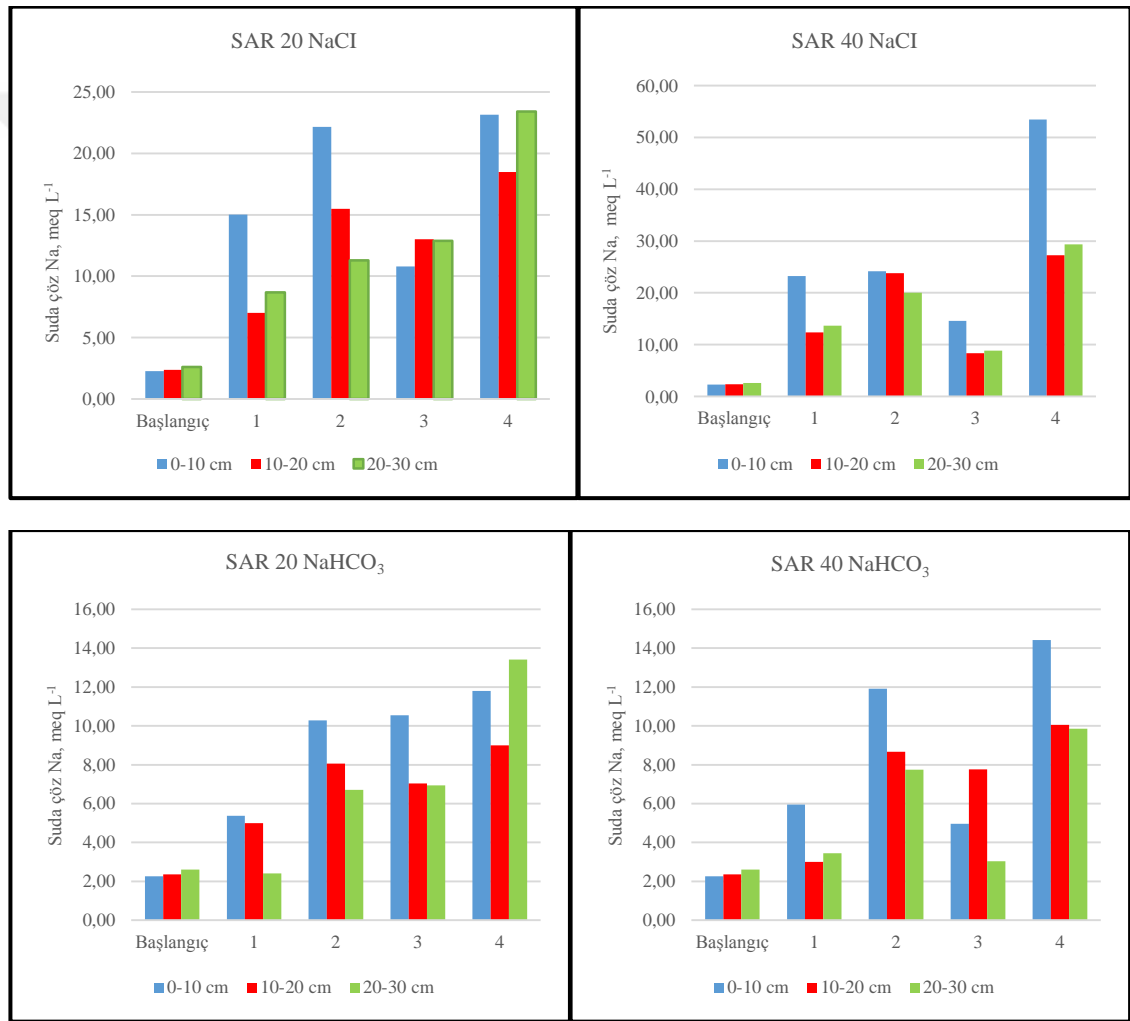
konsantrasyonu arttığında özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde Na bağılı olarak toprak tuzluluğunu artırmaktadır (Akhter vd. 2004, Qadir vd. 2004, Qadir vd. 2007, Ouni vd. 2013, Singh vd. 2013, Wichelns ve Qadir 2015, Zewdu vd. 2015, Ranjbal ve Jajali 2016).

Toprakta EC_e topraktaki çözünebilir tuzların konsantrasyonunu göstermektedir (Heidarpour vd. 2007). Yapılan bir çalışmada Asadbegi vd. (2019) üç farklı tuz düzeyinde hazırlanan sulama suları ile yapılan 1.5 yıl süren sulama döneminde başlangıca göre toprakta EC_e değerinin 7.0 dS m^{-1} e yükseldiğini ve Na konsantrasyonunun ise % 21.6 arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar toprakta EC' nin artışı ile suda çözünebilir Na 'un arttığını ve aralarında pozitif bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde EC_e ile suda çözünebilir Na arasında ilişkinin yüksek olduğuna dair çalışmalar mevcuttur (Bilgili 2013, Rodrigues vd. 2018).

Çalışmamızda farklı SAR düzeyine sahip Na tuzu içeren sulamalarla ortama giren Na iyonu Ca iyonu ile yer değiştirmiş ve yıkanan Ca iyonu aşağı derinliklerde birikme göstermiştir (Şekil 4.4). Kurak ve yarı kurak iklimin görüldüğü topraklarda Na, miktar ve diğer katyonlara göre baskın durumdadır. Bu bölgelerde Ca ve Mg tuzlarının ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $CaSO_4$) çözünlükleri sona erdiğinde çökeller ve ortamda Na' un oransal olarak artışı görülür (Richards 1954). Shaki ve Adeloje (2006) yaptıkları çalışmalarında sulama suyundaki Na konsantrasyonunun artması sonucunda toprakta Ca ve Mg iyonları ile yer değiştirdiğini ve toprak geçirgenliğini azalttığını bildirmişlerdir.

Çalışmamızda tuzlu sulama sularının verildiği 1, 2 ve 4. dönemde $NaHCO_3$ tuz uygulamalarında toprakta suda çözünebilir Na içeriğindeki artışın, NaCl tuz uygulamalarına göre daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.4). Bu durum tuz çeşitlerinin sudaki çözünlüklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Jalali vd. (2007) çalışmaları alanda kullandıkları sulama sularının çözünlüğünü 100 mg L^{-1} den düşük olan sular ($CaCO_3$ ve $NaHCO_3$ tuzu gibi) ve yüksek çözünlüğe sahip olan $NaSO_4$ ve NaCl tuzları olarak iki sınıfa ayırmışlardır.

Çalışmada her iki tuz çeşidinde de 3. dönemde toprakta suda çözünebilir Na' un düşmesinin sebebi ise kış boyunca yağışlardan dolayı Na tuzlarının yıkanmasıdır. Kurak bölgelerde yüksek evaporasyondan dolayı toprak çözeltisinde suda çözünebilir Na konsantrasyonu Ca ve Mg' a göre artış gösterir. Toprak suyundaki çözünebilir Na' un artması ile Ca ve Mg çökelirler ve ortamdaki konsantrasyonları düşer. Çözünebilir tuzların konsantrasyonları aşıldınca yağışlar ve sulamalarla toprağın alt derinliklerine doğru yıkanır (Hollanda vd. 1998). Yağışlar tuzların toprak profilinde alt derinliklerine doğru yıkanmasına neden olmaktadır (Moreira Barradas vd. 2015).



Şekil 4.4 Toprakta suda çözünebilir Na' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.13 Toprakta suda çözünebilir Na' un ortalamalarına ait çoklu gruplandırmaları (birimi: meq L⁻¹)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	2.26a±0.24	2.36a±0.50	2.60a±0.17	Başlangıç	2.26a±0.24	2.36a±0.50	2.60a±0.17
1	15.02c±0.21	7.00b±0.11	8.67b±0.04	1	23.22c±0.15	12.35c±0.20	13.63c±0.08
2	22.16d±0.10	15.48c±0.42	11.30c±0.46	2	26.17d±0.27	23.82d±0.32	20.00d±0.17
3	10.78b±0.20	13.02c±1.06	12.89c±0.23	3	15.30b±0.41	8.37b±0.11	8.81b±0.35
4	23.16d±0.45	18.49d±0.52	23.42d±0.75	4	53.45e±0.95	26.13d±1.59	29.11e±0.64

SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	fc0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	2.26a±0.24	2.36a±0.50	2.60a±0.17	Başlangıç	2.26a±0.24	2.36a±0.50	2.60a±0.17
1	5.37b±0.08	4.99b±0.34	2.40a±0.14	1	5.95b±0.32	3.00a±1.03	3.45b±0.02
2	10.28c±0.03	8.06cd±0.36	6.70b±0.17	2	11.91cd±0.30	8.67bc±0.06	7.75c±0.14
3	10.54c±0.60	7.04c±0.17	6.93b±0.53	3	10.43c±0.42	7.76b±0.11	3.04ab±0.02
4	11.60c±0.17	9.00d±0.43	13.47c±0.03	4	14.42d±0.79	10.5c±0.26	9.86d±0.24

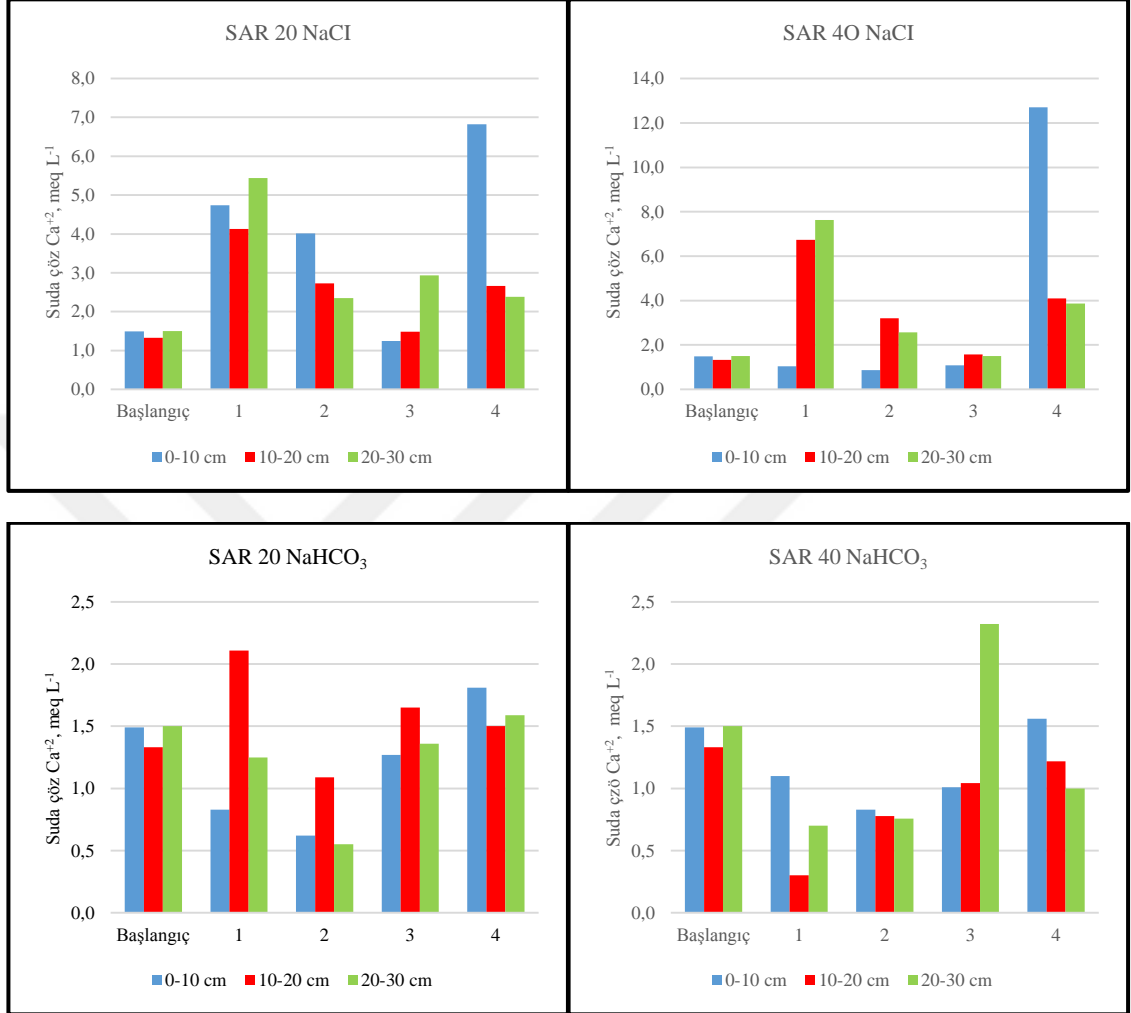
Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.3.3.2 Suda çözünebilir Ca

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak suda çözünebilir Ca ortalamalarının dönemlerdeki değişimi şekil 4.5’ te, Tukey çoklu gruplandırmaları çizelge 4.14’ de verilmiştir. Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının SAR 20 düzeyinde tuz uygulaması yapılan 1, 2 ve 4. dönemlerde toprakta suda çözünebilir Ca konsantrasyonu artmıştır. SAR 40 düzeyinde ise 4. dönemde tuz uygulamalarında en yüksek suda çözünebilir Ca konsantrasyonu 12.16 meq L⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Kış yağışlarından sonraki 3. dönemde ise başlangıç toprağına benzer sonuçlar alınmıştır (Şekil 4.5). Bu artışlar toprak örneklerinin alındığı dönemler arasında önemli farklılıklar oluşturmuştur (Çizelge 4.14). Başlangıçta toprakta suda çözünebilir Ca konsantrasyonu 0-10 cm toprak derinliğinde 1.49 meq L⁻¹ iken, 4. dönem sonunda NaCl sulama konularının SAR 20 düzeyinde 6.82 meq L⁻¹, SAR 40 düzeyinde ise 12.16 meq L⁻¹, ye ulaşmıştır (Şekil 4.5).

Çalışma NaHCO₃ tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde toprakta suda çözünebilir Ca konsantrasyonu 1 ve 2. dönem sonuna kadar azalmış, 3. dönemde ise toprakta suda çözünebilir Ca konsantrasyonu ilk iki döneme göre birazda olsa artsa da 4. dönemde toprakta suda çözünebilir Ca konsantrasyonu için başlangıç toprağına benzer sonuçlar alınmıştır (Şekil 4.5). NaHCO₃ tuz uygulamalarında toprakta suda çözünebilir Ca’ un dönemlerdeki farklılıkları istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.14). Puntamkar vd. (1988) sodyumlu topraklardan farklı olarak tuzlu topraklarda, tuz konsantrasyonu arttıkça Ca konsantrasyonunda artma olduğunu belirtmişlerdir. Ribeiro (2010), kurak bölgelerde suda çözünebilir Na konsantrasyonu artar ve Ca ve Mg çökeler ve bu durumun devam etmesi durumunda değişim yüzeylelerinde Ca ve Mg iyon seçiciliğinin düşük olmasından dolayı konsantrasyonları düşer. Pessoa vd. (2018) yaptığı çalışmada en yüksek toprak EC_e değerine sahip sulama suyunun kullanıldığı durumda değişebilir Ca konsantrasyonunun yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca araştırmacılar sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak değişebilir Na ve ESP değerlerinin arttığını vurgulamışlardır.

Tuz uygulamalarının yapıldığı dönemlerde NaCl tuz uygulamasının SAR 20 düzeyinde toprak tuzluluğu fazladır ve Na ile tam doygun halde değildir. Bu koşullarda Ca iki değerlikli olmaları nedeniyle toprakta tutulmaktadır. NaCl tuzunun SAR 40 düzeyinde ise artan Na konsantrasyonuna bağlı olarak toprak Na ile doygun hale gelmiş ve tuz uygulamalarının başlamasıyla Na ile Ca iyonunu yer değişiminden dolayı suda çözünebilir Ca konsantrasyonunun yüzeyle başlangıca göre azalma göstermiş, alt derinliklerde ise bir birikme olduğu gözle çarpılmaktadır. Sadece bu uygulamanın 4. döneminde suda çözünebilir Ca konsantrasyonu artmıştır. NaCl uygulamalarında kış öncesi yıkamalarda Ca yüzeyle dışarı çıkmış ve kış süresince ise açığa çıkan Ca kış yağışları ile yıkanmıştır. Dördüncü dönemde verilen beş sulama sonrasında ise Na içeren tuz uygulamaları ile Ca yüzeyle dışarı çıkmış ancak henüz yıkanmamıştır. Bu durum NaHCO₃ tuz uygulamalarında belirgin değildir. NaHCO₃ tuzunun SAR 20 ve SAR 40 düzeylerinde tüm derinliklerde Ca düşme göstermiştir (Şekil 4.5). Bunun nedeni tuz içeren su uygulamaları ile kurak bölgelerde suda çözünebilir Na konsantrasyonu artması, Ca ve Mg çökmesi bu durumun devam etmesi durumunda değişim yüzeylelerinde Ca ve Mg iyon seçiciliğinin düşük olmasından dolayı konsantrasyonlarının düşmesidir. Her iki tuz çeşidinin farklı SAR düzeylerinde kış yağışlarından dolayı Na' un çözüldüğü ve Ca' un yüzeyleden itibaren alt derinliklerde biriktiği görülmektedir (Şekil 4.5). Tuzdan etkilenen topraklarda Na ile Ca' un yer değiştirmesi ve ortamdaki Ca' un alt derinliklere yıkanması ile ilgili bizim çalışmamıza benzer çalışmalar mevcuttur (Oster vd. 1999, Qadir vd. 2001, Mahmudabadi vd. 2013, Zhang vd. 2018). Benzer bir çalışmada Xu vd. (2020) NaCl tuz içeren suların farklı oranlarda uygulanması ile artan Na konsantrasyonunda Ca, Mg ve K iyonlarının toprakta denge durumu ulaşınca kadar alt derinliklere yıkandığını ve iyonların konsantrasyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir. Hammde ve Sulieman (2020) farklı oranlarda NaCl tuz içeren sulama sularının kullandıkları çalışmalarında başlangıçtaki toprakta EC_e değerinin 0.96 dS m⁻¹' den 7.9 dS m⁻¹' e SAR değerinin ise 0.83' den 21.87' ye yükseldiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar aynı zamanda Ca, Mg ve toprak pH' sının başlangıç toprağı ile karşılaştırıldığında azaldığını belirtmişlerdir. Benzer sonuçları veren çalışmalar literatürlerde bulunmaktadır (Wang vd. 2006, Kaya ve Higgs 2001).



Şekil 4.5 Toprakta suda çözünebilir Ca' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.14 Toprakta suda çözünebilir Ca ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: meq L⁻¹)

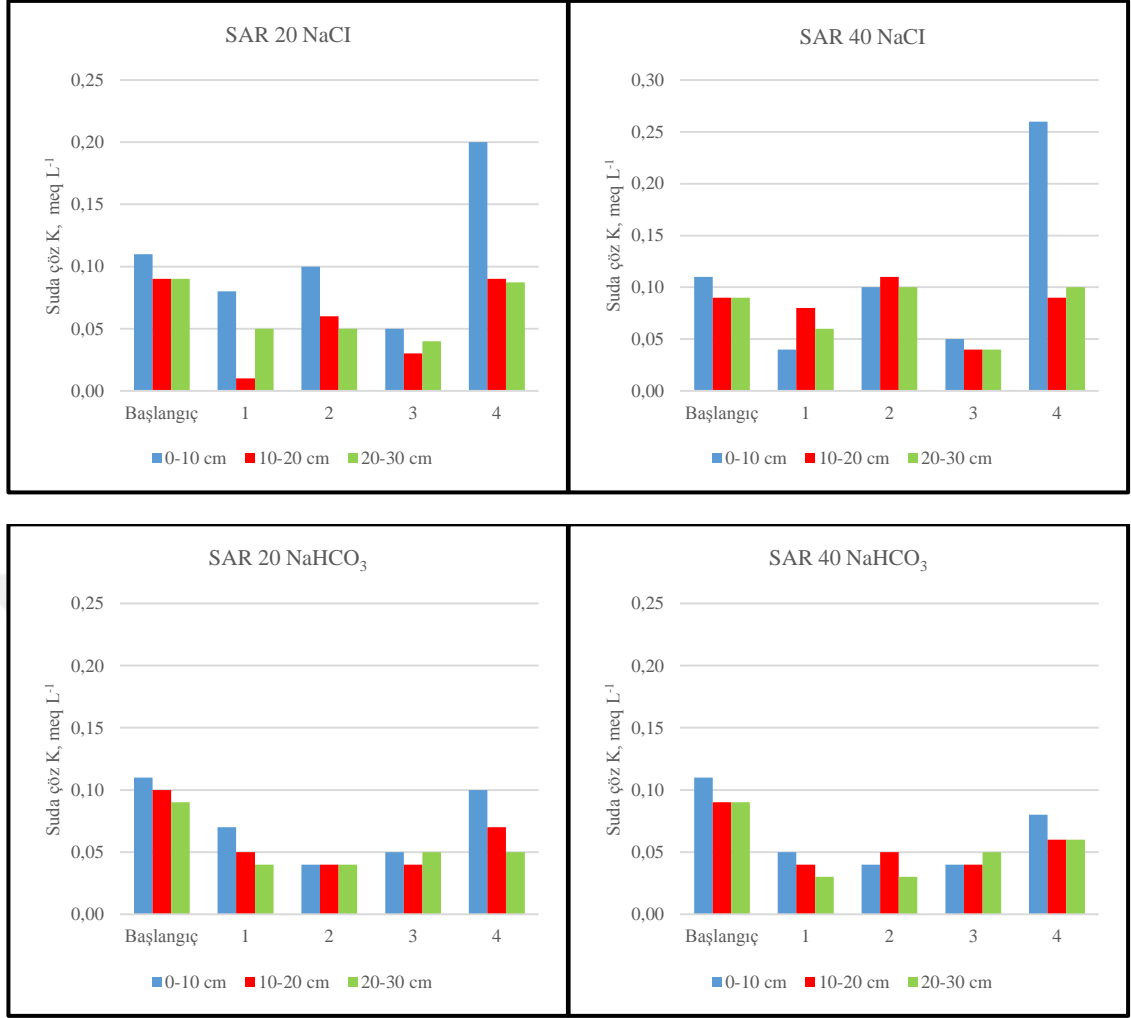
SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	1.49b±0.00	1.33a±0.03	1.50a±0.00	Başlangıç	1.49c±0.00	1.38a±0.04	1.50a±0.00
1	4.74d±0.01	4.13c±0.01	5.44c±0.01	1	1.04ab±0.04	6.74e±0.02	7.63d±0.01
2	4.01c±0.01	2.73b±0.02	1.56a±0.01	2	0.94a±0.02	3.29c±0.01	2.57b±0.01
3	1.24a±0.01	1.48a±0.01	2.93b±0.00	3	1.20b±0.02	1.57b±0.02	1.50a±0.00
4	6.82e±0.01	2.66b±0.06	2.38ab±0.44	4	12.16d±0.08	4.09d±0.01	3.86c±0.01
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	1.49c±0.00	1.33ab±0.03	1.50bc±0.00	Başlangıç	1.49d±0.00	1.33b±0.03	1.50c±0.00
1	0.83ab±0.03	2.11c±0.02	1.25b±0.01	1	0.39a±0.00	0.29a±0.00	0.70a±0.05
2	0.62a±0.01	1.09a±0.01	0.55a±0.01	2	0.83b±0.01	0.76ab±0.01	0.74a±0.01
3	1.27bc±0.29	1.65c±0.19	1.36bc±0.12	3	1.01b±0.01	1.04b±0.01	2.31d±0.00
4	1.51c±0.02	1.50ab±0.04	1.59c±0.20	4	1.56e±0.01	0.72ab±0.2	1.26b±0.00

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4:Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.3.3.3 Suda çözünebilir K

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak suda çözünebilir K ortalamalarının dönemlerdeki değişimi şekil 4.6' da, Tukey çoklu gruplandırılmaları çizelge 4.15' de verilmiştir. Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde 1 ve 2. dönemde suda çözünebilir K konsantrasyonu için başlangıç dönemine benzer sonuçlar alındığı, 3. dönemde suda çözünebilir K konsantrasyonunun düştüğü, 4. dönemde ise özellikle 0-10 cm toprak derinliğinde artma gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Suda çözünebilir K konsantrasyonunun 4. dönemdeki görülen artış ($p < 0.05$) düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunurken, diğer dönemlerdeki değişimler ($p > 0.05$) anlamlı bulunmamıştır (Çizelge 4.15). NaHCO_3 tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde suda çözünebilir K konsantrasyonu 1, 2 ve 3. dönemlerde başlangıç dönemine göre düşme göstermiş, 4. dönemde ise başlangıç dönemine benzer sonuçlar alınmıştır (Şekil 4.6). SAR 20 düzeyinde 1, 2 ve 3. dönemlerdeki düşmeler istatistiksel olarak önemli bulunurken, SAR 40 düzeyinde önemli bulunmamıştır ($p > 0.05$) (Çizelge 4.15).

Çalışmada hem yüzeyde hem de yüzey altı derinliklerde tuzlu sulama sularının kullanılmasının suda çözünebilir K konsantrasyonu üzerine önemli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır ($p > 0.05$)(Çizelge 4.15). Bu durumun nedeni sulama suyu K içeriğinin düşük olması ve yıkamalarla K' un ortamdan yıkanmasıdır. Grattan ve Grieve (1999) K ve P gibi toprak çözeltisinde nispeten düşük konsantrasyonlarda bulunduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.6 Toprakta suda çözünebilir K' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.15 Toprakta suda çözünebilir K ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: meq L⁻¹)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	0.11a±0.00	0.09ab±0.01	0.09c±0.00	Başlangıç	0.11a±0.00	0.09b±0.01	0.09b±0.00
1	0.08a±0.00	0.07ab±0.00	0.05ab±0.00	1	0.04a±0.00	0.08ab±0.00	0.06a±0.00
2	0.10a±0.02	0.06ab±0.01	0.05ab±0.01	2	0.10a±0.05	0.11b±0.00	0.10b±0.00
3	0.05a±0.01	0.03a±0.00	0.04a±0.00	3	0.05a±0.00	0.04a±0.00	0.04a±0.00
4	0.20b±0.01	0.09b±0.00	0.09bc±0.00	4	0.26b±0.02	0.09b±0.10	0.10b±0.00
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	0.11a±0.00	0.10c±0.00	0.09a±0.00	Başlangıç	0.11b±0.00	0.09b±0.01	0.09c±0.00
1	0.07b±0.00	0.05ab±0.00	0.04b±0.00	1	0.05a±0.00	0.04a±0.00	0.03a±0.00
2	0.04b±0.00	0.04a±0.00	0.04b±0.00	2	0.04a±0.00	0.05a±0.00	0.03ab±0.00
3	0.05b±0.00	0.04a±0.00	0.05b±0.01	3	0.04a±0.00	0.04a±0.00	0.5ab±0.00
4	0.10a±0.00	0.07b±0.00	0.05b±0.00	4	0.08ab±0.00	0.06ab±0.00	0.06b±0.00

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.3.3.4 Suda çözünebilir Mg

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak suda çözünebilir Mg ortalamalarının dönemlerdeki değişimi şekil 4.7’ de, Tukey çoklu gruplandırmaları çizelge 4.16’ da verilmiştir. Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının SAR 20 düzeyinde da 1, 2 ve 3. dönemde suda çözünebilir Mg konsantrasyonunun başlangıç dönemine göre azaldığı, 4. dönemde ise 0-10 cm toprak derinliğinde artma olduğu tespit edilmiştir. NaCl tuz uygulamalarının SAR 40 düzeyinde da ise suda çözünebilir Mg konsantrasyonunun 1. dönemde başlangıç dönemine göre arttığı, 2. dönemden sonra azalmanın olduğu, 4. dönemde ise tekrar artmanın olduğu görülmektedir (Şekil 4.7). Suda çözünebilir Mg konsantrasyonundaki bu artış ve düşmeler dönemler arasında ($p>0.05$) istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmamıştır (Çizelge 4.16).

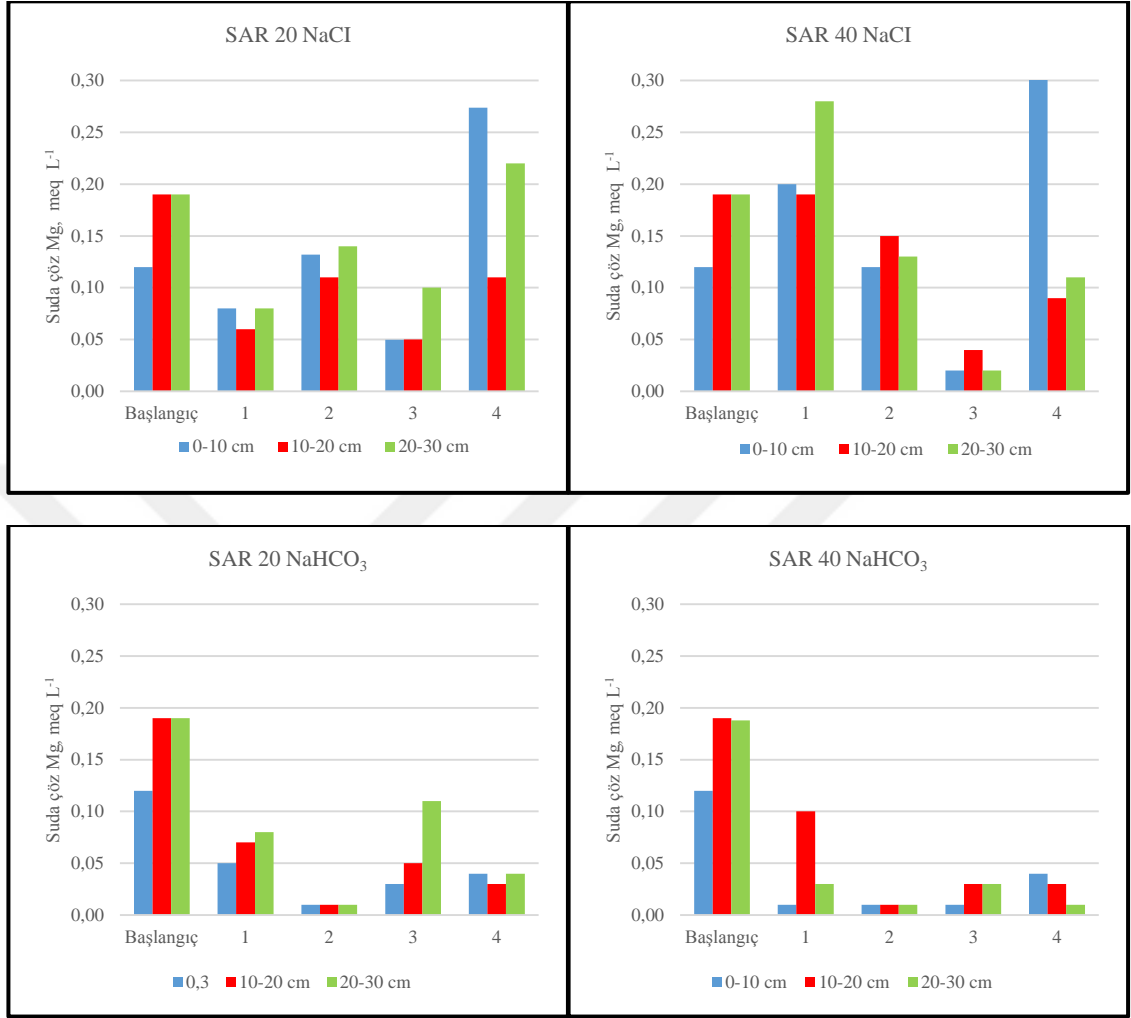
NaHCO₃ tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde suda çözünebilir Mg konsantrasyonu 1.dönemden sonra 0-10 cm toprak derinliğinde başlangıca göre azalırken. 2. dönemde suda çözünebilir Mg neredeyse hiç kalmamıştır. SAR 20 düzeyinde 3 ve 4. dönemde benzer sonuçlar alınırken 2. döneme göre suda çözünebilir Mg konsantrasyonu biraz artma göstermiştir. SAR 40 düzeyinde ise 3. dönemde. 2. döneme benzer sonuçlar alındığı ve 4. dönemde ise az da olsa bir artışın olduğu görülmüştür (Şekil 4.7). NaHCO₃ tuz uygulamalarında suda çözünebilir Mg konsantrasyonunda görülen bu değişimler dönemler arasında ($p>0.05$) istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmamıştır (Çizelge 4.16).

Çalışmada tuz çeşitlerinin farklı SAR düzeyleri için suda çözünebilir Mg değerlerinde düşme ve artmalar olmuştur (Şekil 4.6). Fakat bu durum ($p>0.05$) istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Çizelge 4.16). Çalışmada sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak suda çözünebilir Mg içeriğinin düşmesinin nedeni, suda çözünebilir Ca içeriğindeki değişime benzer şekilde Na içeren sulama sularının kullanılması ile toprakta Na içeriğinin artmasıdır. Tavakkoli vd. (2010) Güney Avustralya’ da işlenmiş kum topraklarda yapılan çalışmada NaCl tuz içeren suların kullanılmasıyla sulama suyunun tuzluluğunun arttığını ve çözünebilir Mg konsantrasyonunun azaldığını bildirmişlerdir.

Pessoa vd. (2019) yaptıkları çalışmada farklı EC ve SAR değerlerine sahip sulama sularının kullanılması ile sulama suyu tuzluluğunun artmasına bağlı olarak toprak değişim komplekslerindeki Na-Ca yer değişiminden dolayı değişebilir Mg konsantrasyonunun düştüğünü belirlemişlerdir.

Toprakta Ca ve Mg iyonlarının değişimi toprak pH' sı ile ilişkilidir. Ortamda çözünebilir Ca ve Mg bulunması toprak pH'sını artırır. Farklı sulamalar ve gübrelemelerin kullanıldığı buğday tarımının yapıldığı alanda Jiang vd. (2018) yapmış oldukları çalışmalarında hasat sonrası 0-200 cm arasında alınan toprak örneklerinde suda çözünebilir Mg, buğday tarımı yapılan alanda derinliğe bağlı olarak azaldığını, en yüksek Mg içeriğinin ise 0-40 cm toprak derinliğinde olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, bunun nedenini ise alkali koşullarda Mg' un çökmesi ile çözünlülüğünün bir dereceye kadar artması olarak açıklamışlardır. Başka bir çalışmada El –Boraie (1997) sulama suyunun tuzluluğunun artması ile suda çözünebilir Ca, Mg ve Na konsantrasyonunun arttığını, suda çözünebilir K konsantrasyonunun ise tuzluluk düzeyinin artması ile azaldığını bildirmiştir. Ragab vd. (2008) tarafından kumlu ve kireçli toprak olmak üzere iki farklı topraklarda yapılan çalışmada kullanılan sulama suyunun tuzluluğu ve SAR değerinin artması ile toprakta pH, EC, suda çözünebilir Ca+Mg, Na, HCO₃, Cl ve toprakta SAR değerlerinin arttığını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada toprakta suda çözünebilir K içeriği ise azalma göstermiştir. Kireçli toprakta bu artışlar kumlu toprağa göre daha fazla olmuştur.

Benzer sonuçların alındığı çalışmada Hammad ve Sulieman (2020), NaCl tuzu ile farklı tuz konsantrasyonlarında hazırladıkları sulama sularını kullandıkları çalışmalarında sulama döneminin sonunda başlangıca göre tuz konsantrasyonlarının arttığını, uygulamalara bağlı olarak toprakta suda çözünebilir Ca ve Mg' un 6.1 me L⁻¹ den 5.5 meq L⁻¹ e kademeli olarak düştüğünü ve bunun nedeni olarak ise SAR değerinin >13 olması ile Na konsantrasyonunun artması ve Na' un Ca ve Mg ile yer değiştirmesi olarak belirtmişlerdir. Bizim yaptığımız çalışmada deneme koşulları nedeniyle SAR düzeyi yüksek suların uygulanması ile Na iyonları suda çözünebilir Mg' un tamamen yıkanmasına neden olmuştur. Benzer sonuçların elde edildiği çalışmalar mevcuttur (Munns 2002, Ashraf vd. 2017).



Şekil 4.7 Toprakta suda çözünebilir Mg' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.16 Toprakta suda çözünebilir Mg ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: meq L⁻¹)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	0.12 a±0.01	0.19b±0.02	0.13a±0.01	Başlangıç	0.12 a±0.01	0.19b±0.02	0.19c±0.03
1	0.08 a±0.02	0.06ab±0.00	0.08a±0.01	1	0.20a±0.01	0.19ab±0.01	0.28d±0.00
2	0.13a±0.06	0.11ab±0.03	0.14a±0.05	2	0.12a±0.06	0.15ab±0.04	0.13b±0.01
3	0.05a±0.02	0.05a±0.02	0.10a±0.00	3	0.02 a±0.00	0.04a±0.00	0.02a±0.00
4	0.27a±0.11	0.11ab±0.04	0.22a±0.04	4	0.33a±0.07	0.09ab±0.02	0.11b±0.01

SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	0.12b±0.01	0.19b±0.02	0.19b±0.01	Başlangıç	0.12b±0.01	0.19a±0.02	0.19c±0.01
1	0.05a±0.01	0.07a±0.00	0.08ab±0.01	1	0.01a±0.00	0.10a±0.09	0.03a±0.00
2	0.01a±0.00	0.01a±0.00	0.01ab±0.00	2	0.01a±0.00	0.01a±0.00	0.01a±0.00
3	0.03a±0.01	0.05a±0.03	0.11a±0.07	3	0.01a±0.00	0.03a±0.00	0.03b±0.01
4	0.04a±0.01	0.03a±0.00	0.04ab±0.00	4	0.04a±0.01	0.03a±0.00	0.07a±0.01

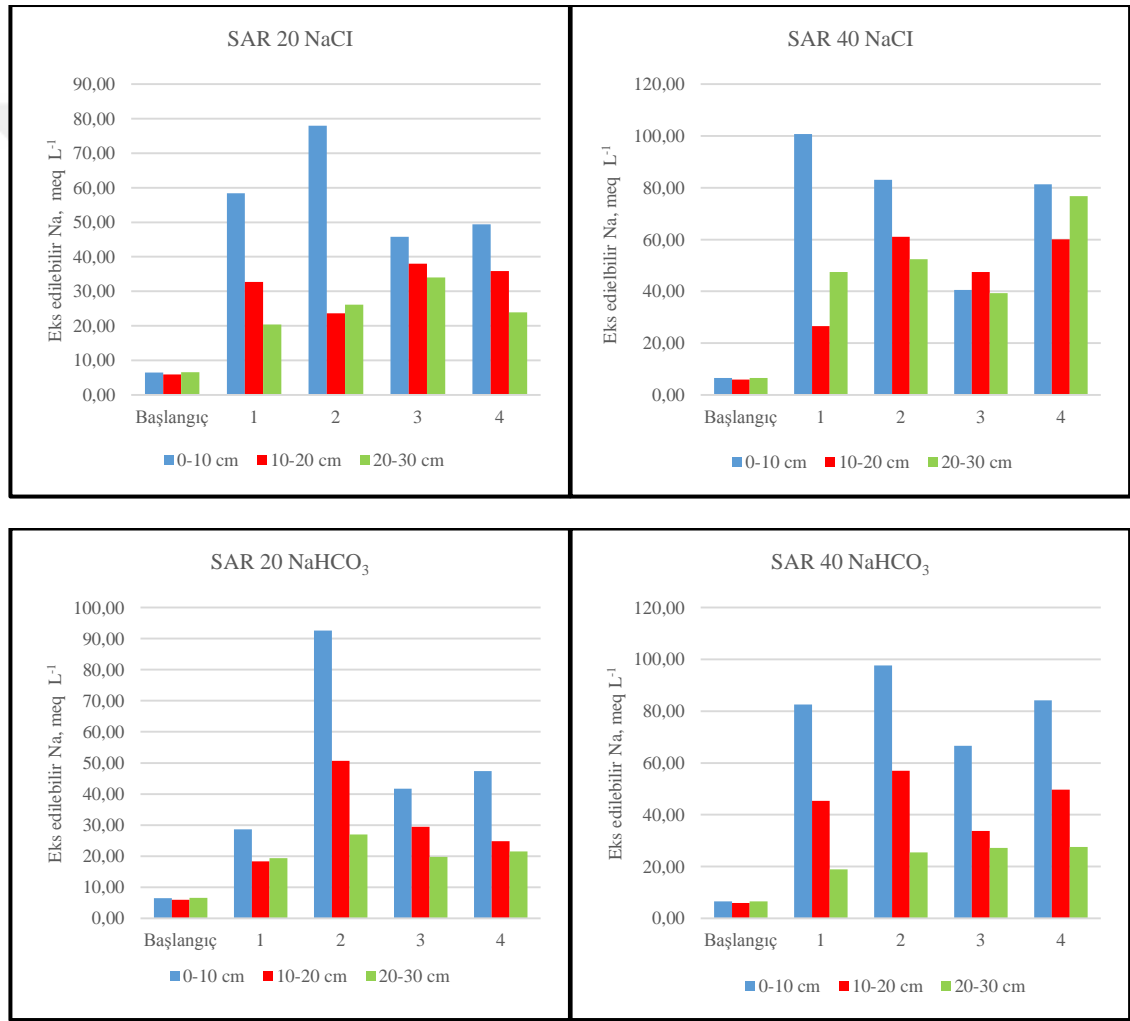
Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4:Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.3.3.5 Ekstrakte edilebilir Na

Toprakta bulunan anyon ve katyonlar; hem toprak taneciklerine bağlanmış durumda hem de toprak çözeltisinde serbest olarak bulunmaktadır. Toprağa bağlanmış iyonlar ile toprak çözeltisinde bulunan iyonlar arasında sürekli bir denge vardır. Toprak çözeltisindeki iyon konsantrasyonu artması ile fazla iyonlar toprak katı fazındaki sorbentler tarafından tutularak katı faza bağlanırlar. Böylece iki ortam arasındaki iyon dengesi korunmuş olur (Anonim 2021c). Örneğin, toprağa Ca içeren bir çözelti eklendiğinde adsorbe edilen Ca toplamı, diğer katyonlar ile eşdeğer toplama ulaşınca kadar artar. Aynı şekilde Na içeren bir çözelti eklenmesi ile de adsorbe edilen Na miktarı artacaktır. Topraklarda Ca diğer iyonlara oranla daha fazla miktarda adsorbe edilmiş durumdadır. Fakat tuzdan etkilenen topraklarda, değişebilir Na büyük değerlere ulaşmaktadır (Richards 1954, Dorsan 1988, Rengasamy 2006, Li vd. 2009).

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak ekstrakte edilebilir Na değerlerinin dönemlerdeki değişimi şekil 4.8' de, Tukey çoklu gruplandırmaları çizelge 4.17' de verilmiştir. Çalışmada NaCl ve NaHCO₃ tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde yüzey toprağında ekstrakte edilebilir Na' un 2. dönem sonuna kadar önemli şekilde arttığı, kış yağışlarından sonraki 3. dönemde ise toprakta ekstrakte edilebilir Na konsantrasyonunun azaldığı, 4. dönemden itibaren ise tekrar toprakta ekstrakte edilebilir Na konsantrasyonunun önemli şekilde arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.8). Bu sonuçlar toprakta ekstrakte edilebilir Na' un dönemler arasında değişiminde ($p < 0.05$) istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşturmuştur (Çizelge 4.17). Başlangıçta toprakta ekstrakte edilebilir Na konsantrasyonu 0-10 cm toprak derinliğinde 6.50 meq L⁻¹ iken. 2. dönem sonunda NaCl sulama konularının SAR 40 düzeyinde 83.12 meq L⁻¹, NaHCO₃ sulama konularında ise 118.07 meq L⁻¹ ye ulaşmıştır (Şekil 4.8). Ayrıca Na tuzlarının her iki tuz uygulamalarında 10-20 cm ve 20-30 cm derinliğe kadar ulaştığı ve tuz birikimi olduğu tespit edilmiştir. Üçüncü dönemde ise biriken tuzların yüzeyden itibaren tüm derinliklerde yıkandığı ve toprakta ekstrakte edilebilir Na değerlerinin düştüğü görülmektedir (Şekil 4.8). Karakoç vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar sulama suyundaki tuzluluk miktarındaki artışa bağlı olarak saturasyon ekstraktında Na ve Cl iyonlarında artışlar tespit etmişlerdir. Araştırmacılar artan tuz miktarına bağlı olarak

Na değerlerini 16.9, 25.99, 29.98 ve 31.75 meq L⁻¹ olarak bildirmişlerdir. Louati vd. (2018) Doğu Tunus' ta toprak tuzluluğuna tuzlu sulama sularının etkilerini araştırdıkları çalışmada sulama sularının yüksek SAR oranlarından dolayı derinliğe bağlı olarak toprakta SAR ve ESP'nin artmasıyla, ekstrakte edilebilir Na içeriğinin arttığını rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada 15 cm toprak derinliğinde ekstrakte edilebilir Na 1.3 meq 100 g⁻¹ iken, 150 cm toprak derinliğinde 7.5 meq 100 g⁻¹, a artma gösterdiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.8 Toprakta ekstrakte edilebilir Na' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.17 Toprakta ekstrakte edilebilir Na ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: meq L⁻¹)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	6.50a±0.00	5.96a±0.06	6.60a±0.15	Başlangıç	6.50a±0.00	5.96a±0.06	6.60a±0.15
1	58.43d±0.43	32.70c±0.63	20.36b±1.04	1	100.73d±0.37	26.61b±1.55	47.42c±0.02
2	78.00e±1.15	23.60b±0.98	26.13c±0.85	2	83.12c±0.85	61.10e±0.18	52.42d±0.56
3	45.83b±0.20	38.03d±0.37	34.03d±1.18	3	40.56b±0.97	47.40d±0.20	39.29b±0.56
4	49.43c±1.06	35.86cd±1.35	23.90bc±0.51	4	81.36c±1.55	60.43e±0.02	76.81e±0.97
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	6.50a±0.00	5.96a±0.06	6.60a±0.15	Başlangıç	6.50a±0.00	5.96a±0.06	6.60a±0.15
1	28.61c±0.34	18.29b±0.12	19.40b±0.20	1	82.60b±0.22	45.59b±1.81	18.92b±0.43
2	100.73d±0.37	50.68d±0.56	27.03d±0.24	2	118.07c±0.22	56.94d±0.88	25.46c±0.32
3	41.73e±0.59	29.43c±1.70	19.81ab±0.22	3	66.65d±0.45	33.78c±0.03	27.16cd±0.28
4	47.40e±0.44	24.80c±2.22	21.5c±0.86	4	84.20b±0.10	49.75b±0.88	27.55d±0.66

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir.

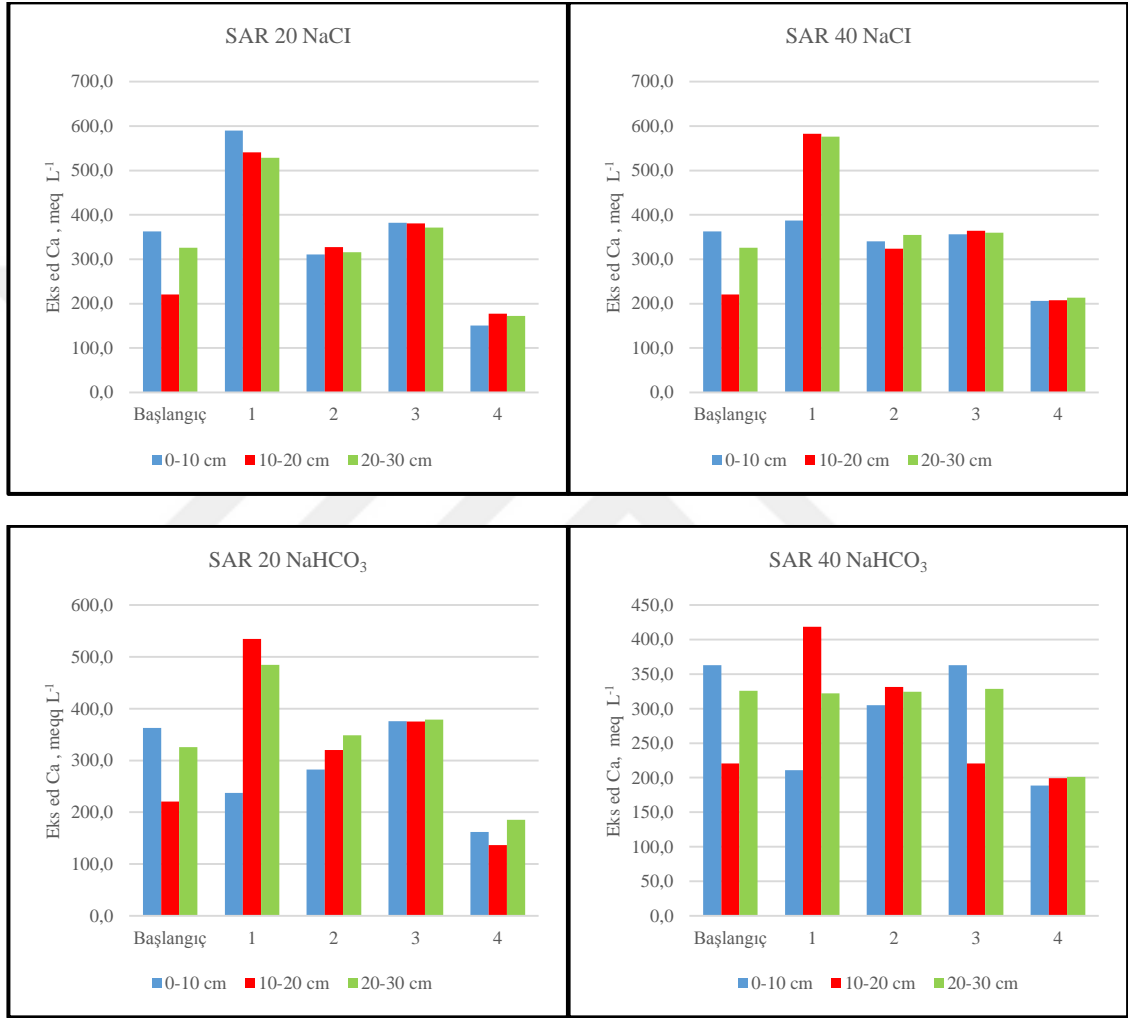
4.3.3.6 Ekstrakte edilebilir Ca

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak ekstrakte edilebilir Ca değerlerinin dönemlerdeki değişimi şekil 4.9' da, Tukey çoklu gruplandırılmaları çizelge 4.18' de verilmiştir. Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının SAR 20 düzeyinde ilk beş sulama sonrasında yüzey toprağında ekstrakte edilebilir Ca' un, 2. dönem sonuna kadar önemli şekilde arttığı, kış yağışlarından sonraki dönemlerde verilen topraktan ekstrakte edilebilir Ca' un konsantrasyonunun azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.9). Bu sonuçlar toprakta ekstrakte edilebilir Ca' un dönemler arasında değişiminde ($p < 0.05$) istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşturmuştur (Çizelge 4.18). Başlangıçta toprakta ekstrakte edilebilir Ca konsantrasyonu 0-10 cm toprak derinliğinde $363.00 \text{ meq L}^{-1}$ iken, NaCl sulama uygulamasının SAR 20 düzeyinde 2. dönem sonunda $589.65 \text{ meq L}^{-1}$, 4. dönem sonunda ise $150.98 \text{ meq L}^{-1}$ 'ye ulaşmıştır (Şekil 4.9).

Şekil 4.9' a göre SAR 20 NaCl tuz uygulamasında ekstrakte edilebilir Ca' un yıkanabilir kısmı Na ile yer değiştirerek yıkanmış, kalan Ca hemen hemen eşit olarak belirlenmiştir. NaHCO_3 tuz uygulamalarında ise ilk beş yıkama sonrası toprakta ekstrakte edilebilir Ca' un büyük kısmı yıkanmış ve ortamda fazla Ca kalmadığı için sonraki dönemlerde düşmeler fazla olmamıştır. Hammercker vd. (2009) pirinç ekimi altında toprak suyunun uzun süreli simülasyonunu yaptıkları çalışmada ekstrakte edilebilir Mg ve Na konsantrasyonunun artış gösterdiğini, ekstrakt edilebilir Ca' un ise azalma gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar ekstrakte edilebilir Ca konsantrasyonunun toprak suyu ve değişimi çözeltilisindeki bu azalışını CaCO_3 ' un çökmesi ile açıklamışlardır.

Elektriksel çift tabakanın kalınlığını belirleyen önemli özellikler, denge çözeltilisinin konsantrasyonu ile katyonların değerlikleri belirlemektedir. Katı yüzeylerde iki değerlikli katyonlar, tek değerlikli olanlara oranla daha fazla bir kuvvetle çekilirler. Böylece ortamda Ca/Na oranının artması halinde, toprak su sistemi içerisinde, elektriksel çift tabakanın kalınlığının azalırken tam tersi durumda yani tersine Ca/Na

azalması halinde elektriksel çift tabakanın kalınlığı artma eğiliminde olacaktır. Denge çözeltisinde tuz konsantrasyonunun artması halinde elektriksel çift tabakanın kalınlığı azalacak, seyrelme (yıkama) durumunda ise tabakanın kalınlığı artacaktır (Yurtseven vd. 2012).



Şekil 4.9 Toprakta ekstrakte edilebilir Ca' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

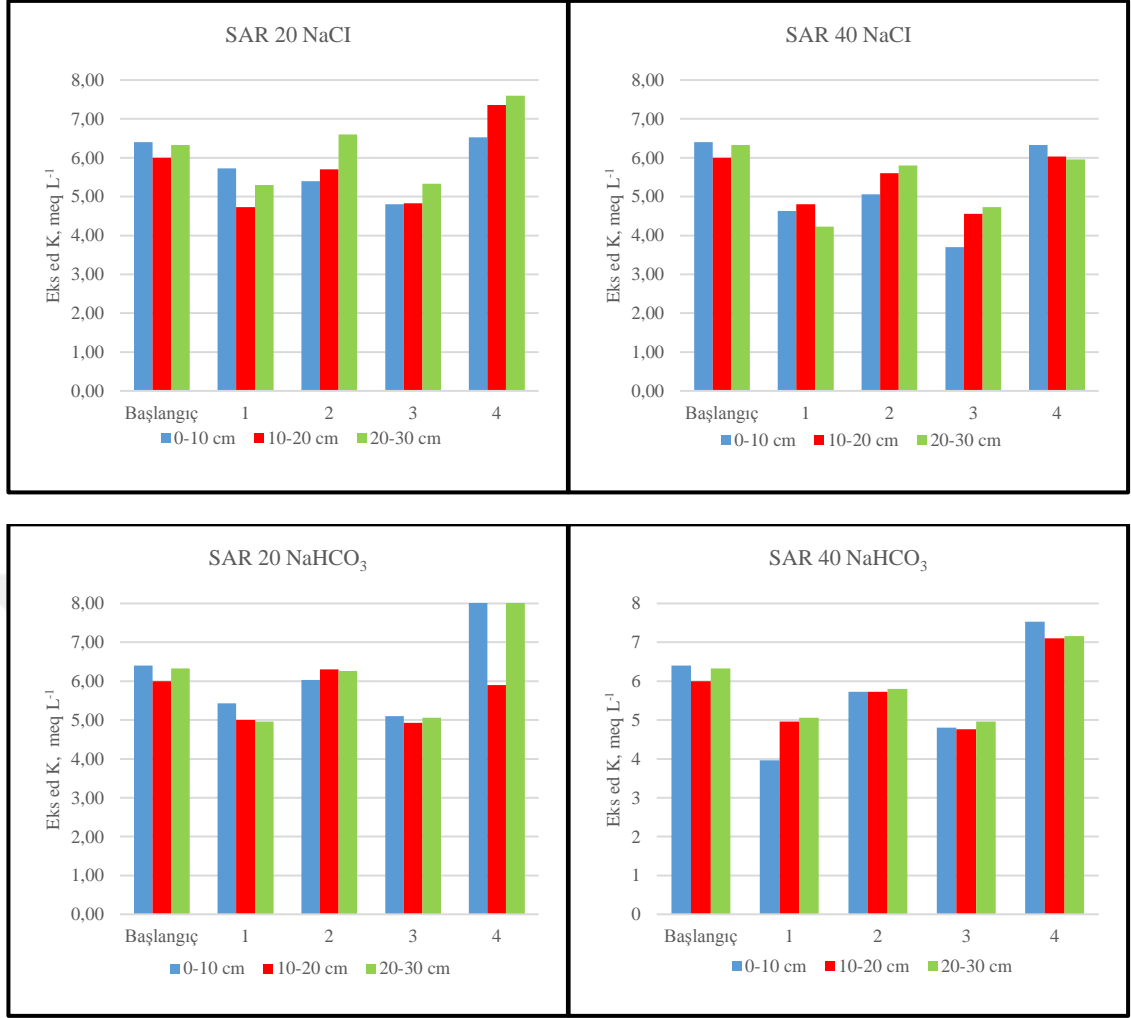
Çizelge 4.18 Toprakta ekstrakte edilebilir Ca ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: meq L⁻¹)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	363.00c±1.15	220.22b±0.29	325.62c±0.18	Başlangıç	363.00d±0.66	220.77b±0.29	325.62b±0.18
1	589.65e±0.69	540.95e±0.54	528.61e±0.49	1	387.30e±1.18	582.67e±1.19	575.96e±1.04
2	310.41b±0.42	327.34c±0.73	316.13b±0.43	2	340.15b±0.27	323.44c±0.57	354.37c±0.68
3	382.33d±0.16	380.39d±1.30	371.00d±0.28	3	356.05c±0.21	364.07d±1.03	359.74d±0.89
4	150.98a±0.68	177.68a±0.18	172.25a±0.10	4	205.85a±0.55	207.56a±0.66	213.31a±0.60
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	363.00d±1.15	220.77b±0.29	325.62b±0.18	Başlangıç	363.32d±1.15	220.77b±0.29	325.62b±0.18
1	237.00b±1.15	534.38c±0.59	484.49d±0.48	1	210.52b±1.15	418.59d±1.25	322.24b±0.87
2	282.72c±0.26	319.93c±0.72	348.59b±0.58	2	304.77c±0.41	331.61c±0.11	324.52b±1.01
3	375.50e±0.28	375.42d±0.58	378.83b±0.96	3	363.00d±1.15	220.77b±0.29	328.07b±1.08
4	161.98a±0.43	136.39a±1.20	185.15a±0.24	4	188.51a±0.78	199.50a±0.45	201.16a±0.43

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.3.3.7 Ekstrakte edilebilir K

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak ekstrakte edilebilir K değerlerinin dönemlerdeki değişimi şekil 4.10' da, Tukey çoklu gruplandırmaları çizelge 4.19' da verilmiştir. Çalışmada NaCl ve NaHCO₃ tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde yüzey toprağında ekstrakte edilebilir K' un denemenin sonunda 4. dönemde arttığı ve bu artışın ($p<0.05$) istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.10)(Çizelge 4.19). Bu durum tuz uygulaması yapılan dönemlerde K' un Na gibi davrandığını göstermektedir. Üçüncü dönemde de yine Na' a benzer şekilde yıkandığı anlaşılmaktadır (Şekil 4.10). Çalışmada kısa süreli SAR değeri yüksek sulama sularının kullanılmasıyla uygulama yapılan dönemlerde K' un Na' a benzer bir değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Ranjbar ve Jalala (2019) farklı SAR değerlerine sahip sulama sularının 20 yıl sonrasında toprakların kimyasal özelliklerine olan etkilerinin simülasyonu üzerine yaptığı çalışmada SAR değeri 2.5 olan sulama suyunun kullanılmasıyla ekstrakte edilebilir Na' a benzer şekilde ekstrakte edilebilir K' un azalan bir eğilim gösterdiğini, 20 yıl sonrasında ise ekstrakte edilebilir K' un tamamen yıkandığını raporlamışlardır. Aynı araştırmada SAR değerinin 10 ve 40 olduğu durumda ekstrakte edilebilir Na' un artan bir eğilim göstermesine rağmen ekstrakte edilebilir K konsantrasyonu azalma göstermeye devam etmiştir.



Şekil 4.10 Toprakta ekstrakte edilebilir K' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.19 Toprakta ekstrakte edilebilir K ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: meq L⁻¹)

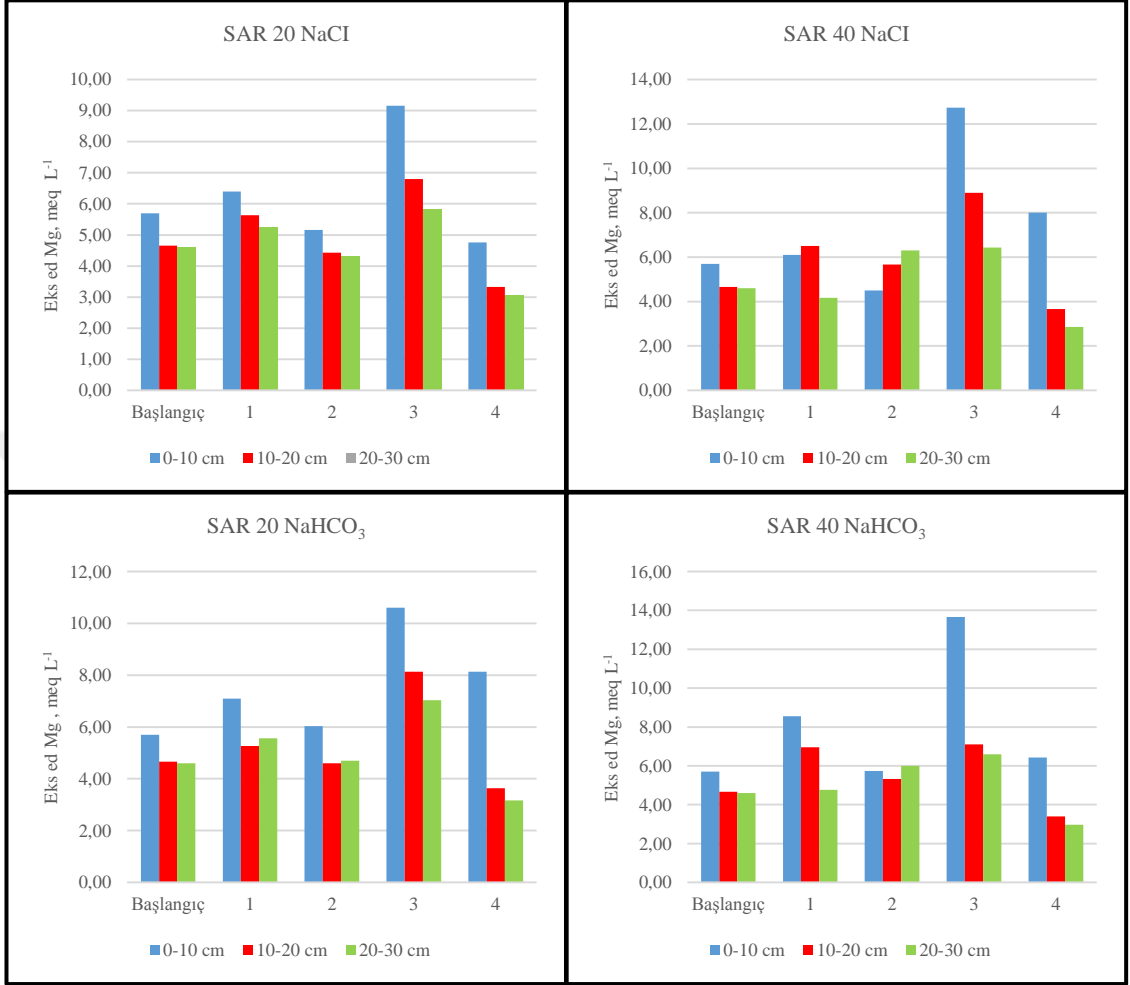
SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	6.40c±0.23	6.00b±0.57	6.33ab±0.33	Başlangıç	6.40c±0.23	6.00b±0.57	6.33b±0.33
1	5.73bc±0.12	4.73a±0.06	5.30a±0.46	1	4.63b±0.08	4.80ab±0.11	4.23a±0.14
2	5.40ab±0.28	5.70ab±0.05	6.60bc±0.05	2	5.06b±0.08	5.60ab±0.05	5.80b±0.00
3	4.80a±0.05	4.83ab±0.08	5.33a±0.14	3	3.70a±0.05	4.56a±0.08	4.73a±0.16
4	6.53c±0.06	7.36c±0.08	7.60c±0.10	4	6.33c±0.06	6.03b±0.08	5.96b±0.13

SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	6.40c±0.23	6.00ab±0.57	6.33b±0.33	Başlangıç	6.40c±0.23	6.00ab±0.57	6.33bc±0.33
1	5.43ab±0.20	5.00a±0.00	4.96a±0.06	1	3.96a±0.14	4.96a±0.20	5.066a±0.14
2	6.03bc±0.06	6.30b±0.05	6.26b±0.14	2	5.73c±0.06	5.73a±0.08	5.80bc±0.10
3	5.10a±0.17	4.93a±0.12	5.06a±0.17	3	4.80b±0.05	4.76a±0.08	4.96a±0.06
4	8.03d±0.03	5.90ab±0.10	8.36c±0.03	4	7.10b±0.16	7.10b±0.15	7.16c±0.12

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.3.3.8 Ekstrakte edilebilir Mg

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak ekstrakte edilebilir Mg değerlerinin dönemlerdeki değişimi şekil 4.11’ de, Tukey çoklu gruplandırmaları çizelge 4.20’ de verilmiştir. Çalışmada NaCl ve NaHCO₃ tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde yüzey toprağında ekstrakte edilebilir Mg’ un 3. dönemde önemli şekilde arttığı ve bu artışın ($p<0.05$) istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.11) (Çizelge 4.20). Bu durum tuz uygulaması yapılan dönemlerde Na-Mg yer değişiminden dolayı Mg’ un yıkandığını, kış yağışlarından sonraki 3. dönemde ise Na konsantrasyonunun düşmesinden dolayı Mg konsantrasyonunun arttığını göstermektedir. Tavakkoli vd. (2010) tarafından Güney Avustralya’da kumlu toprakta NaCl içeren sulama sularının kullanıldığı çalışmada, sulama suyunun tuzluluğuna bağlı olarak toprakta ekstrakte edilebilir Na, SAR ve ESP’ nin artarken Mg konsantrasyonunun düşme gösterdiğini bildirmişlerdir. Ranjbar ve Jalali (2019) üç farklı SAR düzeyine sahip (2.5, 10 ve 40) NaCl ve CaCl₂ karışımı ile hazırlanan sulama sularını kullandığı, 20 yıl sonrasında toprak kimyasal özelliklerinin değişiminin simülasyon çalışmasında SAR 2.5’ da ekstrakte edilebilir Mg konsantrasyonundaki değişim kontrol uygulamasına benzer olduğu, sulama suyunun SAR 10 uygulamasında ise suda çözünebilir Na konsantrasyonunun artması ile suda çözünebilir Ca’ un azaldığı bildirilmiştir. Ortamda dengeyi sağlamak için ortamda ekstrakte edilebilir Ca açığa çıktığı ve yıkandığı ekstrakte edilebilir Mg konsantrasyonunun ise arttığı tespit edilmiştir. SAR 40 düzeyinde 20 yıl sonunda ekstrakte edilebilir Ca neredeyse hiç kalmazken, ekstrakte edilebilir Mg azalma göstermiştir. Ca ile Na yerdeğişimi ile konsantrasyonunun azalması ile benzer sonuçlar van Breukelen vd. (2009) yaptığı çalışmada da belirtilmiştir.



Şekil 4.11 Toprakta ekstrakte edilebilir Mg' un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.20 Toprakta ekstrakte edilebilir Mg ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: meq L⁻¹)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	5.70ab±0.05	4.66b±0.08	4.60b±0.11	Başlangıç	6.40c±0.23	6.00b±0.57	6.33b±0.33
1	6.40b±0.15	5.63c±0.37	5.26c±0.06	1	4.63b±0.08	4.80ab±0.11	4.23a±0.14
2	5.16a±0.20	4.43b±0.12	4.33b±0.12	2	5.06b±0.08	5.60ab±0.05	5.80b±0.00
3	9.16c±0.37	6.80d±0.11	5.83c±0.20	3	3.70a±0.05	4.56a±0.08	4.73a±0.16
4	4.76a±0.03	3.33a±0.12	3.06a±0.06	4	6.33c±0.06	6.03b±0.08	5.96b±0.13
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	5.70a±0.05	4.66bc±0.08	4.60b±0.11	Başlangıç	5.70a±0.05	4.66b±0.08	4.60b±0.11
1	7.10bc±0.05	5.26c±0.08	5.56c±0.08	1	8.56a±0.77	6.96c±0.08	4.76bc±0.54
2	6.03ab±0.31	4.60b±0.17	4.70b±0.11	2	5.73a±0.12	5.33b±0.17	6.00cd±0.05
3	10.60d±0.30	8.13d±0.18	7.03d±0.14	3	13.66b±1.06	7.10c±0.17	6.60d±0.28
4	8.13c±0.26	3.63a±0.14	3.16a±0.14	4	6.43a±1.18	3.40a±0.46	2.96a±0.35

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir.

4.3.4 Toprakta anyonların değişimleri

4.3.4.1 Suda çözünebilir Cl

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak suda çözünebilir Cl değerlerinin dönemlerdeki değişimi şekil 4.12’ de, Tukey çoklu gruplandırılmaları çizelge 4.21’ de verilmiştir. Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde yüzey toprağında suda çözünebilir Cl’ un başlangıca göre 2. dönem sonuna kadar önemli olarak arttığı, hatta 2. dönem süresince bu artışın SAR 40 düzeyinde daha fazla olduğu, kış yağışlarından sonraki 3. dönemde ise toprakta suda çözünebilir Cl konsantrasyonunun azaldığı, 4. dönemden itibaren tekrar suda çözünebilir Cl konsantrasyonunun arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.12). Bu sonuçlar toprak örnekleme dönemleri arasında önemli farklılıklar oluşturmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.21). Başlangıçta toprakta suda çözünebilir Cl konsantrasyonu 0-10 cm toprak derinliğinde 2.80 meq L^{-1} iken, 2. dönem sonunda NaCl tuz uygulamasının SAR 20 düzeyinde 13.86 meq L^{-1} , SAR 40 düzeyinde ise 33.80 meq L^{-1} ’ ye ulaşmıştır. Üçüncü dönemde ise toprakta suda çözünebilir Cl konsantrasyonu 0-10 cm toprak derinliğinde NaCl tuz uygulamasının SAR 20 düzeyinde başlangıca benzer şekilde 2.33 meq L^{-1} , NaCl uygulamasının SAR 40 düzeyinde 3.65 meq L^{-1} ’ ye düşmüştür. Ayrıca NaCl tuz uygulamalarında tuz uygulaması yapılan 1, 2 ve 4. dönemlerde tuzların 10-20 cm ve 20-30 cm derinliğe kadar ulaştığı ve bu derinliklerde toprakta suda çözünebilir Cl konsantrasyonunda artış olduğu görülmüştür (Şekil 4.12).

NaHCO₃ tuz uygulamalarının SAR 20 düzeyinde yüzey toprağında suda çözünebilir Cl konsantrasyonunun 2. dönemin sonuna kadar önemli bir şekilde artmadığı ve başlangıca benzer sonuçlar alındığı tespit edilmiştir. Üçüncü dönemde ise toprakta suda çözünebilir Cl konsantrasyonu düşmüş, 4. dönemde ise suda çözünebilir Cl önemli bir artma göstermiştir ($p<0.05$) (Şekil 4.12). Dördüncü dönemde görülen bu artış düzeyinde istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmuştur (Çizelge 4.21). Aynı tuz çeşidinin SAR 40 düzeyinde ise toprakta suda çözünebilir Cl’ un 2. dönemin sonuna kadar artmadığı. 3. dönemde bir düşme görüldüğü, 4. dönemde ise toprakta suda çözünebilir Cl içeriğinde önemli bir artma olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Şekil 4.12). SAR 20

düzeyinde benzer şekilde 4. dönemde görülen bu artış istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.21).

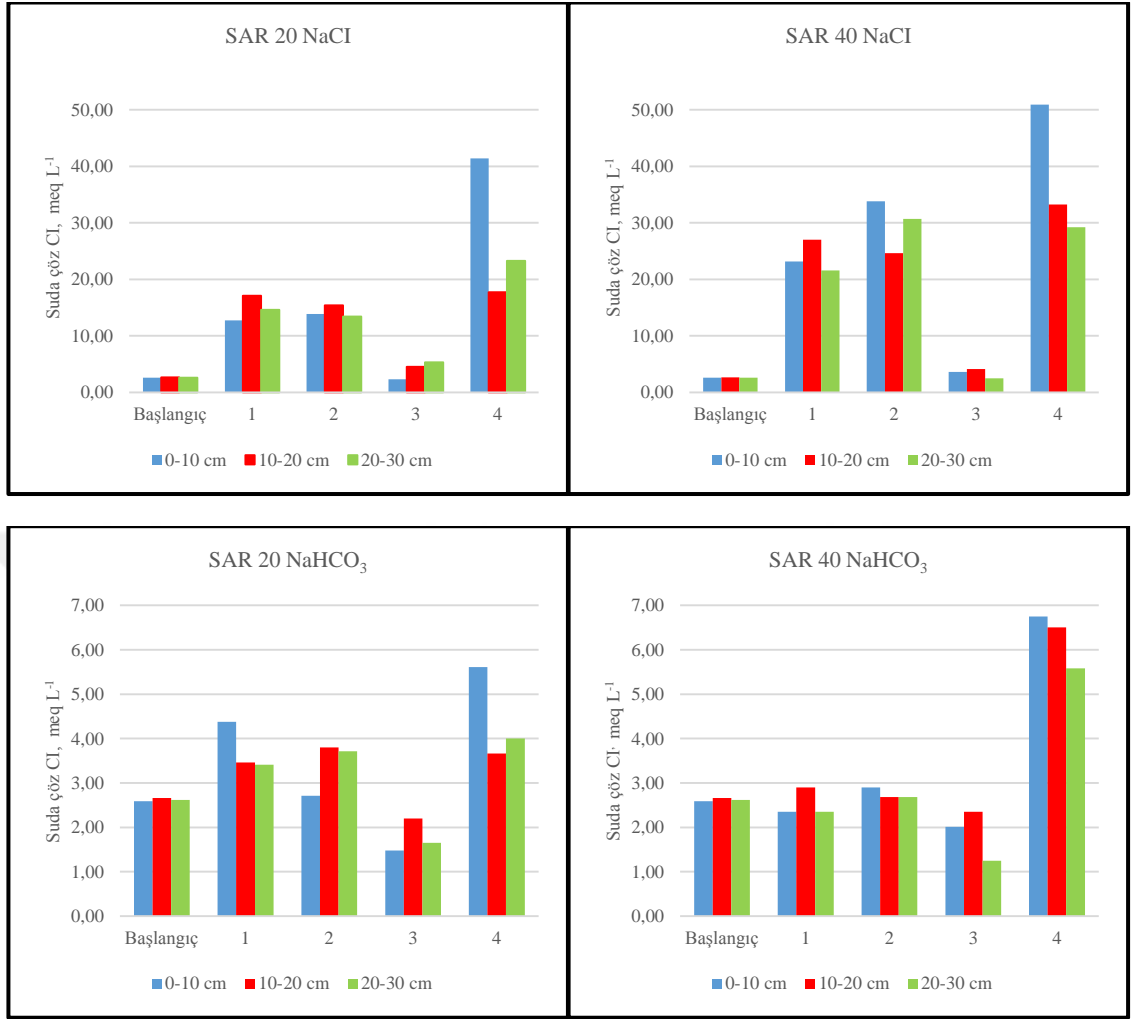
Çalışmada sulamalarla toprağa tuz ilavesi olduğundan SAR düzeyindeki artışa bağlı olarak NaCl tuz uygulamalarında toprakta suda çözünebilir Cl konsantrasyonunun arttığı, kış yağışlarının olduğu 3. dönemde ise toprakta suda çözünebilir Cl konsantrasyonunun düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 4.12). NaHCO₃ uygulamalarında ise 4. dönem dışında dönemlerde toprakta suda çözünebilir Cl konsantrasyonundaki $p > 0.05$ düzeyinde değişimin önemli olmadığı dikkat çekmektedir (Çizelge 4.21). Bunun iki nedeni vardır. Birincisi yapay oluşturulan sulama suyunda Na ve Cl tuzlarının yoğun olması, ikincisi de bu iyon bileşiklerinin suda hızla çözünmesi şeklinde açıklanabilir. Pondkule vd. (2019) Hindistan da bir yıl boyunca sulama öncesi ve sulama sonrası yapılan toprak örneklerinde bazı toprak özelliklerinin değişimini ortaya konmuştur. Çalışmada sulama öncesi toprak ekstraktında Cl⁻ un 4.8 ile 7.2 meq L⁻¹ arasında değişirken sulama sonrasında 5.2 ile 8.80 meq L⁻¹ arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar çözünebilir Cl değişimini sulama suyundaki tuzlardan dolayı toprakta EC_e' nin artmasına bağlamışlardır. Pessoa vd. (2019) kum ve siltli kil bünyeye sahip topraklarda üç farklı tuz seviyesi ve NaCl ve CaCl₂ tuz çeşitleri ile hazırladıkları ile sulama suları yapılan sulamalar sonucunda kullanılan tuz çeşitlerinden dolayı çözünebilir katyon ve anyonlar içerisinde Na ve Cl⁻ un, Ca²⁺ a göre baskın oluşunu tespit etmişlerdir. Aynı araştırmada siltli kil bünyeye sahip topraklarda su tutma kapasitesinin yüksek olmasından dolayı tuzluluğun daha fazla olduğu vurgulanmıştır. Dördüncü dönemde NaHCO₃ tuz uygulamasında suda çözünebilir Cl konsantrasyonunun yüksek olmasının nedeni, kış yağışlarıyla birlikte toprakta çözünen Cl⁻ un yaz aylarındaki sulamalar ve evaporasyondan dolayı yüzeye çıkması olabilir.

Çalışmamızdaki sonuçlara benzer şekilde Yurtseven vd. (2012) yaptıkları çalışmada devam eden sulamalar sonucunda toprakta Cl konsantrasyonunun arttığını, bu artışta verilen tuz miktarının önemli olduğunu belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar Haziran-Temmuz aylarında Cl konsantrasyonunu 40-50 ppm olarak belirlediklerini Ağustos ayından sonra ise bu değer 20-25 ppm' e gerilediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışmada Cl⁻ un yıkama ile profilin derinliklerine doğru yıkandığına ve birikme

olduğuna vurgu yapılmıştır. Jalali vd. (2007) tuzlu sodik ve tuzlu topraklarda değişebilir katyonlar ve ESP' nin değişimini belirledikleri çalışmalarında SO₄ ve Cl iyonlarının sudaki çözünürlüklerinin farklı olmasından dolayı topraktaki davranışlarının farklı olduğunu sulamalarla serbest hale geçen SO₄ iyonunun Cl iyonuna göre daha yavaş yıkandığını, Cl iyonunun topraktan yıkanmasının, NaCl gibi yüksek çözünürlüğe sahip tuzlardan dolayı daha fazla olacağını belirtmişlerdir.

Kaledhonkar ve Keshari (2006) tuzlu suyun etkilerini simule edildiği çalışmalarında EC değeri aynı SAR düzeyleri 5 ve 25 olan iki farklı kalitede sulama suyu kullanmışlardır. Sulama suyunun SAR düzeyinin artışıyla Na konsantrasyonu artış gösterirken toprak tuzluğu artmıştır ve Cl konsantrasyonu sulama suyu SAR düzeyinin artması ve Ca ve Mg azalması ile azalış göstermiştir. Ragab vd. (2008) kumlu ve kireçli topraklarda sulama suyu tuzluluğunun toprak özelliklerine değişimine bakıldığı çalışmalarında kireçli topraklarda kontrol uygulamasında Cl içeriğini 12.54 meq L⁻¹ olarak belirlerken, en yüksek SAR düzeyi uygulamasında ise Cl içeriğini 33.21 meq L⁻¹ olarak tespit etmişlerdir.

Zhang vd. (2018) in' de tuzlu toprakların ışlahı ile yaptığı çalışmaların da topraklarda Na ile Cl arasındaki ilişkinin yüksek olduğu bildirmişlerdir. Daha nceki yapılan çalışmaların Cl' un toprakta hareketinin SO₄ ve CO₃ iyonlarına göre daha fazla olduğuna dair elde edilen bilgiler yaptığımız çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir (Jiao vd. 2008).



Şekil 4.11 Toprakta suda çözünebilir Cl⁻ un sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.21 Toprakta suda çözünebilir Cl ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: meq L⁻¹)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	2.59c±0.45	2.66a±0.03	2.62a±0.12	Başlangıç	2.59a±0.17	2.66a±0.03	2.62a±0.12
1	12.75b±0.83	17.10b±0.57	14.60b±0.70	1	23.15b±2.10	27.00bc±1.32	21.60b±1.44
2	13.86b±0.20	15.40b±0.98	13.45b±1.41	2	33.80c±0.86	24.65b±2.80	30.73c±0.94
3	2.33c±0.03	4.55a±0.14	5.30a±0.11	3	3.65a±0.13	4.15a±0.14	2.30a±0.28
4	41.40a±0.69	17.73b±0.14	23.31c±0.15	4	51.95d±1.34	33.25c±1.08	29.25c±0.24
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	2.59a±0.17	2.66a±0.03	2.62b±0.12	Başlangıç	2.59a±0.17	2.66a±0.03	2.62b±0.12
1	4.38b±0.16	3.46b±0.20	3.41c±0.21	1	2.35a±0.14	2.90a±0.05	2.35ab±0.08
2	2.71a±0.22	3.80b±0.05	3.71c±0.06	2	2.90a±0.05	2.68a±0.01	2.68b±0.01
3	1.48a±0.01	2.20b±0.11	1.62a±0.12	3	2.01a±0.10	2.35a±0.08	1.25a±0.02
4	5.61c±0.62	3.66a±0.09	4.00c±0.09	4	6.75b±0.72	6.50b±0.57	5.58c±0.52

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.3.4.2 Suda çözünebilir HCO₃

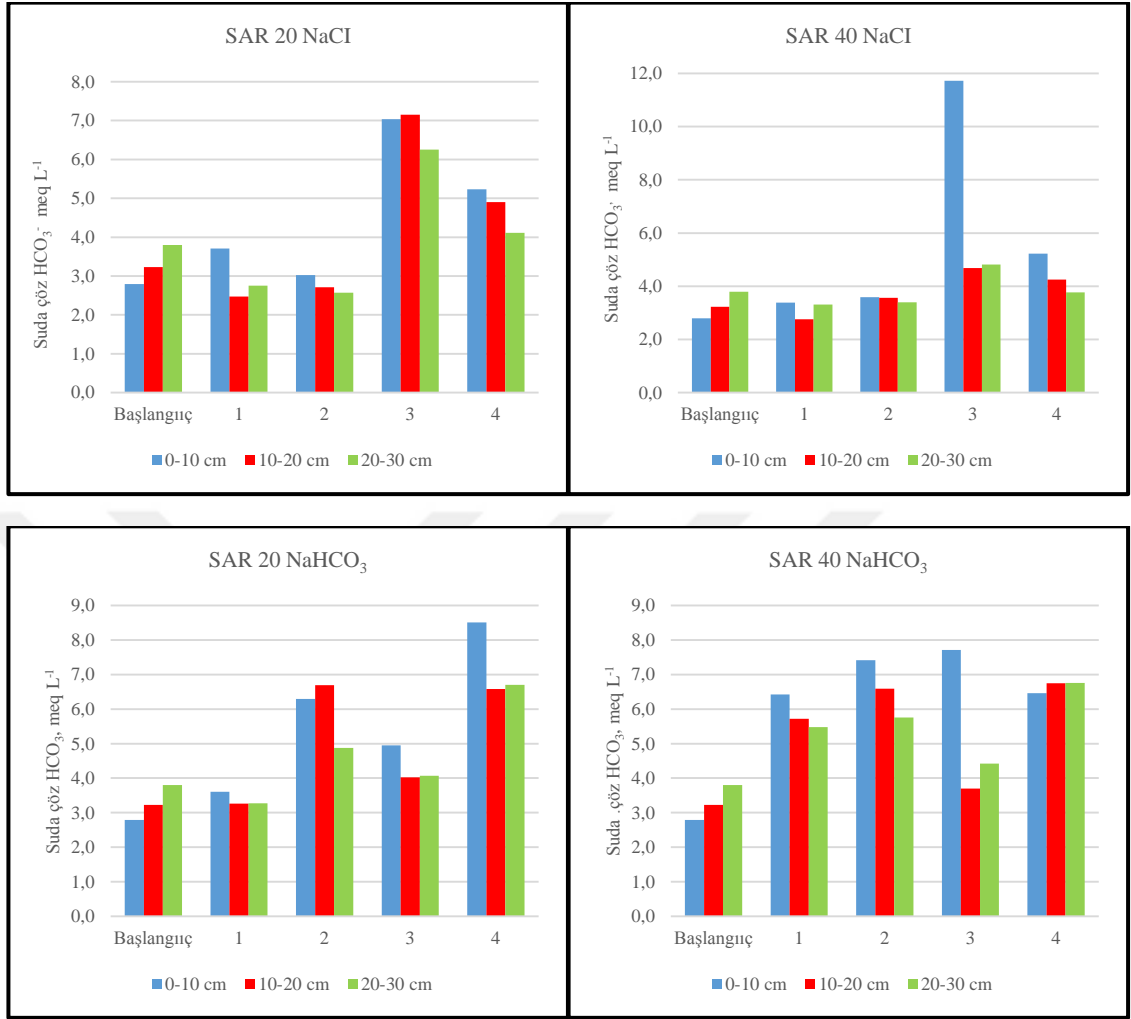
Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak suda çözünebilir HCO₃ değerlerinin dönemlerdeki değişimi şekil 4.13' de, Tukey çoklu gruplandırmaları çizelge 4.22' de verilmiştir. Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde yüzey toprağında suda çözünebilir HCO₃' un 1 ve 2. dönem sonuna kadar başlangıca benzer sonuçlar alındığı, kış yağışlarından sonraki 3. dönemde ise suda çözünebilir HCO₃ konsantrasyonunun arttığı, 4. dönemden itibaren ise tekrar suda çözünebilir HCO₃ konsantrasyonunun azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Bu sonuçlar toprak örnekleme 3 ve 4. dönemlerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşturmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.22). Başlangıçta toprakta suda çözünebilir HCO₃ konsantrasyonu 0-10 cm toprak derinliğinde 2.79 meq L⁻¹ iken, 3. dönem sonunda NaCl tuz uygulamalarının SAR 20 düzeyinde 7.04 meq L⁻¹, SAR 40 düzeyinde ise 11.72 meq L⁻¹ ye ulaşmıştır. Dördüncü dönemde ise toprakta suda çözünebilir HCO₃ konsantrasyonu 0-10 cm toprak derinliğinde her iki dozda 5.23 meq L⁻¹ ye düşmüştür (Şekil 4.12). Ayrıca 3. dönemde alt derinliklerde de toprakta suda çözünebilir HCO₃ konsantrasyonunun önemli olarak arttığı, 4. dönemde ise önemli bir düşmenin olduğu belirlenmiştir (p<0.05) (Şekil 4.13)(Çizelge 4.22).

NaHCO₃ tuz uygulamalarının SAR 20 düzeyinde toprakta suda çözünebilir HCO₃ konsantrasyonu tüm derinlikler için 2. döneme kadar önemli bir şekilde artmadığı ve başlangıca benzer sonuçlar alındığı tespit edilmiştir. İkinci dönemden sonra ise toprakta suda çözünebilir HCO₃ konsantrasyonu azalmış, 4. dönemde ise suda çözünebilir HCO₃ konsantrasyonu önemli bir artma göstermiştir (Şekil 4.13). Bu sonuçlar toprak örnekleme 3. ve 4. dönemlerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşturmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.22).

Sulama suyunda HCO₃ miktarının artması ile toprak pH' sının 3. dönemden sonra arttığı özellikle 4. dönemde SAR 40 düzeyinde suda çözünebilir HCO₃' ün arttığı ve alt derinliklerde yıkanan Ca' un çökmesinden dolayı biriktiği söylenebilir (Şekil 4.3). Suda HCO₃ konsantrasyonu fazla olduğunda, toprak içerisindeki Ca ile birleşerek CaCO₃ şeklinde çökme göstermektedir. Bu çökme topraktaki sodyum oranını

yükselterek toprak alkaliliğini artırmaktadır (Korkmaz 2016). Pondkule vd. (2019) Hindistan’ da bir yıl boyunca yaptıkları çalışmalarında sulama öncesi ve sulama sonrası yapılan toprak örneklerinde bazı toprak özelliklerinin değişimini ortaya koymuşlardır. Çalışmada sulama öncesi toprak ekstraktında HCO_3 içeriği 7.3 ile 8.4 arasında iken sulama sonrasında 7.5 ile 8.9 arasında değişim göstermiştir. Araştırmacılar bu değişimi sulama suyundaki HCO_3 tuz konsantrasyonunun fazla olması ile açıklamışlardır. Kurak mevsimde toprak profilinde tuzlar yıkanamadığından tuzların birikimi söz konusudur (Pilatti vd. 2006, Torres Duggan vd. 2012, Louati vd. 2018).

Şekil 4.13’ den NaCl tuz uygulamalarında kış sonrası dönem olan 3. dönemde suda çözünebilir HCO_3 konsantrasyonunun önemli olarak arttığı dikkat çekmektedir. Bunun nedeni Na^+ un ortak iyon olmasından dolayı çözünlüğü düşük olan HCO_3 çözünlüğünün artmasıdır. NaHCO_3 uygulamalarının her iki SAR düzeyinde tuz uygulaması yapılan dönemlerde tuz çeşidine bağlı olarak suda çözünebilir HCO_3 konsantrasyonunun artması 3. dönemde SAR 40 düzeyinde kış yağışlarının tuzların yıkanmasından dolayı konsantrasyonun düşmesi beklenirken tam tersi suda çözünebilir HCO_3 artmıştır. Bunun nedeni SAR düzeyine bağlı olarak kış yağışlarının HCO_3^- yıkayamaması olabilir. Topraktan evaporasyonun fazla olduğu kurak ve yarı kurak iklimlerde yağışı karbonatları toprak profilinden uzaklaştırmaz ve bu durumda karbonatlar toprak profilinde birikme gösterirler (Günel 2001). Costa vd (2015) yüksek NaHCO_3 tuzu içeriğine sahip sulama sularının kullanıldığı çalışmada sulama yapılan bölgelerde sulama sonrası pH, EC, SAR, ESP değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir.



Şekil 4.12 Toprakta suda çözünebilir HCO_3^- ' in sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.22 Toprakta suda çözünebilir HCO_3 ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: meq L^{-1})

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	2.79a±0.06	3.23a±0.06	3.80b±0.10	Başlangıç	2.79a±0.06	3.23ab±0.12	3.80a±0.10
1	3.71a±0.02	2.47a±0.09	2.75a±0.09	1	3.39a±0.02	2.76a±0.03	3.31a±0.07
2	3.02a±0.35	2.71a±0.22	2.57a±0.08	2	3.59a±0.06	3.57ab±0.32	3.40a±0.02
3	7.04c±0.13	7.15c±0.47	6.25c±0.28	3	11.72c±0.37	4.68c±0.36	4.82b±0.21
4	5.23b±0.19	4.90b±0.28	4.11b±0.22	4	5.23b±0.12	4.25bc±0.11	3.77a±0.06
SAR 20 NaHCO_3				SAR 40 NaHCO_3			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	2.79a±0.06	3.23a±0.12	3.80ab±0.01	Başlangıç	2.79a±0.06	3.23a±0.03	3.80a±0.02
1	3.61a±0.16	3.26a±0.11	3.27a±0.12	1	6.42b±0.46	5.72b±0.06	5.48b±0.19
2	6.29c±0.27	6.69b±0.05	4.88b±0.04	2	7.42bc±0.22	6.59c±0.25	5.76b±0.03
3	4.95b±0.49	4.02a±0.35	4.07ab±0.01	3	7.71c±0.05	3.70a±0.05	4.42a±0.16
4	8.51d±0.01	6.58b±0.31	6.70c±0.08	4	6.46b±0.17	6.75c±0.25	6.76c±0.06

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir.

4.3.5 Toprakta SAR

SAR indeksi toprak alkaliliğini belirleyen bir parametredir. Toprakta Na artışı olarak tanımlanan SAR değeri toprakların yapılarının bozulmasına neden olmaktadır (Rasouli vd. 2013). Toprakta SAR değeri >13' dan yüksek olduğunda toprakların fiziksel özelliklerini zayıflamaktadır (Singh ve Abrol 1985). Regnasamy (2010) SAR değeri <3 ve EC <4 dS m⁻¹ olan toprakları tuzsuz olarak rapor etmişlerdir.

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak toprakta SAR değerlerinin dönemlerdeki değişimi şekil 4.14' de, Tukey çoklu gruplandırılmaları çizelge 4.23' de verilmiştir. Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde toprakta SAR değerlerinin 2. dönem sonuna kadar önemli olarak arttığı, hatta 2. dönem süresince bu artışın SAR 40 düzeyinde daha fazla olduğu kış yağışlarından sonraki 3. dönemde toprakta SAR değerlerinin azaldığı ve 4. dönemden itibaren tekrar toprakta SAR' ın arttığı görülmektedir (Şekil 4.14). Bu artışlar toprak örnekleme dönemleri arasında önemli farklılıklar oluşturmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.23). Başlangıçta toprakta SAR değeri 0-10 cm toprak derinliğinde 1.77 meq L⁻¹ iken, 2. dönem sonunda NaCl sulama konularının SAR 20 düzeyinde 10.98 meq L⁻¹, SAR 40 düzeyinde ise 25.91 meq L⁻¹ e ulaşmıştır. 3. dönemde ise toprakta SAR değeri 0-10 cm toprak derinliğinde SAR 20 düzeyinde 9.03 meq L⁻¹, SAR 40 düzeyinde ise 13.75 meq L⁻¹ e kadar düşmüştür (Şekil 4.14). Bu düşme istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.23). NaCl tuz uygulamalarında tuz uygulaması yapılan 1, 2 ve 4. dönemlerde 10-20 cm ve 20-30 cm derinliklerde toprakta SAR değerlerinin başlangıç dönemine göre arttığı görülmektedir (Şekil 4.14).

NaHCO₃ tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde tüm derinliklerde toprakta SAR değerlerinin 2. dönem sonuna kadar önemli olarak arttığı, hatta 2. dönem süresince bu artışın SAR 40 düzeyinde daha fazla olduğu kış yağışlarından sonraki 3. dönemde toprakta SAR değerlerinin azaldığı ve 4. dönemden itibaren tekrar toprakta SAR değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 4.14). Bu artışlar toprak örnekleme dönemleri arasında önemli farklılıklar oluşturmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.23). Başlangıçta toprakta SAR değeri 0-10 cm toprak derinliğinde 1.77 meq L⁻¹ iken, 2. dönem sonunda SAR 20

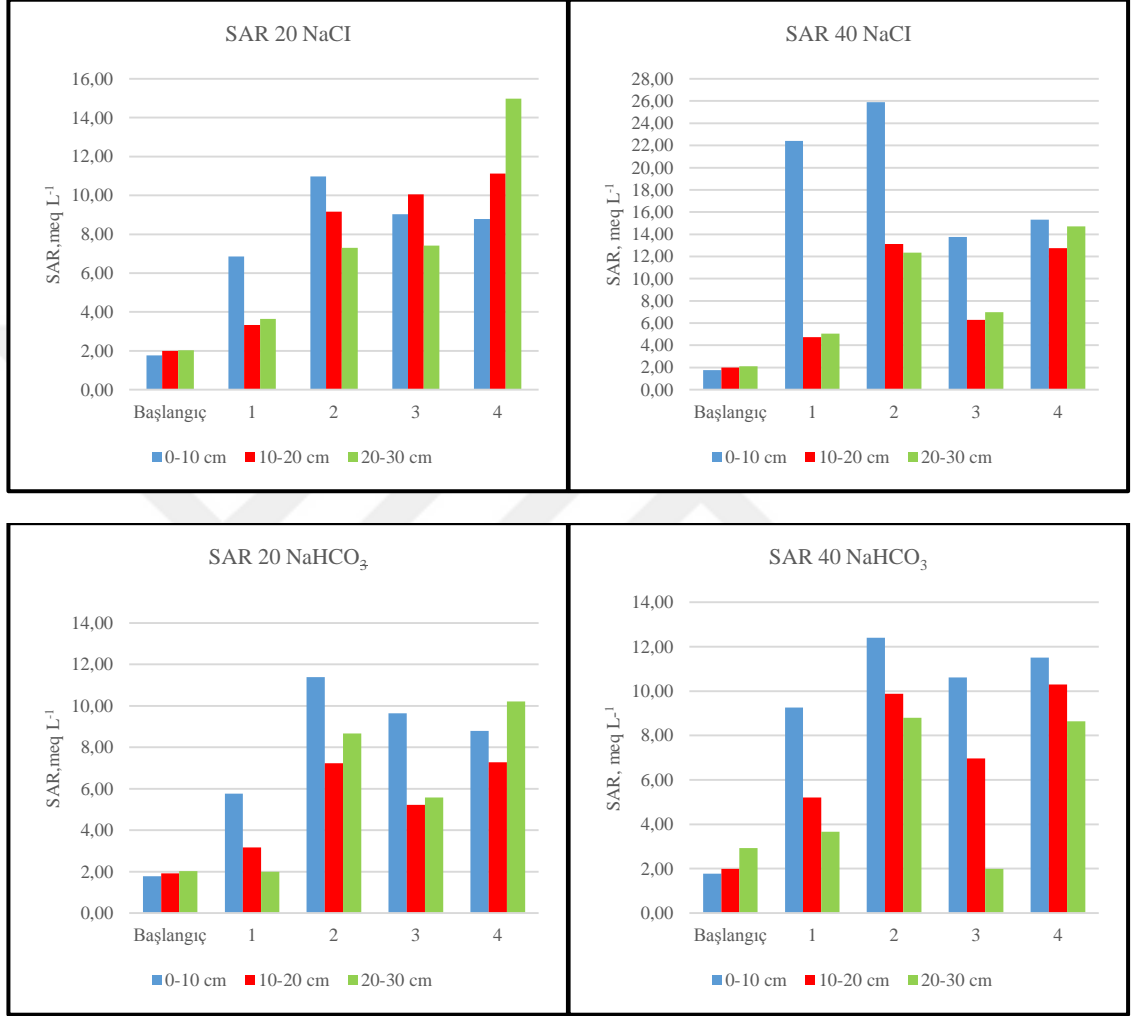
düzeyinde 11.39 meq L^{-1} , SAR 40 düzeyinde ise 12.40 meq L^{-1} a ulaşmıştır. Üçüncü dönemde ise toprakta SAR değeri 0-10 cm toprak derinliğinde SAR 20 düzeyinde 9.64, SAR 40 düzeyinde ise 10.62 meq L^{-1} a kadar düşmüştür (Şekil 4.13). Bu düşme istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.23). NaHCO_3 tuz uygulamalarında tuz uygulaması yapılan 1, 2 ve 4. dönemlerde 10-20 cm ve 20-30 cm derinliklerde toprakta SAR değerlerinin başlangıç dönemine göre arttığı görülmektedir (Şekil 4.14).

Toprakta SAR değerleri sulama suyunun tuzluluğu fonksiyonu olarak sulamalara bağlı olarak artmıştır. Hem yüzeyde hem de yüzey altı derinliklerde tuz uygulaması yapılan 1, 2 ve 4. dönemlerde toprakta SAR değerlerinin NaCl tuz çeşidinin doz uygulamalarında NaHCO_3 tuz çeşidine göre daha fazla olduğu sonucu bulunmuştur. Bu durum bize NaCl tuzunun çözünürlüğünün yüksek olması nedeniyle toprakta tuz uygulaması yapılan dönemlerde NaHCO_3 tuz çeşidi uygulamalarına göre daha fazla Na biriktiğini göstermektedir (Şekil 4.14). Na iyonunun ortamda olması ile daha önce bahsedildiği üzere Ca ve Mg iyonlarının yıkandığı ve bu yer değişiminin özellikle yüzeyde topraktaki SAR değerlerini arttırdığı söylenebilir. Benzer başka bir çalışmada ise Singh vd. (1992) işlenmiş topraklarda darı ve buğday yetiştirilen işlenmiş kum bünyeye sahip topraklarda yapılan çalışmada yüksek SAR ve EC değerine sahip sulama suları ile yapılan sulamalar sonrasında toprakta yüksek EC ve SAR değerlerinin alındığını bildirmişlerdir.

Kış yağışlarından dolayı ise Na^+ un yıkanması ile 3. dönemde toprakta SAR değerleri düşmüştür (Şekil 4.14). Benzer bir çalışmada Javadi vd. (2019) çalışmalarında yüksek EC ve SAR değerlerine sahip sulama sularının kullanıldığı çalışmaları toprakta Na iyonunun biriktiğini ve sulamalar sonrasında toprağın kimyasal özelliklerinde farklılıkların olduğunu ifade etmişlerdir.

Bizim çalışmamızda da toprakta EC_e ve Na arttığı tuz uygulanan sulama dönemlerinde toprakta SAR artmıştır ve 2. dönem sonunda en yüksek NaCl tuz uygulamasının SAR 40 düzeyinde 25.91 meq L^{-1} olarak belirlenmiştir (Şekil 4.14). Bu dönemde toprakta EC_e değeri de 5.53 dS m^{-1} e yükselmiştir (Şekil 4.2). Na^+ un artması ile toprak değişim kompleksleri ile toprak suyundaki iyon dengesinden dolayı Ca ve Mg toprak suyunda

serbest kalır ve Na ile yer değiştirir. Bunun sonucunda toprakta SAR artar. Sulama suyu kalitesine bağlı olarak toprakta SAR değerlerinin arttığı ile bizim çalışmamıza benzer sonuçlar çalışmalar mevcuttur. Regnasamy ve Olson (1993) Na' un NaCl, NaHCO₃, NaSO₄; Mg' un MgSO₄, MgHCO₃; Ca ' un ise CaSO₄ ve CaHCO₃ tuzları ile sulamalarla toprak çözeltisi içerisine ulaştığını ve SAR' ın değişimini sağladığını bildirmiştir. Araştırıcılar çalışmada farklı tuzluluk düzeyleri uygulanan suların toprakta EC_e ve Na içeriğini arttırdığı ve toprakta SAR' ın arttığını bildirmiştir. Topraktaki SAR' daki bu değişim önemli bulunurken tuzlu sulama sularının kullanılması ile sulama döneminde SAR değeri 0.47' den 17.7' ye yükselmiştir. Aynı çalışmada toprakta EC_e ile SAR arasında R²=0.89 düzeyinde ilişki bulunurken benzer bir çalışmada ise toprakta EC_e ile SAR arasında R²=0.73 düzeyinde ilişki belirlenmiştir. Mahdy (2011) farklı EC değerine sahip sulama sularının kullanıldığı çalışmada toprakta EC_e değerinin (3.35 ' den 15.53 dS m⁻¹, e), SAR değerinin (5.29' dan 8.43' e) artış gösterirken, değişebilir Na içeriği ve toprakta ESP' nin yüksek değerler aldığını belirtmişlerdir. Pessoa vd. (2019) kum tın ve siltli killi tın fluviyal iki toprakta  EC_e (2, 7, 20 dS m⁻¹), altı SAR (0, 5, 10, 15, 20 ve 25) oranı ve iki tuz eşidi (NaCl, CaCl₂.2H₂O) içeren sularını kullanmışlardır. Çalışma kapsamında sulama suyunun SAR oranının artmasından dolayı toprakta SAR ve toprak komplekslerindeki Na doygunluğunu gösteren ESP değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Bizim alışmamızdaki sonuçlara benzer şekilde toprakta EC_e ve SAR arasında pozitif korelasyon olduğu birçok araştımacı tarafından rapor edilmiştir (Corwin vd. 2003, Amezketa 2007, Ganjegunte vd. 2014, Ganjegunte vd. 2017).



Şekil 4.13 Toprakta SAR'ın sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.23 Toprakta SAR ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları
(birimi: meq L⁻¹)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	1.77a±0.00	1.99a±0.02	2.03a±0.03	Başlangıç	1.77a±0.00	1.98a±0.02	2.11a±0.1
1	6.866b±0.11	3.33a±0.01	3.65a±0.02	1	22.41c±0.39	4.74b±0.08	5.04b±0.19
2	10.98d±0.01	9.16b±0.26	7.30b±0.02	2	25.91d±0.02	13.12d±0.21	12.34d±0.12
3	9.03c±0.17	10.06b±0.83	7.42b±0.12	3	13.75b±0.85	6.30c±0.04	6.98c±0.03
4	8.78c±0.72	11.13b±0.40	14.98c±1.70	4	15.31b±0.25	12.74d±0.12	14.72e±0.03

SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	1.77a±0.00	1.92a±0.08	2.03a±0.03	Başlangıç	1.77a±0.00	1.99a±0.02	2.03a±0.03
1	5.76b±0.11	3.17a±0.24	1.99a±0.11	1	9.26b±1.15	5.20ab±1.82	3.66b±0.11
2	11.39cd±0.21	7.23c±0.32	8.67c±0.16	2	12.40b±0.93	9.88c±0.14	8.79c±0.13
3	9.64d±1.14	5.22b±0.19	5.58b±0.62	3	10.62b±0.22	6.96bc±0.15	1.99a±0.01
4	8.79c±0.21	7.28c±0.43	10.20e±0.10	4	11.50b±0.66	10.30c±0.33	8.64c±0.18

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4:Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.3.6 ESP

Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) toprakta Na birikimini gösteren göstergelerden birisidir. Yüksek düzeylerdeki ESP değerleri, düşük tuzluluk koşulunda toprak yapısını bozma yönünde bir etkide bulunmaktadır (Yurtseven vd. 2012). Ancak topraklarda yüksek ESP değerlerinde toprak yapısının bozulması, yağmur veya sulama suyu tarafından mekanik bir etki ile olabilmektedir (Yurtseven 2016).

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak ESP değerlerinin dönemlerdeki değişimi şekil 4.15' de, Tukey çoklu gruplandırmaları çizelge 4.24' de verilmiştir. Çalışmada NaCl ve NaHCO₃ tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde

toprakta ESP' nin 2. dönem sonuna kadar önemli olarak arttığı, hatta 2. dönem süresince bu artışın SAR 40 düzeyinde daha fazla olduğu kış yağışlarından sonraki 3. dönemde ESP konsantrasyonunun azaldığı ve 4. dönemden itibaren tekrar toprakta ESP' nin arttığı görülmektedir (Şekil 4.15). Bu artışlar toprak örnekleme dönemleri arasında önemli farklılıklar oluşturmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.24).

Başlangıç toprakta ESP değeri 0-10 cm toprak derinliğinde % 1.34 iken, 2. dönem sonunda NaCl sulama konularının SAR 20 düzeyinde % 12, SAR 40 düzeyinde ise % 26' ya ulaşmıştır. Üçüncü dönemde ise toprakta ESP değeri 0-10 cm toprak derinliğinde SAR 20 düzeyinde % 9.03, SAR 40 düzeyinde ise % 13.75 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.15). NaHCO₃ tuz uygulamalarında ise 2. dönem sonunda SAR 20 düzeyinde % 13, SAR 40 düzeyinde ise % 14' e kadar artış göstermiştir. Toprakta ESP değerlerindeki dönemler arasındaki değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.24). NaCl tuz uygulamalarında tuz uygulaması yapılan 1, 2 ve 4. dönemlerde 10-20 cm ve 20-30 cm derinliklerde toprakta ESP değerlerinin başlangıç dönemine göre arttığı görülmektedir (Şekil 4.15).

Hem yüzeyde hem de alt yüzeylerde tuz uygulaması yapılan 1, 2 ve 4. dönemlerde toprakta ESP değerlerinin NaCl tuz çeşidinin doz uygulamalarında NaHCO₃ tuz çeşidine göre daha fazla olduğu sonucu bulunmuştur. Bu durum bize toprakta SAR' ın değişiminde olduğu gibi, NaCl tuzunun çözünürlüğünün yüksek olması nedeniyle verilen tuzların toprakta tuz uygulaması yapılan dönemlerde NaHCO₃ tuz çeşidi uygulamalarına göre daha fazla Na birikmesine neden olduğunu göstermektedir (Şekil 4.15).

Toprakta SAR değerlerindeki değişimlere benzer şekilde Na iyonunun ortamda fazla olması ile daha önce bahsedildiği üzere Ca ve Mg iyonlarının yıkandığı ve bu yer değişiminin özellikle yüzeyde topraktaki ESP değerlerini arttırdığı söylenebilir. Kış yağışlarından dolayı ise Na' un yıkanması ile 3. dönemde toprakta ESP değerleri düşmüştür (Şekil 4.15). Yaptığımız bu çalışmada ise farklı SAR değerine sahip Na içeren sulama sularının kullanılması ile toprakta ESP' nin arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.14). Pessoa vd. (2019) farklı sulama kalitesine sahip sulama sularının kullanılmasıyla

yaptıkları çalışmalarında değişebilir Na ve ESP değerlerinin arttığını fakat toprakta $ESP > 15$ 'e ulaşamadığından alkali toprak olarak sınıflandırma yapılamadığını bildirmişlerdir (Richards 1954).

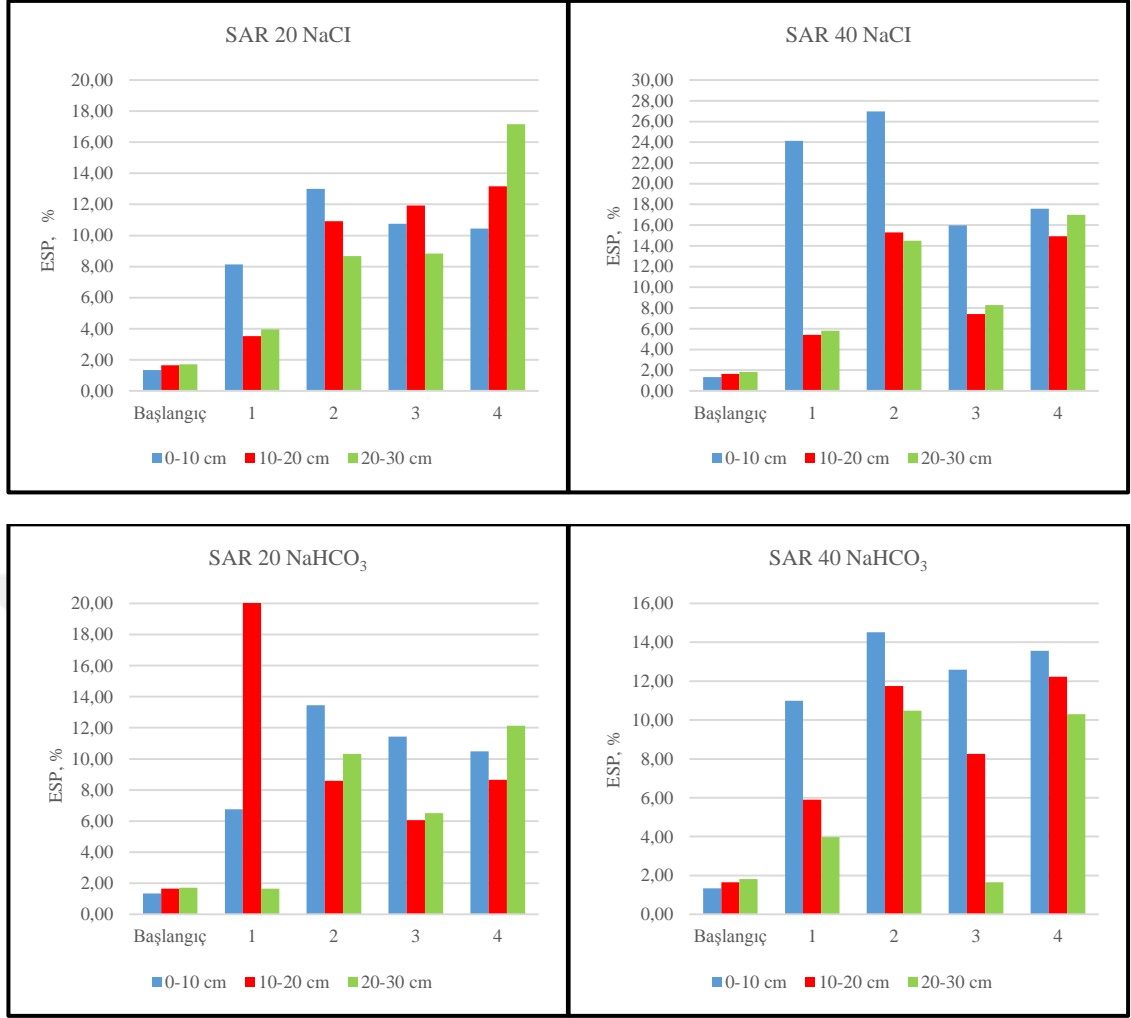
Benzer bir çalışmada Temizel ve Tok (2019a) Samsun Bafra koşullarında beş farklı SAR düzeyi ve farklı çözünürlükteki tuzlarla hazırlanan sulama suyu kullandıkları çalışmada toprakta SAR değerlerinin artmasına bağlı olarak ESP nin arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar on sulama sonrasında en yüksek ESP değerini SAR 40 düzeyinde % 4.12 olarak belirlerken, en düşük SAR 0 (kontrol) düzeyinde % 1.31 olarak tespit etmişlerdir.

Mahdy (2011) ise farklı EC değerine sahip sulama sularının kullanıldığı çalışmada toprakta EC_e değerinin (3.35' den 15.53 $dS m^{-1}$ e), SAR değerinin (5.29' dan 8.43' e) artış gösterirken, değişebilir sodyum içeriği ve ESP' nin yüksek değerler aldığını belirtmişlerdir. Bizim çalışmamızda ise sulama sayısının daha fazla olması ve toprağa verilen Na tuzlarının miktarı düşünüldüğünde en yüksek toprakta ESP değerinin 2. dönemde NaCl tuz çeşidinin Na konsantrasyonunun daha fazla olması nedeniyle SAR 40 düzeyinde % 26 olarak belirlenmesi beklenen bir durumdur. Na' un topraktaki değişim kompleksleri üzerindeki olumsuz etkileri kil yüzeyindeki Na iyonu adsorpsiyonunun toplam katyon değişim kapasitesine oranı % 6' yı geçtiğinde görülür (Rengasamy ve Olsson 1993, Gordon 2003, Yakupoğlu ve Özdemir 2007, Temizel ve Tok 2019a). Başka bir çalışmada ise Rengasamy ve Olsson (1993) çalışmalarında toprak yüzeyindeki değişebilir Na' un yıkanarak alt derinliklerde biriktiğini ve bu durumun toprakta ESP değerlerinin arttırdığını ifade etmişlerdir.

Toprakta ESP değerleri değişebilir Na' un konsantrasyonunun yüksek olması ile ilişkilidir. Aynı çalışmada toprak suyundaki suda çözünebilir Ca ve Mg konsantrasyonlarının yüksek olması toprağa uygulanan toprak düzenleyici ve Ca içeren kalsiyum nitrat gibi gübrelere bağlanmış ve çalışmada toprakta ESP değerleri düşük belirlenmiştir. Ricks Presley vd. (2004) Avusturalya' da yaptıkları çalışmalarında uzun

sürelili düşük kalitedeki sulama suyunun kullanılması durumunda toprakta ESP değerlerinin toprak profilinde önemli derecede yükseldiğini ifade etmişlerdir.

Ranbar ve Jalali (2006) farklı SAR değerlerini kullandıkları çalışmada SAR 2.5 uygulamasında ESP değerlerinin 20 yıl sonunda % 10.1' den % 5.6' ya düştüğünü, uzun süreli SAR 10 ve 40 sulama sularının kullanılmasıyla toprakta ESP değerlerinin sırasıyla % 27.8 ve % 88.5' e yükseldiğini, SAR 40 düzeyinde sulama sularının uzun süreli kullanımında toprakların alkalileştiğini rapor etmişlerdir. Louati vd. (2018) Doğu Tunus'ta toprak tuzluluğuna tuzlu sulama sularının etkilerini araştırdıkları çalışmada sulama sularının yüksek SAR düzeyleri dolayı ESP' nin toprak derinliğine bağlı olarak % 19.40' dan % 28.55' e artma gösterdiğini bildirmişlerdir. Pessoa vd. (2019) kumlu tın ve siltli killi tın fluvial iki toprakta EC_e (0.2, 0.7, 2 dS m⁻¹), altı SAR (0, 5, 10, 15, 20 ve 25) düzeyi ve iki tuz çeşidi (NaCl, CaCl₂.2H₂O) içeren suları kullanmışlardır. Araştırmacılar, sulama sularının SAR düzeylerindeki artışına bağlı olarak EC 0.2 ve 0.7 dS m⁻¹ uygulamalarında ESP önemli değişim göstermediğini, EC 2.0 dS m⁻¹ de ESP' nin arttığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.14 ESP ' nin sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.24 ESP ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırılmaları (birimi: %)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	1.34a±0.01	1.65a±0.03	1.71a±0.04	Başlangıç	1.34a±0.01	1.65a±0.03	1.82a±0.08
1	8.14b±0.14	3.53a±0.02	3.96a±0.03	1	24.12c±0.34	5.42b±0.11	5.82b±0.25
2	12.99d±0.01	10.92b±0.31	8.68b±0.03	2	26.99d±0.01	15.31d±0.22	14.48d±0.13
3	10.76c±0.20	11.93b±0.95	8.83b±0.15	3	15.97b±0.89	7.43c±0.06	8.29c±0.03
4	10.45c±0.85	13.16b±0.45	17.17c±1.9	4	17.58b±0.25	14.92d±0.13	16.98e±0.03
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	1.34a±0.01	1.65a±0.03	1.71a±0.05	Başlangıç	1.34a±0.01	1.65a±0.03	1.82a±0.01
1	6.75b±0.15	3.30b±0.34	1.65a±0.16	1	10.99b±1.34	5.90ab±2.38	3.97b±0.15
2	13.45d±0.24	8.59d±0.40	10.33±0.19	2	14.52b±1.01	11.75c±0.16	10.48c±0.15
3	11.43cd±1.33	6.05c±0.24	6.51±0.80	3	12.59b±0.26	8.26bc±0.18	1.64a±0.02
4	10.48c±0.25	8.65d±0.52	12.14±0.12	4	13.56b±0.73	12.23c±0.37	10.30c±0.22

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4:Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.4 Tuzlu Sulama Uygulamalarına Bağlı Olarak İnfiltrasyon Hızı, Suya Dayanıklı Agregat Yüzdesi, Ortalama Ağırlık Çap, Geometrik Orta Çap ve Hacim Ağırlığı Değerlerindeki Değişimler

Bu bölümde sırasıyla tuz uygulamalarına bağlı olarak infiltrasyon hızı, suya dayanıklı agregat yüzdesi, ortalama ağırlık çap, geometrik orta çap ve hacim ağırlığı parametreleri-

nin değişimleri incelenecektir.

4.4.1 İnfiltasyon hızı

İnfiltasyon suyun toprak yüzeyinden toprağa girişini ifade etmektedir. Toprağın içerdiği Na miktarı infiltasyonu önemli düzeyde etkilemektedir. Genelde toprak infiltasyon hızındaki değişimler, toprağın üst kısımlarında oluşur. İnfiltasyon hızındaki bu değişimler toprağın strüktürü ve Ca içeriğine göre fazla miktardaki Na içeriğinin olması ile ilişlidir. Toprak yüksek Na içeren sulama suları ile sulandığında, toprak üst yapısında oluşan yüksek sodyumluluk etkisiyle toprakların strüktürel yapısı zayıflar ve zayıflayan bu agregatlar parçalanarak küçük boyutlu yapılar meydana getirirler. Bu dağılmış yapıdaki toprak tanecikleri, toprak boşluklarını tıkayarak su ve hava geçişinin zayıflamasına neden olmaktadır.

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak nihai infiltasyon hızı değerlerinin dönemlerdeki değişimi Şekil 4.16' da, Tukey çoklu gruplandırılmaları Çizelge 4.25' de verilmiştir. Çalışmamız sonucunda NaCl tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde infiltasyon hızının 2. dönem sonuna kadar ($p < 0.05$) önemli olarak azaldığı, 3. dönemde düzelmeye görüldüğü de bu düzelmeye tuz uygulaması yapılan dönemlerden istatistiksel olarak ($p > 0.05$) önemli olmadığı, 4. dönemde ise tekrar azalmanın olduğu görülmektedir (Şekil 4.16). Bu azalışlar toprak örnekleme dönemleri arasında önemli farklılıklar oluşturmuştur (Çizelge 4.25). Başlangıç nihai infiltasyon hızı 25.46 cm h^{-1} iken 2. dönemin sonunda SAR 20 düzeyinde 4 saat sonrasında 9.10 cm h^{-1} e kadar düşme gösterirken, SAR 40 düzeyinde infiltasyon hızı 5.10 cm h^{-1} olarak tespit edilmiştir. Dördüncü dönem sonunda ise SAR 40 düzeyinde nihai ortalama infiltasyon hızı 5.45 cm h^{-1} olarak belirlenmiştir (Şekil 4.16).

NaHCO_3 tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde nihai infiltasyon hızı 2. dönem sonuna kadar önemli olarak azaldığı, hatta 2. dönem süresince bu azalışın SAR 40 düzeyinde daha fazla olduğu, kış yağışlarından sonraki 3. dönemde ise infiltasyon hızının arttığı ve 4. dönemde tekrar infiltasyon hızında azalmanın olduğu görülmektedir (Şekil 4.16). Bu azalışlar toprak örnekleme dönemleri arasında ($p < 0.05$) önemli farklılıklar oluşturmuştur (Çizelge 4.25). Başlangıç nihai infiltasyon hızı değeri 25.46 cm h^{-1} iken 2. dönemin sonunda SAR 20 düzeyinde 9.60 cm h^{-1} e kadar düşme

göstermiştir. Dördüncü dönem sonunda ise SAR 40 düzeyinde nihai ortalama infiltrasyon hızı 2.26 cm h^{-1} olarak belirlenmiştir (Şekil 4.16).

Çalışmada infiltrasyon hızı sulama suyu dozu, tuz çeşidi ve sulama dönemlerine göre değişim göstermiştir. Kullanılan Na içeren sulama sularının SAR değerlerinin artmasına bağlı olarak toprağın değişebilir Nayüzdesi artış göstermekte ve toprak alkali olma eğilimi göstermektedir. Yüksek Na içeren topraklarda, toprak yapısı bozulur ve toprağın parçalanması ile beraber toprakta gözeneklilik azalır. Büyük boşlukların tıkanmasından dolayı su ve havanın iletimi engellenir. Hussain vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada sulama sularındaki yüksek Na içeriğinin değişim komplekslerinde ekstrakte edilebilir Na konsantrasyonunu artırdığını, toprakların hızlıca dispers olduğunu ve bunun sonucu olarak suyun toprağa giriş hızının azaldığını belirtmişlerdir. Patel vd. (2011) farklı SAR ve tuzluluk seviyelerine sahip suları kullanarak çift silindri infiltrometreler ile su girişini belirledikleri çalışmalarında sulama suyunun SAR değerinin toprağa su giriş hızını etkilediğini belirtmişlerdir. Abukarimo vd. (2018) Suudi Arabistan bölgesinde kumlu tınlı bir toprakta çift silindri infiltrometre kullanılarak infiltrasyon ölçümleri yapmışlardır. Araştırmacılar sulama suyundaki SAR ve EC 'nin infiltrasyon oranı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada beş farklı sulama suyu kalitesine sahip sulama suyu kullanmışlardır. Yapılan çalışmada araştırmacılar başlangıç infiltrasyon oranı 305 mm h^{-1} olduğunu sırasıyla SAR değerleri 3.34, 3.52, 4.14, 4.18 ve 7.60 olan sulama suyunun kullanımı ile infiltrasyon oranlarının 240, 137, 104, 65 mm h^{-1} e düştüğünü tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada 180 dakika sonra kumlu-tınlı toprakta nihai infiltrasyon hızlarının $21.1-44.0 \text{ mm h}^{-1}$ arasında olduğunu, farklı su kaliteleri için nihai infiltrasyon hızının ortalama 33.8 mm h^{-1} olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar sonuç olarak başlangıca göre sulama suyunun SAR değerlerindeki artmaya göre bağlı olarak infiltrasyon hızının % 79 azaldığını belirtmişlerdir. Benzer çalışmalarda alınan sonuçlar çalışmada elde edilen sonuçları desteklemektedir (Suarez 2007, Suarez 2010, Urbano vd. 2017).

Ayrıca çalışma alanımızdaki topraklar tekstür olarak killi tın bünyeye sahiptir. İnfiltrasyon üzerine toprak tekstürünün etkisinin olduğu literatürlerde yer almaktadır (Qadir vd. 2006 Abbaslou vd. 2016, Singh vd. 2018). İnfiltrasyon hızı

toprağın yüzey koşulları, başlangıç su içeriği, hidrolik iletkenliği, tekstür, strüktür, hacim ağırlığı ve gözenek büyüklük dağılımı gibi birçok toprak özelliğine bağlı olarak değişik değerler alabilir (Hillel 1980, Ertaş 2010). İnce tekstürlü toprakların infiltrasyon hızı düşüktür. Ayrıca yağmur damlalarının darbe etkilerine karşı bitki artıkları veya suya dayanıklı agregatlarca korunmayan toprakların yüzeylerinde zamanla oluşan kabuk bu topraklarda infiltrasyon hızını önemli ölçüde düşürebilir. İnfiltrasyon hızı düştükçe yüzey akışı artar ve dolayısıyla toprak kaybı hızlanır (Erşahin 2001).

Çalışmamızda başlangıçta deneme alanı topraklarının infiltrasyon hızının 25.46 cm h^{-1} olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Killi toprakların daha çok dispers olduğu bilinmektedir. Bundan hareketle toprak tekstürünün kil olması ve sulama suyunun SAR değerlerinin artması ile toprakların dispers olduğu ve gözeneklerin kil parçacıkları tarafından tıkandığı anlaşılmaktadır. Lin vd. (1997) tarafından Kuzey Amerika’ da kil tekstüre sahip topraklarda yapılan çalışma sonucunda infiltrasyon hızının yüksek olduğunu ve bunun nedeninin, topraklardaki iyi gelişmiş strüktür ve makro gözeneklerden kaynaklandığı rapor edilmiştir. Aynı zamanda araştırmacılar kötü gelişmiş bir yapıya sahip killi toprakların düşük infiltrasyon hızına sahip olduğunu da bildirmişlerdir. Ahaneku (2011), kumlu tın toprakta çift silindirli bir infiltrometre kullanarak infiltrasyonu belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda kumlu tın toprakta 4 saat sonra infiltrasyon hızını 30 mm h^{-1} olarak tespit etmiştir. Sun vd. (2018) yaptıkları çalışmada 0 (kontrol), 1, 2, 3, 6, 9 ve 12 g L^{-1} NaCl içeren tuzlu sulama suları ile kumlu tın ve siltli kil iki farklı toprakta infiltrasyon testleri yapmışlardır. Araştırmacılar çalışmada kumlu toprakta $1-9 \text{ g L}^{-1}$ NaCl içeren tuzlu sulama suların kullandığında infiltrasyondaki farklılıkları istatistiksel olarak önemsiz bulurken, siltli kil toprakta 12 g L^{-1} NaCl sulama uygulamasında infiltrasyondaki değişimleri önemli bulmuşlardır. Araştırmacılar çalışma sonucunda farklı tuz seviyesindeki uygulamalara bağlı olarak kumlu tın ve siltli kil toprakların infiltrasyon hızları karşılaştırıldığında kumlu tın toprakta nihai infiltrasyon hızının daha yüksek olduğunu, siltli kil toprakta $<6 \text{ g L}^{-1}$ NaCl uygulamalarda 0-20 cm derinlikte tuzların biriktiğini ve toprakların sulama suyundaki Na konsantrasyonunun artmasından dolayı dispers olduğunu ve gözeneklerin tıkanması ile infiltrasyon hızını etkilendiğini ifade etmişlerdir

Toprak çözeltilisinin tuz konsantrasyonu ve Na içeriği kil taneciklerinin parçalanmasına etki etmektedir. Toprakta kil taneciklerinin parçalanması su iletimini sağlayan porların tıkanmasına neden olmaktadır ve toprakların gözeneklilik, geçirgenlik ve hidrolik iletkenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bizim çalışmamızdaki sonuçlarını benzer çalışmalardaki sonuçlar desteklemektedir. (Rhoades ve Ingvalson 1969, Rowell vd. 1969, Felhendler vd. 1974, Frenkel vd. 1978, Pupisky ve Shainberg 1979, Shainberg ve 1981a,b, Shainberg ve Levy 1992, Amezketa 1999, Tedeschi ve Dell'Aquila 2005, Levy vd. 2014). Kil taneciklerinin disperse olması ile gözeneklerin tıkanmasıyla ilgili (Buckman ve Brady 1967, Ayers ve Westcot 1976, Shainberg ve Letey 1984, Miller ve Donahue 1995) çalışmalar bulunmaktadır. Toprak hidrolik özelliklerindeki bozulmalar infiltrasyonu da etkilemektedir (Buckman ve Brady 1967, Miller ve Donahue 1995, Barbour vd. 1998, Bauder ve Brock 2001). Başka bir çalışmada Bhatti vd. (2019) çalışmasında devam eden sulamalar sonrasında toprakta Na tuzlarının biriktiğini, Na' un Ca ve Mg iyonları ile yer değiştirmesinden dolayı toprakta bozulmadan dolayı su iletiminin yavaşladığını ve infiltrasyonda düşmenin olduğunu tespit etmişlerdir.

İnfiltrasyon topraktaki büyük boşluklara bağlı olarak artma ve azalma göstermektedir. Bu nedenle arazi kullanım şekli önem taşımaktadır (Ertaş 2010). Çalışma alanında uzun yıllar boyunca tahıl tarımı yapılmakta olup geleneksel toprak işleme yapıldığı göz önüne alınırsa infiltrasyon hızında bir düşme olması muhtemeldir. İnfiltrasyon süreçleri toprak gözenek büyüklük dağılımı ve parçacık büyüklüğü ile yakından ilişkilidir. Toprakların farklı gözenek büyüklük dağılımları, farklı infiltrasyon oranlarının olmasını ortaya çıkarmaktadır (Campbell ve Shiozawa 1992, Bittelli vd. 1999).

Çalışma gereği arazi üzerinde bitki yetiştirilmemiş olmasına rağmen sulamalarla yabancı otların çıkışı örnekleme dönemlerinde fazla miktarda olmuştur. Bu nedenle kök kanallarında su akışının fazla olması veya köstebek yuvalarına bağlı olarak çalışılan parsellerin bazı bölümlerinde su akışı fazla olmuş ve hatalı infiltrasyon sonuçları alınmıştır. Alınan sonuçlar infiltrasyon hesaplaması sırasında ortalamaya dahil edilmemiş ve testler tekrarlanmıştır. Toprak strüktürü ve topraktaki yapısal gözenekler (solucan kanalı, kök kanalı, diğer kanalcıklar vs.) yapısı ve bu kanalcıkların sürekliliği ile çaplarının infiltrasyonu önemli derecede etkilemektedir (Beven vd. 1986). Neris vd.

(2012) yarı kurak alanlarda yapılan infiltrasyon kapasitesi ile ilgili çalışmalarında toprak özellikleri ve arazi kullanımındaki değişikliklere neden olduğunu vurgulamışlardır. Kök kanallarındaki su akışı, toprakta meydana gelen infiltrasyonda önemli bir parametredir (Weiler ve Naef 2003). Kök kanalları toprak özelliklerine dayanarak makro gözenekliliğe sebep olur ve beklenenden daha fazla infiltrasyon ile sonuçlanan bir durum ortaya çıkar (Van Schaik 2009).

Smith (1999) toprak strüktür tiplerinin infiltrasyona olan etkilerini incelediği çalışmada toprak tekstürü ve gözenekliliğinin infiltrasyonu anlamada yeterli olmadığını bunların yanında toprak strüktürü ve nem içeriğinin etkili olduğu üzerinde durmuşlardır. Hawkes (1980) sodyum bakımından zengin topraklarda Na iyonlarının toprağı parçalaması ve teksele hale getirmesinden dolayı toprak strüktürünü bozduğunu ve bu durumun topraklarda suyun infiltrasyonunu azalttığını tespit etmişlerdir. Yine aynı araştırmacı organik madde yönünden zengin topraklarda organik maddenin toprağın fiziksel özelliklerine olumlu etkilerinden dolayı infiltrasyonun hızlı olduğunu belirtmiştir.

Toprağı tuzlu sulama suların uygulandığı özellikle 2. dönemde her iki tuz çeşidinde SAR 40 düzeyinde infiltrasyon hızının önemli şekilde düştüğü görülmüştür (Şekil 4.16). Eğer çalışma planlanırken sulama suyu SAR düzeyleri olarak ara düzeyler seçilseydi SAR düzeyleri arasındaki farklılığın infiltrasyona etkileri daha iyi açıklanabilirdi. Nitekim çalışmamızda SAR 20 ve 40 düzeyleri kullanılmış her iki tuz çeşidinin her iki düzeyinde benzer infiltrasyon hızları bulunmuştur. SAR düzeyleri bağı olarak infiltrasyon hızları arasındaki fark tam olarak ifade edilmemektedir. Buda bize topraktaki su iletimindeki bozulmanın daha küçük SAR değerlerinde başladığını göstermektedir. Bir çalışmada Oster vd. (1992) EC değerinin 0.4 dS m^{-1} altında SAR değerlerinin 3.1 ile 6.0 arasında iken infiltrasyon hızında düşmelerin olabileceğini vurgulamıştır.

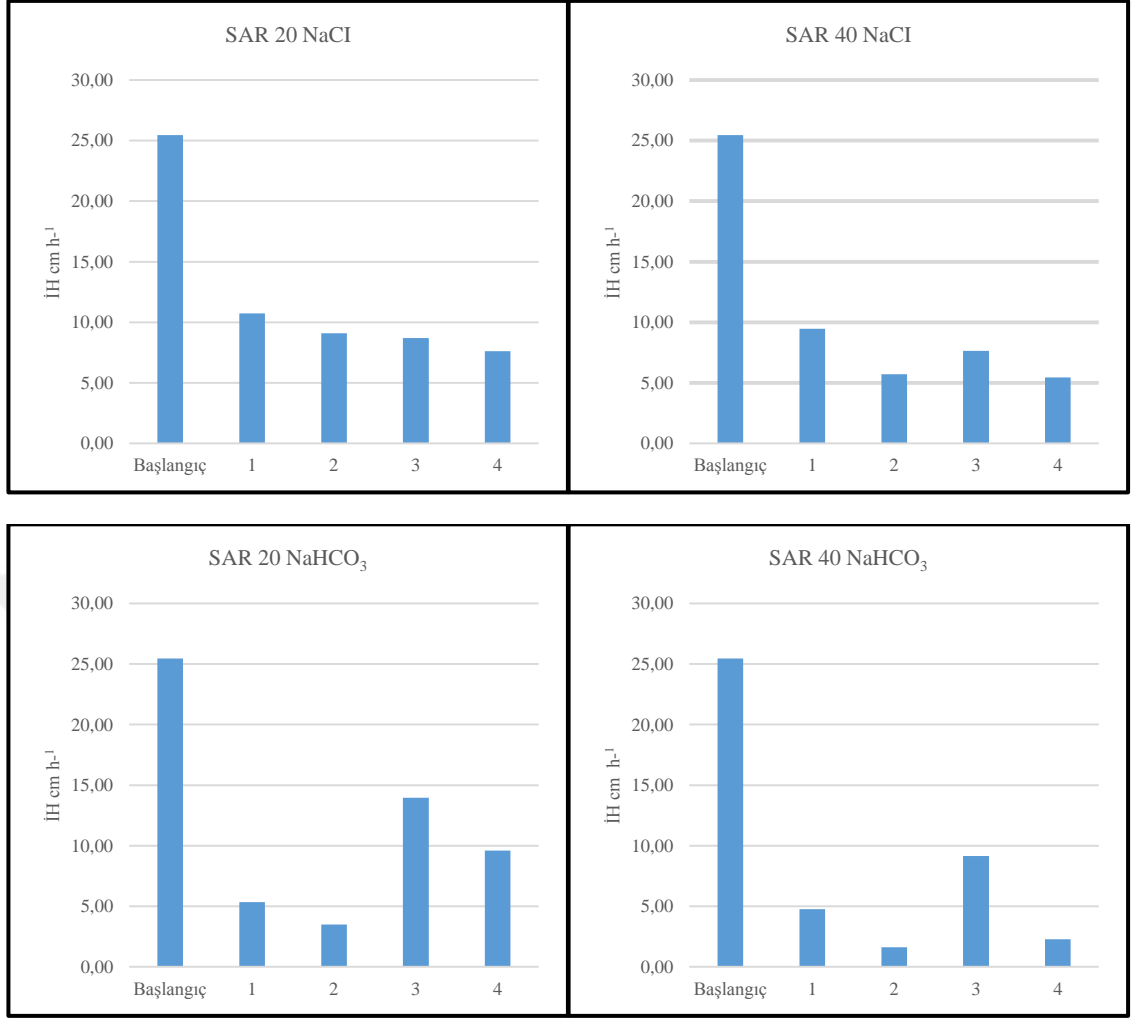
Çalışmada infiltrasyon hızı için NaHCO_3 tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde özellikle SAR 40 düzeyinde dönemler arasında önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.25). Bu durumun nedeni sulama sularındaki NaHCO_3

fazla olmasından dolayı ile toprakta pH' nın artması ile toprak tuzluluktan alkali duruma geçmesi ve ortamda konsantrasyonu artan Na' un ESP' yi arttırmasıdır (Şekil 4.3). ESP topraklarda toprak çözeltisindeki Na konsantrasyonunu ifade eden bir parametredir. Burada dikkat çeken durum NaCl' lü sulama uygulamalarında ESP değerleri NaHCO₃ sulama uygulamalarına göre daha fazla olmasına rağmen en düşük infiltrasyon değerlerinin NaHCO₃ tuz içeren uygulamalarda tespit edilmesidir. Bu durum muhtemelen NaCl tuz uygulamalarında tuzların fazla olması ve tuzların sıkıştırma etkisiyle toprak taneciklerinin flokulasyonu arttırması infiltrasyondaki düşmenin az olmasına neden olmuştur. Sağlam (2001)' e göre kolloidlerin dispers olması ve flokulasyonunu açıklayan kavramlar elektriksel çift tabakanın kalınlığı ve zeta potansiyelidir. Anyon ve katyonlarından ayrılan olan tuzlar, kolloidleri saran katyonları kolloidal yüzeye doğru iterek sıkıştırmaktadır Bu sıkıştırmanın derecesine göre kolloidin hemen yüzeyindeki adsorbe edilmiş katyon konsantrasyonu ile kolloidden uzakta bulunan aynı cins katyon konsantrasyonu arasındaki fark azalmaktadır. Şahin (2009)' e göre kolloidal dispersiyona bir elektrolit eklendiğinde zıt yüklü iyonlar tanecik yüzeyine çekilir ve elektriksel çift tabakaya girerler. Elektriksel çift tabakada iyon konsantrasyonunun artmasından dolayı kolloidal taneciğin çekme kuvvetinin etki alanını azaltır ve tabakayı sıkıştırmasına neden olur. Çalışmada muhtemelen NaHCO₃ tuz uygulamaları kolloidler yüzeyinde tutulan iyonlar ile toprak çözeltisindeki iyonlar arasında var olan dengeyi bozmuştur. NaHCO₃ tuz çeşidinin toprakta pH açısından önemli olduğu istatistiksel olarak önemli olduğu göz önüne alındığında çalışmamızda Na iyonunun tek değerlikli olması ve hidrate çapının büyük olmasından dolayı, özellikle NaHCO₃' lü sulama uygulamalarında elektriksel çift tabakanın kalınlığını arttırmış ve zeta potansiyeli yükselmiştir. Bu durumda dispersiyon olayı gerçekleşmiş ve parçalanmış kil tanecikleri su iletimini sağlayan boşlukları tıkadığı için infiltrasyonu azaltmıştır. Özdemir (2019)' a göre zeta potansiyel değeri üzerine pH, elektrolit türü, katyon ve anyonların değeri, ortamın iyon şiddeti, yüzey aktif madde türü ve miktarı ve sıcaklık parametreleri etkilidir. Su ile hazırlanan dispersiyonlarda zeta potansiyel değeri ortaya çıkmasında pH seviyesi etkili bir faktördür. Zeta potansiyel (-) değere sahip bir taneciğin bulunduğu sulu ortama katyonun eklenmesi ile alkali miktarı artırıldığında ortamdaki OH⁻ iyon derişimi artacağından sistemin zeta potansiyel değeri daha negatif potansiyellere kayar. Yakupoğlu ve Özdemir (2007)' e göre toprakta

Na konsantrasyonunun yüksek olması, toprağın bünyesi, yapısı, çözeltideki Ca ve Mg konsantrasyonu gibi birçok faktörle ilişkili olmasından dolayı dispersiyon, toprağın infiltrasyon ve hidrolik iletkenliğinin düşmesine neden olur. Shainberg vd. (1989)' a göre toprakta tuzların konsantrasyonunun artması elektriksel çift tabakanın sıkışmasına, dolayısıyla toprak tanecikleri arasındaki itici güçlerin azalmasını neden olmaktadır. Elektriksel çift tabakanın kalınlığını tuzların konsantrasyonu ve toprak suyundaki kationların çeşidi etkilemektedir. Na' ın toprakta Ca' a göre oransal olarak fazla olması elektriksel çift tabakanın kalınlığını arttırması ile literatürlerde yer almaktadır (Park ve O'Connor 1980, Ranade ve Gupta 1987, So ve Aylmore 1993, Anandarajah 2003, Sposito 2008, Mahanta vd. 2013, Sherard vd. 2015, Parameswaran vd. 2017).

Buradan NaHCO₃ tuzu içeren sulama sularının kullanılması halinde infiltrasyonda düşmelerin daha fazla olacağı sonucu ortaya çıkmıştır. Yani NaHCO₃ sulama sularında daha düşük ESP değerlerinde toprakta infiltrasyon hızı düşerken, NaCl tuz uygulamalarında bu düşmenin daha yüksek ESP değerlerinde ortaya çıktığı anlaşılmaktadır (Şekil 4.14). Fakat çalışmanın son dönemi için yapılan varyans analizi sonuçlarına göre infiltrasyon hızı üzerine SAR düzeyi ve SAR düzeyixtuz çeşidi interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken tuz çeşitlerinin etkisi p>0.05 düzeyinde önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.7,4.9). Sulamalara devam edilmiş olsaydı belki de tuz çeşitleri arasında farklılığa neden olacak ve NaHCO₃ tuz çeşidinin etkisi önemli olarak bulunacaktı.

NaHCO₃ tuzu uygulamalarında tuz uygulaması yapılan dönemlerde ESP değerleri >10 olduğunda, NaCl tuzu uygulamalarında ise ESP >20 olduğunda toprakta strüktüründe bozulmaların yaşandığı ve buna bağlı olarak toprak hidrolojik özelliklerindeki değişimin önemli olduğu görülmektedir. NaHCO₃ içeren sulama suyunun kullanılması ile toprak hidrolik özelliklerinden infiltrasyonun azaldığını belirten benzer çalışmalar bulunmaktadır (Costa vd. 1991, Costa vd. 2015, Costa vd. 2016).



Şekil 4.16 İnfiltrasyon hızının sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4. 25 İnfiltrasyon hızı ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırılmaları

SAR 20 NaCl		SAR 40 NaCl	
Dönem	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H
Başlangıç	25.46a±0.46	Başlangıç	25.46c±0.46
1	10.73b±0.03	1	9.45b±0.05
2	9.10b±0.05	2	5.70a±0.10
3	8.70b±1.56	3	7.65b±0.25
4	7.60b±2.52	4	5.45a±0.25
SAR 20 NaHCO ₃		SAR 40 NaHCO ₃	
Dönem	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H
Başlangıç	25.46e±0.46	Başlangıç	25.43c±0.46
1	5.35b±0.05	1	4.75a±0.45
2	3.50a±0.10	2	1.60a±0.20
3	13.95d±0.05	3	9.15b±0.25
4	9.60c±0.20	4	2.26a±1.29

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.4.2 Suya dayanıklı agregat yüzdesi

Toprakların rüzgar, yüzey akışı ve yağış gibi dış etkenler karşısında dayanıklılığı olarak tanımlanan agregat dayanıklılığı, toprak bozulmasını ortaya koyan en önemli göstergelerden biridir. Su toprakta agregatların yapısını bozan en önemli güçlerden birisidir. Toprakta suyun etkisine direnç gösteren agregatlar suya dayanıklı agregatlar olarak tanımlanmaktadır (Tate 1995, Yılmaz vd. 2005).

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak suya dayanıklı agregat yüzdesi (SDA) değerlerinin dönemlerdeki değişimi Şekil 4.17’ de, Tukey çoklu gruplandırmaları Çizelge 4.26’ da verilmiştir. Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının SAR 20 düzeyinde SDA yüzey toprağında 2. dönem sonunda önemli olarak azaldığı, SAR 40 düzeyinde ise SDA değerlerinde görülen azalmanın 1. dönemden itibaren başladığı görülmektedir (Şekil 4.17). Üçüncü dönemde SAR 20 düzeyinde SDA değerleri önemli artış gösterirken, SAR 40 düzeyinde istatistiksel olarak önemli değişim olmamıştır. Dördüncü dönemden itibaren her iki SAR düzeyi için istatistiksel olarak önemli bir değişim olmadığı görülmektedir ($p>0.05$) (Çizelge 4.26). Başlangıç SDA değerleri derinliğe bağlı olarak % 81.73-81.30 arasında iken NaCl sulama konularının SAR 20 düzeyinde 2. dönem sonunda % 67.50’ e düşmüştür. NaCl sulama konularının SAR 40 düzeyinde ise 4. dönem sonunda SDA değerleri % 64.49’ a düşme göstermiştir (Şekil 4.17). SAR 40 düzeyinde 2. dönemden sonra SDA değerlerindeki değişimin istatistiksel olarak dönemler arasında farklılığa neden olmadığı görülmüştür ($p>0.05$) (Çizelge 4.26).

Çalışma sonucunda NaHCO_3 tuz uygulamalarının SAR 20 düzeyinde yüzey toprağında SDA’nın 1.dönemden itibaren önemli olarak azaldığı, başlangıç SDA değerleri derinliğe bağlı olarak % 81.73-81.30 arasında iken, 4. dönem sonunda SDA değerleri SAR 20 düzeyinde ise SDA değerleri % 71.55-76.03 arasında tespit edilmiştir (Şekil 4.17) (Çizelge 4.26). SAR 40 düzeyinde SDA değerlerinin yüzeyde 1. dönemden itibaren önemli azaldığı, 3. dönemde tekrar önemli artma eğilimi gösterse de 4. dönemde tekrar azaldığı tespit edilmiştir. Bu değişimler toprak örnekleme dönemleri arasında önemli farklılıklar oluşturmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.26).

Çalışmada farklı SAR düzeylerine sahip Na içeren (NaCl ve NaHCO_3) sulama sularının uygulanması her iki tuz çeşidi sulama konularında toprakların suya dayanıklı agregatları azalttığı sonucuna varılmıştır. Mahajan vd. (2020) tarafından tuzdan etkilenen topraklarda toprak kalite indeksini belirledikleri çalışmalarında toprak Na kationunun başat olduğu bildirilmiştir. Tuzdan etkilenen topraklarda Na^+ un dominant kation olduğu benzer çalışmalarda ifade edilmiştir (Tripathi vd. 2007, Mahajan vd. 2016, Pessoa vd. 2019). Na^+ un killerin dağılmasına ve toprak yapısının bozulmasına neden olduğu literatürdeki benzer çalışmalarda rapor edilmiştir (Tejada ve Gonzalez 2005,

Banerjee vd. 2006, Iwai vd. 2012). Benzer çalışmalarda alınan sonuçlar (Malik vd. 1992, Shainberg vd. 1992, Smith vd. 1992, Nelson ve Oades 1998, Mavi vd. 2012, Setia vd. 2014, Chen vd. 2015a, Chen vd. 2015b, Chen vd. 2019) bizim çalışmamızdaki sonuçları desteklemektedir.

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere çalışma sonucunda sulama suyunun SAR düzeyinin artması ile Na' un toprak strüktürüne olan olumsuz etkileri nedeniyle suya dayanıklı agregatların parçalandığını söyleyebiliriz. Na ile doygun olan topraklar daha çabuk hidrate olma ve parçalanma gösterirler ve bunun sonucunda topraklarda agregat şişmesi ve geçirimsizlik görülür. Ca ile doymuş olan topraklarda bu durum görülmez (Özdemir 1999). Bizim çalışmamızda farklı SAR düzeylerinde Na içeren sulama sularının kullanılmasından dolayı Na iyonu kil taneciklerinin arasında girmeye ve iki değerlikli Ca iyonları ile yer değiştirmeye başlamıştır. Tabakalar arasındaki çekim güçleri Na iyonunun varlığına bağlı olarak azalmakta ve kil taneleri dispers olmakta ve suya dayanıklı agregatların azalması durumu ortaya çıkmaktadır. Toprak veya sulama suyunun Ca içeriği arttığında Na' un dispers edici etkisi azalmaktadır. Toprak-su çözeltisinin EC değerinin artması killerin şişmesine ve gözenek büyüklüğünün azalmasına neden olmaktadır (Bresson ve Boiffin, 1990). Benzer bir çalışmada Özbek vd. (1999) yüksek Ca ve Mg gibi iki değerlikli katyonların toprakta kolloidleri birbirine bağlayarak ve biyolojik aktiviteyi artırarak agregatlaşmayı artırıcı etkileri olduğu belirtilmiştir. Yine başka bir Gümüş vd. (2016), çalışmada toprak agregat stabilitesi ile Ca ve Mg içerikleri arasında pozitif bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Rahimi vd. (2000) Ca iyonu ve organik madde içeriğinin topraklarda killerin flokülasyonunu teşvik ederek primer parçacıklar arasındaki bağları kuvvetlendirerek agregasyona olumlu katkıda bulunduğunu vurgulamışlardır. Barzegar vd. (1996) değişebilir katyonlar, kil içeriği, kil tipi ve dispersiyon oranının agregasyonda etkili olduğunu suya dayanıklı agregatların Na konsantrasyonunun artması ile azaldığını, organik maddenin artması ile arttığını bildirmiştir. Çelik ve Ersoy (2004) Na gibi hidrate çapı büyük ve tek değerli katyonlarla doyurulmuş toprak kolloidleri dispers bir yapı oluştururlar. Bunun nedeni iyon etrafındaki su tabakasının kalın, çekme kuvvetlerinin ise zayıf olmasıdır. Toprak kolloidinin Ca ile doygun olması durumunda ise elektriksel çift tabakanın kalınlığı ve zeta potansiyeli düşmekte ve kolloid flokule olmaktadır.

Çalışmada kil tipi belirlenmese de kil tipinin bu bölgede başat durumda var olan smektit grubu kil olduğu düşünülmektedir. Ruiz ve Wu (2006) çalışmasında kaolinit kil tipi içeren tınlı toprakta SAR değerini artması ile agregat dayanıklılığının etkilenmediğini, smektit kil tipi içeren toprakta $SAR \geq 20$ ' de killerin şişmesi ve parçalanması neticesinde agregatların dağıldığını ve toprak strüktürünü olumsuz etkileri olduğunu ortaya koymuşlardır.

Değişebilir Na' un toprak yapısına olumsuz etkisi şişme, killerin parçalanması ve dağılması aşamaları ile toprak yapısında bozulmaya neden olur (Goldberg vd. 1988, Bell ve Maud 1994, Le Bissonais ve Arrouays 1997, Bell ve Walker 2000, Boix-Fayos vd. 2001, Levy ve Mamedov 2002, Levy vd, 2003, Bhuvaneshwari vd. 2007, Umesha vd 2009). Yine Na etkisi ile killerin parçalanması ve sonrasında toprakta makropor yapının bozulması porların tıkanması ile ilgilidir (Shainberg ve Letey 1983, Minhas ve Sharma 1986, Rengasamy vd. 1996, Shainberg ve Levy 2004, Mitchell vd. 2000, Mace ve Amrhein 2001).

ESP ve EC toprakta killerin şişmesi ve parçalanmasında önemli rol oynamaktadır. Daha önceki bölümlerde çalışmamızda tuzlu sular ile yapılan sulamalar sonrasında EC ve toprakta değişebilir Na' un göstergesi olan ESP' nin arttığı belirtilmiştir. Her iki tuz çeşidi uygulamalarında 2. dönemde SAR ve ESP değerlerinin >10 'dan büyük olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.). Hatta tuz çeşidinin SAR düzeyine bağlı olarak SAR-ESP değerleri NaCl ve NaHCO₃ tuz çeşitlerinin SAR 40 düzeyinde sırasıyla 25.91-26.99 ve 12.40-14.52 olarak tespit edilmiştir. SDA değerleri 2. dönemin sonunda NaCl ve NaHCO₃ tuz çeşitlerinin SAR 40 düzeyinde sırasıyla % 64.22 ve % 64.94 olarak belirlenmiştir. İkinci dönemde sulama konularındaki SAR-ESP değerleri göz önüne alındığında bu durumun suya dayanıklı agregatların değişimine etkisi olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4.17). Yapılan çalışmalarda araştırmacılar farklı ESP ve SAR değerlerinde agregat dayanıklılığının değişimini ortaya koymuşlardır. Shainberg ve Letey (1984) ESP >10 olduğunda toprak fiziksel özelliklerin değişiminde agregat dayanıklılığına etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Shainberg vd. (1992) tınlı ve kumlu toprakta ESP <10 agregat dayanıklılığı üzerinde bir değişimin olmadığını tespit

etmişlerdir. Crescimano vd. (1995) SAR değeri < 8 olan sulama sularının uygulandığı iki kil toprakta agregat dayanıklılığının, ESP'nin 2- 15 aralığında olması durumunda azaldığını, Levy ve Mamedov (2003) ESP 10 değerinde killerin şişmeye başladığını ve agregat dayanıklılığına etkileri olduğunu tespit etmişlerdir. Ben-Hur vd. (1985) toprağın SAR değerinin agregat dayanıklılığına etkisi olduğunu ve $SAR > 5.2$ olduğu durumda agregatların parçalanmasını önemli bir şekilde etkilediğini ve damlaların çapma etkisi ile agregatların dağıldığını belirtmişlerdir. Tuzlu topraklar fazla miktarda tuz içerdiklerinden dolayı $pH < 8.5$ ve $ESP < 15$ 'den ve kolloidler çökelmiş durumdadır bu nedenden dolayı topraklarda flokulasyon vardır. Yüksek SAR değerlerine sahip tuzlu suların kullanımın toprakta ESP' nin artmasına neden olduğu ve fiziksel sorunları tetikleyebileceği literatürdeki çalışmalarda açıklanmıştır (Jalali ve Ranjbar 2009, Chaganti vd. 2015, Dang vd. 2018).

Zeta potansiyeli toprakların flokulasyon ve dispersiyonunu etkilemektedir. Zeta potansiyeli yüzey yük yoğunluğuna ve elektriksel çift tabakanın kalınlığı ile etkileşim halindedir. Çalışmada Na içeren sulama sularının kullanılması ile Na konsantrasyonu SAR düzeylerine bağlı olarak artma göstermiştir. Na iyonu hidrate iyon çapı yüksek ve elektriksel çift tabakanın kalınlığını arttırıcı etkisinden dolayı toprağı disperse etmektedir. Na iyonunun zeta potansiyelinin yüksek olmasından yani toprak taneciklerini arasındaki itici güçleri artırmasına bağlı olarak toprak taneciklerinin parçalanmasını sağladığı söylenebilir (Wu vd. 2010). Abbaslou vd. (2020) toprak gözenekli su tabakasında Na iyonu konsantrasyonu tek değerlikli olması ve daha az elektronegatif olması nedeniyle toprak dağılımında etkili faktörlerden biridir. K kationları da tek değerlidir, ancak kil minerallerinin ara katman boşluklarına girerler ve Na iyonlarından daha küçük boyutları nedeniyle hapsolurlar. Toprakta Na iyonlarının bulunması, osmoz potansiyelinde bir artışa ve toprak parçacıkları arasındaki çekici Van der Waals kuvvetlerinde bir azalmaya neden olmaktadır.

Üçüncü dönemde ise $NaHCO_3$ tuz çeşidinin SAR 40 düzeyinde tüm derinliklerde SDA değerlerinin artmaya başlamış, NaCl tuz çeşidinin SAR 40 düzeyinde tuzlar tamamen yıkanmadığından dolayı düşük SDA değerleri alınmaya devam etmiştir (Şekil 4.17). Burada dikkat çeken bir konu NaCl tuz uygulamaları SAR 20 düzeyinde 3. dönemde

SDA değerlerinde bir düzelmenin görülmesidir. Benzer Şekilde 3. dönem kış sonrası dönemde NaHCO₃ tuz eşidinin SAR 40 düzeyinde SDA değerlerinde bir düzelme göze çarpmaktadır (Şekil 4.17). Bu durum kış ve ilkbahar aylarında görülen yağışlardan dolayı biyolojik aktivitenin artması, ortamda olan Ca ve Mg iyonlarının artması veya verilen tuzların topraklarda sıkıştırma etkisi yapması ile flokulasyonu teşvik etmesinden kaynaklanabilir. Diğer bir neden ise bu dönemde yağışlarla topraktan Na⁺ un yıkanmasına bağlı olarak SAR ve ESP değerlerinin düşmüş olmasındır. Yakupoğlu ve zdemir (2006) toprak çözeltisindeki yüksek tuz konsantrasyonu kil taneciklerinin floküle olmasını sağlar. Flokle olan topraklarda agregatlar arası boŐluklar daha geniŐtir ve toprak yüksek geçirgenlik özelliğine sahiptir. Bauder ve Brock (2001) alıŐmalarında toprak tuzluluğu nun 1.5 dS m⁻¹, sulama suyunun tuzluluk değerinin 0.5 dS m⁻¹, i geçmesi ile toprakta flokulasyonun arttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar bunun nedenini toprak çözeltisindeki oransal olarak artan yüksek tuz konsantrasyonunun adsorbe katyonlarının, toprak taaneciklerinin yüzeyine daha sıkı bir Şekilde itmesine neden olması ve katyonların toprak parçacıkları tarafından tutulmasını artırması olarak ifade etmiŐleridir. Eltaif vd. (2011) 10, 30, 50 SAR düzeyine sahip su ve üç farklı tekstür toprak kullandıkları çalışmalarında SAR düzeyleri ile karşılaştırma yapıldığında SAR 30 düzeyinde agregat stabilitesinin en küçük değerlerinin kili tın, kili ve siltli kil topraklarda sırasıyla % 5, 8.6 ve 14.3 olarak alındığı ve toprak tekstürü, organik madde miktarı, toprağın ESP, sulama suyu kaynağının SAR düzeyinin agregat stabiliteye etkileri olduğunu rapor etmişlerdir.

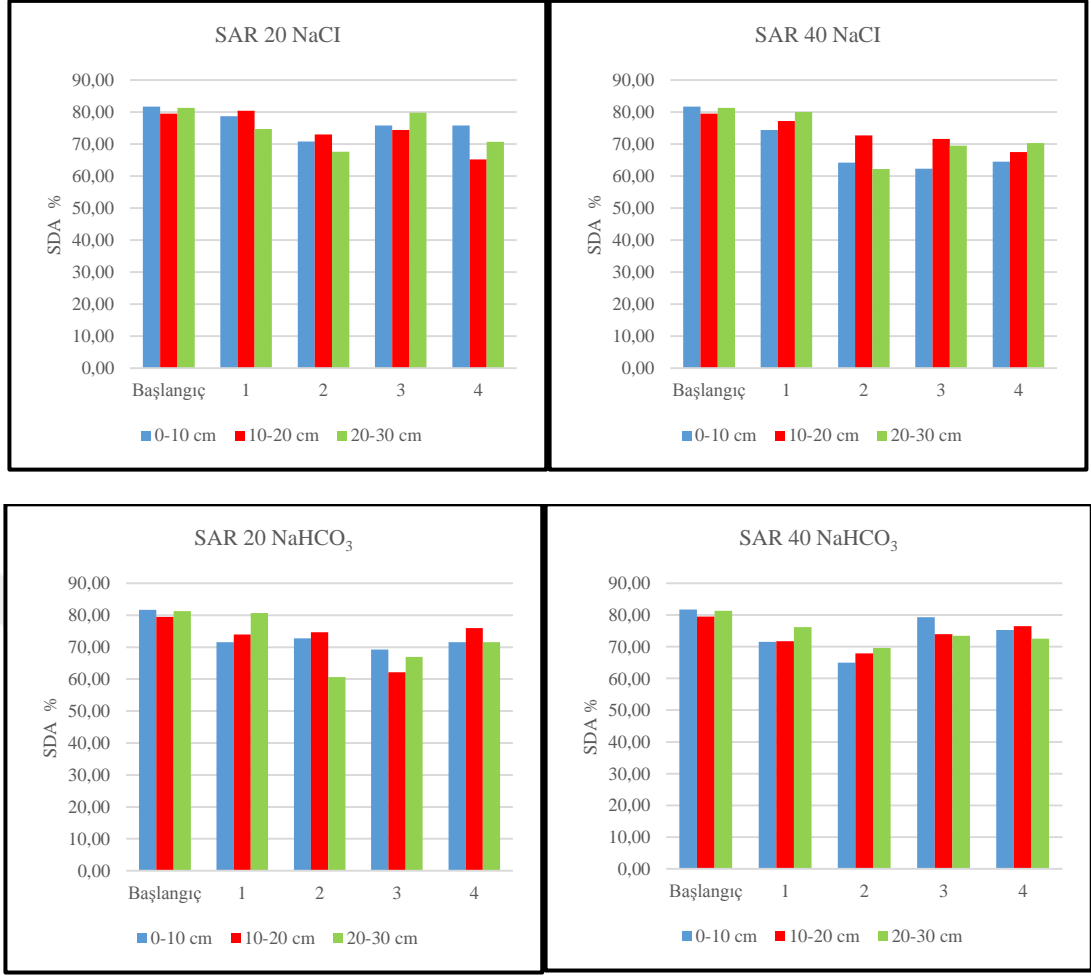
Agregatlaşma zaman içerisinde değişim gösterebilmekte ve bu oluşan agregatlar dış faktörlerin etkisiyle iklime bağlı olarak dnemsal olarak parçalanabilmekte ve yeniden oluŐabilmektedir (Hillel 1982, Yılmaz 2002, Yılmaz vd. 2005a, Yılmaz vd. 2005b, Sönmez 2014). Uzun süren toprak işleme uygulamalarının agregat stabilitesindeki dnemsal değişime etkisini araştırdıkları çalışmada Suwardji ve Eberbach (1998), suya dayanıklı agregatların en düşük kışın olduğu, bahar mevsiminde ise hava sıcaklığının artış göstermesi ve bu dönemde biyolojik aktivitenin artmasından dolayı yüksek değerler alındığını belirlemişlerdir. Agregat dayanıklığı kış mevsiminde yüksek su içeriğine sahip toprakların donması nedeniyle azalıŐ gösterirken, ilkbahar ve yaz

aylarında ise toprak su içeriği, organik madde ve canlıların aktivitelerinin etkisiyle artmaktadır (Kurkanlı 2006, Dagesse 2011, Demir vd. 2017).

Çalışmamızda kış boyunca yıkanan tuzların 10-20 cm ve 20-30 cm biriktiği ve bu nedenlerle bu derinliklerde SDA değerlerinin düştüğü görülmektedir (Şekil 4.18). SDA değerlerindeki azalma her iki tuz çeşidinin iki farklı SAR düzeyinin etkisi istatistiksel olarak önemli olarak bulunmuş, 4. dönemde özellikle NaHCO_3 tuz çeşidi uygulamalarında SDA' daki değişimin daha fazla olduğu dikkat çekmektedir (Şekil 4.17). Bunun nedeni olarak zeta potansiyelinin büyüklüğünün yüksek pH değerlerinde etkisinin daha fazla görülmesi olabilir. Çalışmamızda toprakta pH' nın tuz uygulamaları nedeniyle değişimi toprakların tamponlama özelliklerinden dolayı ilk dönemlerde belirgin bulunmamış 4. dönemde ise NaHCO_3 SAR 40 düzeyinde değişim tespit edilmiştir (Şekil 4.2). SDA değerlerinde 4. dönemde ise NaHCO_3 tuz çeşidinin SAR 40 düzeyindeki değişimin belirgin olması çalışma sonuçlarının uyumlu olduğunu göstermektedir. Toth (1964) değişik pH değerlerinde üç kil mineralinin zeta potansiyelleri değerlerinin belirlendiği çalışmada pH değerlerinin artması ile zeta potansiyelinin kil tiplerine göre arttığını belirlemiştir. Çalışma sonuçlarına göre araştırmacı zeta potansiyelini en yüksek olduğu kaolinit için 10.0 ve illit ile montmorillonit için ise 8.0 olarak tespit etmiştir. Araştırmacı ancak orjinin farklı olan ve başka bir katyon kullanıldığında daha farklı değerlerin alınabileceğini vurgulamıştır. Chorom ve Regnasamy (1995) tarafından çalışma kapsamında değişen pH ve elektrolit konsantrasyonunun, kaolinit, illit ve smektitin Na ve Ca formlarının dispersiyon ve zeta potansiyeli üzerindeki etkisini net negatif yüklerindeki değişikliklerle ilgili olarak incelenmiştir. Araştırmacılar Ca yönünden doymuş killerde pH 7.0' a kadar Na doymuş killere benzer özellikleri gösterdiği, daha alkali çözeltide ise CaCO_3 oluşumunun kil taneciklerinde yük azalmasına yol açarak flokülasyona ve zeta potansiyelinin azalmasına neden olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada Ca doymuş killerinin zeta potansiyelleri, killerin kümelenmesinden dolayı her zaman alkali ortamdaki killerden daha küçük bulunmuştur. Na doymuş farklı kil tiplerinde değişen pH' ya göre kil dispersiyon yüzdesi değişim gösterdiğini, dispersiyon yüzdesi Na-kaolinit killerde % 99, illitte % 9, smektitte ise % 100 olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar smektit grubu killerde dispersiyonda net negatif yükün fazla olmasından dolayı, yüksek pH

değerlerinde dispersiyonun gerçekleştiği sonucuna ulaşmışlardır. Elektriksel çift tabakanın etkileşimi ve şişme potansiyeli elektriksel çift tabakanın kalınlıklarının artmasıyla artar. Bu kalınlığı etkileyen faktörler katyonların değeri, katyonların konsantrasyonu, sıcaklık ve pH 'dır (Pons vd. 2000, Başer 2009, Xu vd. 2015, Hu vd. 2015a,b). Yüksek pH değerleri dispersiyonu, düşük pH değerleri toprakta flokülasyonu teşvik etmektedir. pH değeri killerin adsorpsiyon karakterini etkileyen bir özelliktir. pH değeri düşük olduğunda adsorpsiyon artarken, kil yüzeyinin elektriksel potansiyelide azalmaktadır (Ünver 2015). Raghuraman vd. (2013) yaptığı çalışmada toprağa NaHCO_3 tuzunun eklenmesi durumunda Na iyonlarının artmasına bağlı olarak dispersiyonun arttığını bildirmişlerdir. Zhou ve Yu (2016) toprağın dispers olmasında Na ve pH' nın etkisini araştırdıkları çalışmada toprakta NaHCO_3 miktarının % 0.08' yi aşması durumunda toprakların dispers olmaya başladığını, NaHCO_3 'un güçlü baz ve zayıf asit tuzu olduğu için kayda değer toprağa ilave edildiğinde, toprağın alkali karakter gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada montmorillonite 2:1 kil tipine sahip topraklarda (Tang, 2015) yüksek pH (Thanigaivelan ve Arunachalam 2013) ve yüksek Na konsantrasyonunda kil taneciklerinin dağıldığını, özellikle pH, HCO_3 , CO_3 ve Na iyonları ile toprakların dispersiyonu ile yüksek korelasyon olduğunu (Prasanna vd. 2014) bildirmişlerdir.

Genel anlamda çalışmada sulama dönemi boyunca toprak ıslanma-kurumaya tabi kalmıştır ve suya dayanıklı agregat değişim söz konusu olmuştur. Arazi koşullarında sulanan topraklar hızlı ıslanma ve kuruma dönemlerine maruz kalırlar. Bu topraklar ıslanma ve kuruma dönemlerinde killerin parçalanması ile birlikte düşük agregat dayanıklılığına sahip olurlar (Caron vd. 1992, Rasiah vd. 1992, Levy ve Miller 1997).



Şekil 4. 17 Suya dayanıklı agregat yüzdesinin sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.26 Suya dayanıklı agregat yüzdesi ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: %)

SAR 20 NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	81.73c±0.08	79.50c±0.47	81.30c±0.07	Başlangıç	81.73a±0.08	79.50c±0.47	81.30a±0.07
1	78.71bc±0.37	80.42c±1.43	78.71b±0.18	1	74.44a±1.14	77.22c±1.12	79.99a±0.67
2	70.78a±0.11	73.00b±0.11	67.59a±1.08	2	64.22b±1.06	72.70b±0.64	62.21b±1.14
3	75.76b±0.92	74.41b±0.01	79.85c±0.77	3	62.27b±2.76	71.59ab±0.80	69.48b±0.43
4	75.84b±1.56	65.24a±1.53	70.74a±0.90	4	64.49b±0.39	67.55a±1.36	70.26b±0.56
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	81.73a±0.08	79.50c±0.47	81.30c±0.07	Başlangıç	81.73c±0.08	79.50d±0.47	81.30b±0.07
1	71.54b±0.77	73.99b±2.25	80.70c±1.25	1	71.54b±1.21	71.76ab±0.15	76.18ab±1.05
2	72.73b±0.49	74.67b±0.30	60.51a±1.61	2	64.94a±1.12	67.92b±0.49	69.60c±1.92
3	69.30b±1.42	62.15a±0.50	66.96b±1.08	3	79.31c±1.83	74.00bc±1.55	73.45c±2.84
4	71.55b±0.52	76.03bc±0.68	71.55b±0.53	4	75.25b±1.63	76.52cd±1.23	72.56c±0.49

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4:Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir.

4.4.3 Ortalama ağırlık çap (OAÇ)

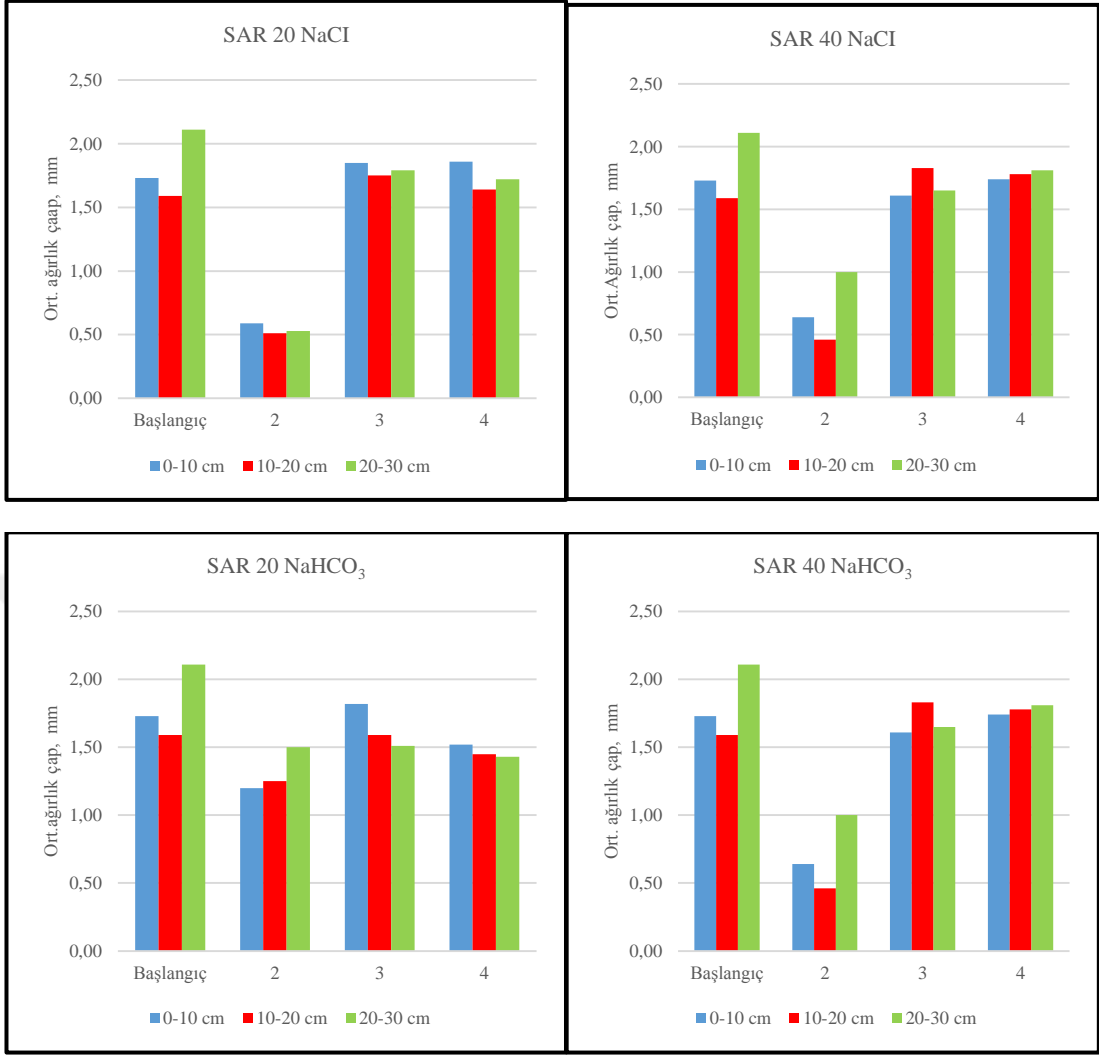
Çalışmada NaCl tuz uygulamalarının her iki düzeyinde OAÇ değerlerinin 2. dönem sonunda önemli düzeyde azaldığı, diğer dönemlerde ise başlangıca benzer sonuçlar alındığı görülmektedir (Şekil 4.18). Bu durum istatistiksel olarak da dönemler arasında farklı bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.27). Başlangıç OAÇ değerleri derinliğe bağlı olarak 1.73 ile 2.11 mm arasında iken NaCl sulama konularının SAR 20 düzeyinde 2. dönem sonunda 0.59 mm'ye düşmüştür (Şekil 4.18). Çalışmada NaHCO_3 tuz uygulamalarının her iki düzeyinde OAÇ değerlerinin 2. dönem sonunda önemli düzeyde azaldığı, diğer dönemlerde ise başlangıca benzer sonuçlar alındığı görülmektedir (Şekil 4.18). Üçüncü dönemde OAÇ değerlerinin önemli düzeyde arttığı, 4. dönemde ise önemli olarak azaldığı görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.27). SAR 20 düzeyinde 2. dönem sonunda 1.20 mm, SAR 40 düzeyinde ise 0.79 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.18).

Toprakta agregasyonun değerlendirilmesinde, agregat büyüklüğü, miktarı ve dayanıklılığı önem taşımaktadır. Agregat büyüklüğü, toprağın gözenek karakterini belirlemesi açısından son derece önemli bir faktördür. Toprağın gözenek karakteristiği toprağın hava-su dengesini ve toprakta hava-su hareketinin durumunu belirlemektedir. Çalışmada sulamada kullanılan suyunun SAR oranı arttıkça her iki tuz çeşidinin uygulamalarında OAÇ değerlerinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca sulama konularının SDA değerlendirmesine benzer şekilde tuz uygulamalarının yapılmadığı kış sonrası dönem olan 3. dönemde OAÇ değerlerinde bir düzelmeye olduğu görülmektedir (Şekil 4.18).

Yüksek oranda Na içeren sulama sularının ortasürelili kullanımında tuz çeşidi ve içerdikleri tuzun oransal miktarı toprakların fiziksel özelliklerinin değişmesine neden olmuştur. Emdad vd. (2006) üç farklı kalitede sulama suyunun kullanıldığı çalışmaları orta EC-SAR oranına sahip ($\text{EC}=2.0 \text{ dS m}^{-1}$ ve $\text{SAR}=10$) sulama suyu ile yüksek EC-SAR oranına sahip ($\text{EC}=6 \text{ dS m}^{-1}$ ve $\text{SAR}=30$) sulama suyu uygulamalarında ortalama ağırlık çap değerlerinin sırasıyla % 17 ile % 53 oranında

azaldığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar OAÇ değerlerinin kontrol uygulamasında 0.690 mm, yüksek EC-SAR oranına sahip sulama uygulamasında 0.267 mm, düşük EC-SAR oranında ise 0.563 mm olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar bunun nedeni olarak yüksek SAR oranına sahip suların kullanılması sonucunda killerin şişmesi ve dispersiyona uğramaları sonrasında toprakların fiziksel özelliklerinin bozulduğuna işaret etmişlerdir.

Başka bir çalışmada Zobae vd. (2011) sulama suyu kalitesinin toprak fiziksel özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada EC' si 1.1, 4.5 dS m⁻¹ olan sulama sularını kullandıkları bir çalışmada başlangıçta 0.650 mm olan OAÇ değerinin sulama suyundaki tuz konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak 0.303 mm' ye düştüğünü belirlemişlerdir. Hassan vd. (2019) üç farklı EC değerine sahip (1.3, 3.5 ve 6.3 dS m⁻¹) sulama sularının uygulandığı çalışmada sulama suyundaki tuzluluğun artması ile OAÇ' in azaldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar çalışma sonucunda iyi kaliteli sulama suyunda OAÇ değerini 0.65 mm olarak belirlerken, kötü kaliteli sulama suyu uygulamalarında OAÇ' yi 0.27 mm olarak tespit etmişlerdir. Bu durumun nedenini toprakta biriken tuzların toprakları disperse etmesi ve tuzların negatif etkileri olarak rapor etmişlerdir. Çalışmamızdaki sonuçlara benzer şekilde tuzlu sulama sularının kullanımı ile toprakta OAÇ' nin düşmesi ile ilgili çalışmalar mevcuttur (Al-Musawi 2000, Al-Hamadani 2001, Jamel 2018).



Şekil 4.15 Ortalama ağırlık çapın sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.27 Ortalama ağırlık çap ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: mm)

SAR NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	1.73a±0.05	1.59b±0.01	2.11c±0.03	Başlangıç	1.73a±0.05	1.59b±0.01	2.11c±0.03
2	0.59b±0.08	0.51a±0.06	0.53a±0.04	2	0.64b±0.01	0.46a±0.01	1.00a±0.06
3	1.85a±0.01	1.75c±0.00	1.79b±0.01	3	1.61a±0.01	1.83c±0.04	1.65b±0.02
4	1.86a±0.04	1.64bc±0.01	1.72b±0.07	4	1.74a±0.01	1.78bc±0.08	1.81b±0.01
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	1.73c±0.05	1.59b±0.01	2.11a±0.13	Başlangıç	1.73bc±0.05	1.59b±0.01	2.11c±0.03
2	1.20a±0.00	1.25a±0.06	1.50b±0.24	2	0.79a±0.01	0.46a±0.01	1.00a±0.06
3	1.82c±0.02	1.59b±0.03	1.51b±0.00	3	1.76c±0.01	1.83c±0.04	1.65b±0.02
4	1.52b±0.07	1.45b±0.01	1.43b±0.03	4	1.50b±0.01	1.78c±0.08	1.81b±0.01

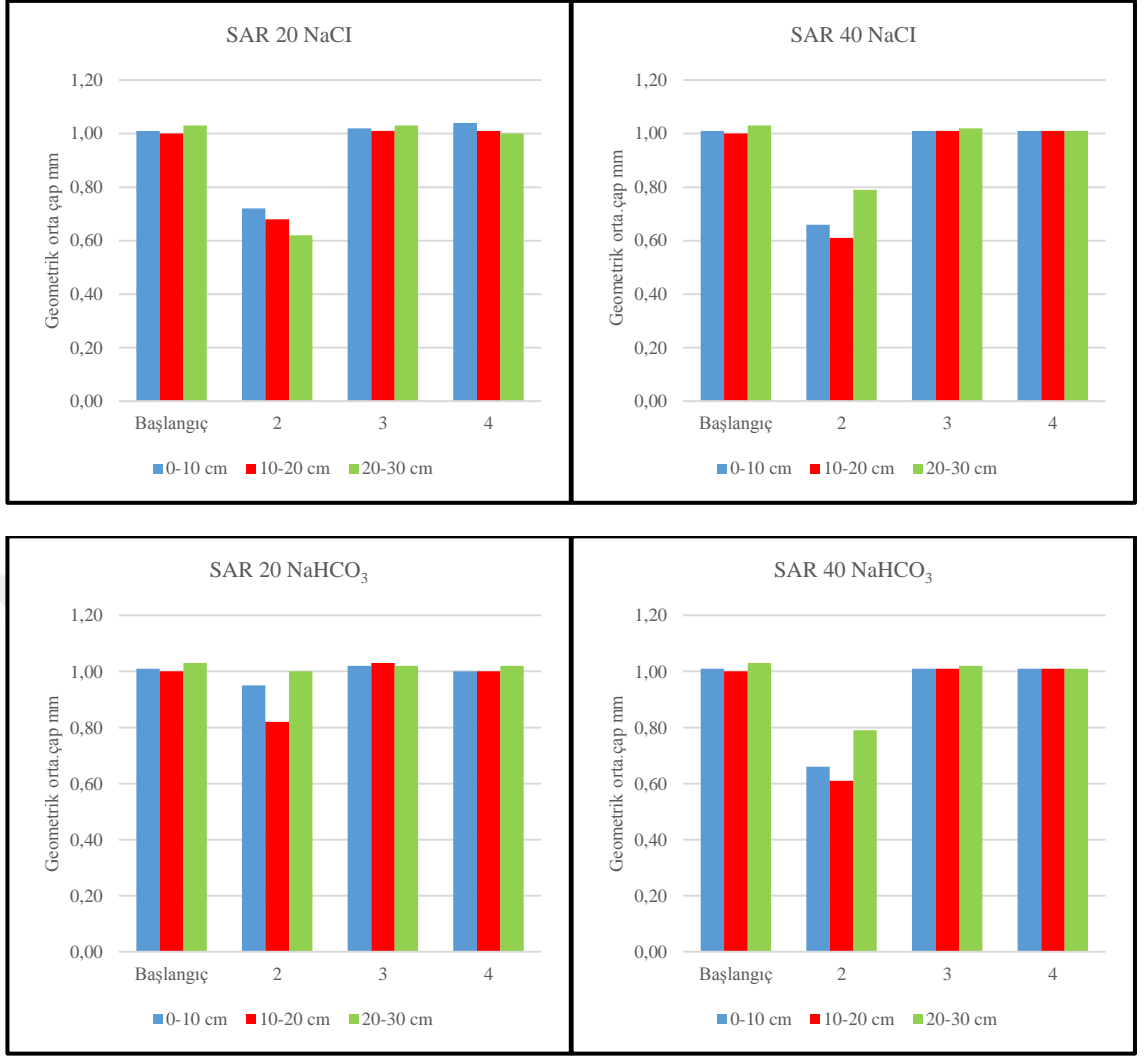
Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4:Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir

4.4.4 Geometrik orta çap (GOÇ)

Toprakların yapısal dayanımlarının değerlendirilmesinde agregat büyüklük dağılımlarından elde edilen geometrik orta çap (GOÇ), ortalama ağırlık çapı (OAC) gibi çap parametreleri kullanılmaktadır. Geometrik orta çap değeri, agregatların % 50' sinin

geçtiği elek çap büyüklüğü aynı zamanda ortalama agregat apı (D50, mm) olarak da ifade edilmektedir (Saygın 2013).

Çalışmada her iki tuz çeşidinin her iki düzeyinde GO değerlerinin 2. dönemde önemli düzeyde azaldığı diğer dönemlerde ise başlangıca benzer sonuçlar alındığı görülmektedir (şekil 4.19). İkinci dönemde görülen bu azalış istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). En düşük GO değerleri her iki tuz eşidinin SAR 40 düzeyinde ortalama 0.66 mm olarak belirlenmiştir (izelge 4.28). Topraklarda agregat büyüklük dağılımlı ve dayanıklılığı toprak kalitesinin bir göstergesidir (Six vd. 2000, Yılmaz vd. 2008, Gümüş vd. 2016, Gümüş 2019, zdemir 2019). Çalışmada her iki tuz çeşidinin uygulamalarında 2. dönemde GO değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum, bu dönemde toprağa ilave edilen Na iyonuna bağlı olarak toprak strüktüründeki bozulmalara işaret etmektedir (şekil 4.17).



Şekil 4.19 Geometrik orta çapın sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.25 Geometrik orta çap ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları (birimi: mm)

SAR NaCl				SAR 40 NaCl			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	1.01a±0.00	1.00b±0.02	1.03a±0.00	Başlangıç	1.01±0.00	1.00a±0.02	1.03a±0.00
2	0.72b±0.75	0.68a±0.06	0.62b±0.02	2	0.66±0.01	0.61b±0.01	0.79b±0.23
3	1.02a±0.01	1.01b±0.01	1.03b±0.03	3	1.01±0.00	1.01a±0.01	1.02a±0.01
4	1.04a±0.00	1.01b±0.01	1.00b±0.01	4	1.01±0.11	1.01a±0.01	1.01a±0.01
SAR 20 NaHCO ₃				SAR 40 NaHCO ₃			
Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Toprak derinliği	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H	Dönem	A.O±S.H	A.O±S.H	A.O±S.H
Başlangıç	1.01a±0.00	1.00a±0.02	1.03a±0.00	Başlangıç	1.01a±0.08	1.00b±0.02	1.09b±0.00
2	0.95a±0.12	0.82a±0.04	1.00a±0.02	2	0.66b±0.01	0.61a±0.01	0.79a±0.23
3	1.02a±0.00	1.03a±0.01	1.01a±0.02	3	1.01a±0.00	1.01a±0.01	1.02b±0.10
4	1.00a±0.00	1.00a±0.00	1.02a±0.00	4	1.01a±0.01	1.01a±0.01	1.01b±0.12

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir.

4.4.5 Hacim ağırlığı

Toprak hacim ağırlığı, toprakta hidrolojik süreçlerin değerlendirilmesinde kullanılan önemli parametrelerden birisidir. Hacim ağırlığı; toprak strüktürü, su ve çözünmüş madde taşınımı ve toprak havalanması gibi özellikler açısından toprağın yeteneğini açıklamaktadır. Topraklarda yüksek hacim ağırlığı; toprak gözenekliliğinin düşük olması, sıkışmış toprak yapısı ile yavaş su iletimi gibi toprakta sorunlarının oluşmasına neden olmaktadır. Toprakta hacim ağırlığı değerleri toprağın tekstürü, yapısı organik madde içeriği, iklim koşulları ve toprakların sürdürülebilir yönetimine etki eden faktörlerle ilişkilidir (Gülser vd. 2008, Chaudhari vd. 2013, Özdemir vd. 2018, Özdemir 2019).

Çalışma alanındaki toprakların uygulamalara bağlı olarak hacim ağırlığı değerlerinin dönemlerdeki değişimi Şekil 4.20’ de, Tukey çoklu gruplandırmaları Çizelge 4.29’ da verilmiştir. Çalışmamız sonucunda NaCl tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde hacim ağırlığı değerleri için tüm dönemler için başlangıca benzer sonuçlar alındığı görülmektedir (Şekil 4.20). Bu durum toprak örnekleme dönemleri arasında istatistiksel olarak ($p > 0.05$) önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.29). Başlangıç toprak hacim ağırlığı değeri ortalama 1.17 g cm^{-3} iken 2. dönemin sonunda NaCl tuz çeşidinin SAR 20 düzeyinde 1.16 g cm^{-3} , SAR 40 düzeyinde 1.17 g cm^{-3} olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.20).

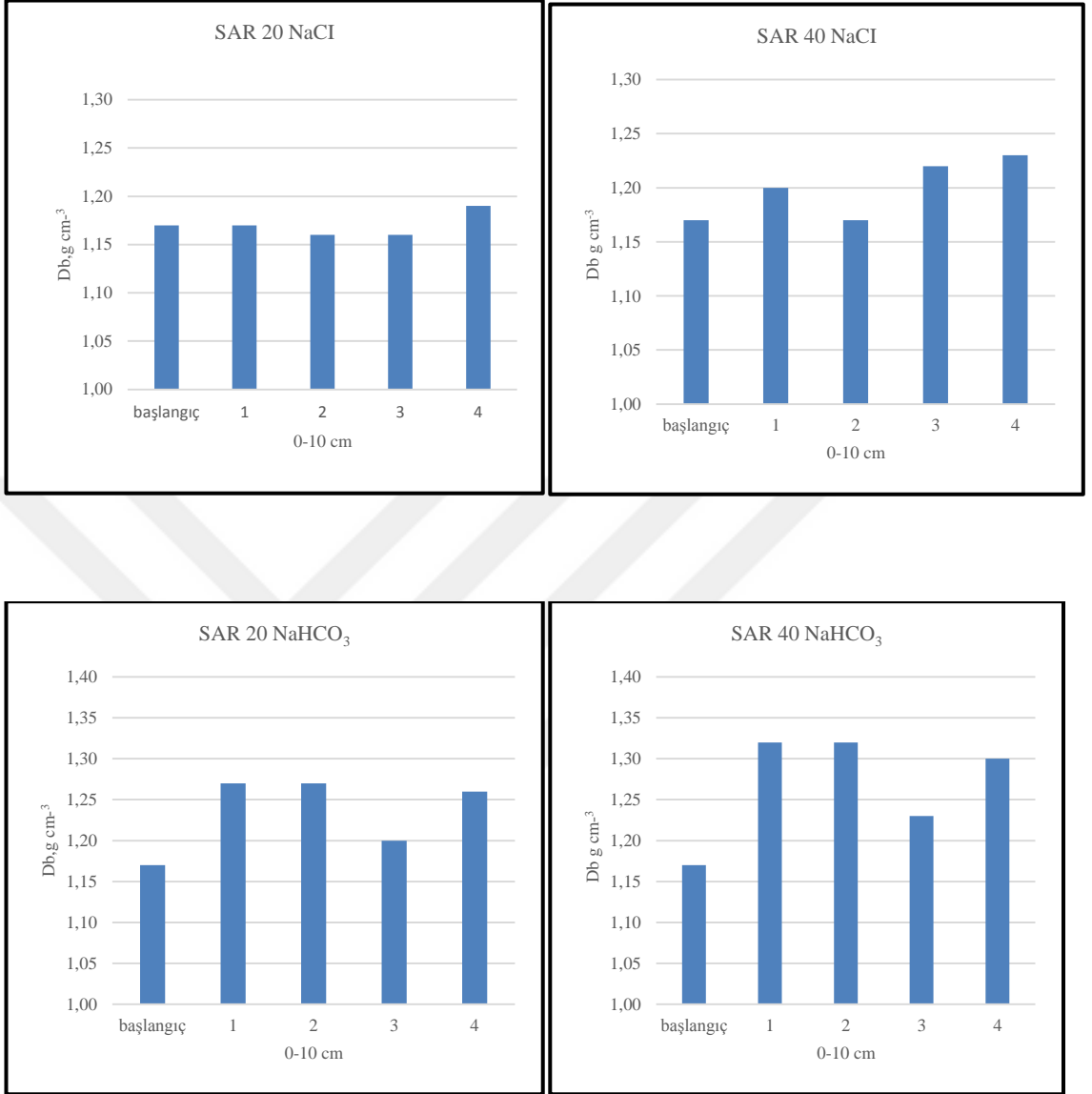
NaHCO_3 tuz uygulamalarının her iki SAR düzeyinde de toprak hacim ağırlığı değerlerinin 2. dönem sonuna kadar önemli olarak arttığı, hatta 2. dönem süresince bu artışın SAR 40 düzeyinde daha fazla olduğu, kış yağışlarından sonraki 3. dönemde ise toprak hacim ağırlığının azaldığı ve başlangıç toprağına benzer sonuçlar alındığı, 4. dönemde tekrar artma olduğu görülmektedir (Şekil 4.20). Tuzlu sulama uygulamalarının yapıldığı 1 ve 2. dönemde toprak hacim ağırlığı değerlerindeki artışlar örnekleme dönemleri arasında önemli farklılıklar oluşturmuştur. Üçüncü dönemde hacim ağırlığı değerleri düşme göstereceği uygulamaların devam ettiği 4. dönem sonunda artmalar olmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.29). Başlangıç ortalama toprak hacim ağırlığı değeri 1.17

g cm^{-3} iken 2. dönemin sonunda NaHCO_3 tuz çeşidimin SAR 20 düzeyinde 1.32 g cm^{-3} , SAR 40 düzeyinde ise 1.35 g cm^{-3} ' e kadar artma göstermiştir (Şekil 4.20).

Çalışmada Na içeren tuzlu sulama uygulamaların kullanımı ile NaHCO_3 tuz çeşidi uygulamalarında sulama suyundaki SAR oranının artışına bağlı olarak toprak hacim ağırlığı değerlerinin on sulama sonrası dönemde artma gösterdiği, kış ve ilkbahar dönemlerindeki yağışlarından sonraki dönemde tuzların yıkanmasından dolayı ise başlangıç dönemine benzer sonuçlar alındığı tespit edilmiştir. Tuz uygulamalarının uygulandığı dönemlerdeki görülen toprak hacim ağırlığındaki bu artış, toprakta tuz içeriğinin artması ile makro gözeneklerin tıkanması, infiltrasyon hızı ve suya dayanıklı agregat yüzdesinin azalması sonuçları ile ilişkili gözükmektedir (Şekil 4.13). Tuzlu sulama sularının belirli bir süre uygulanması sonucunda toprakta hacim ağırlığının artmasının, toprakların infiltrasyon hızının azalması, topraklarda gözeneklilik ve su iletiminin düşmesine neden olduğunu göstermektedir. Yaptığımız bu çalışmada iki tuz çeşidinin farklı SAR düzeylerindeki artmaya bağlı olarak infiltrasyon hızının tuz uygulaması yapılan dönemlerde önemli olarak azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.16, Çizelge 4.25). İnfiltrasyon hızı toprak tekstür, strüktür, hacim ağırlığı gibi toprak özelliklerinden etkilenmektedir. Meek vd. (1992) tarafından yapılan çalışmada kumlu tun bünyeye sahip bir alanda toprakların hacim ağırlığının 1.6 g cm^{-3} den 1.8 g cm^{-3} e çıkmasının infiltrasyon hızının % 54 azalmasına neden olduğu bildirilmiştir. Tokat-Kazova' da yapılan bir çalışmada (Öztekin ve Öztekin 2007), hacim ağırlığı değerlerindeki % 8.5 orandaki artışın, infiltrasyon hızında % 93.5' lik bir azalmaya neden olduğunu, çalışmada elde edilen infiltrasyon hızı değerlerinin yüzey toprağının hacim ağırlığı değerleri ile ters orantılı olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar infiltrasyon hızı ile hacim ağırlığı arasında orta derecede bir ilişki olduğunu vurgulamışlardır. Farklı arazi kullanımı ve toprak tiplerinin infiltrasyon üzerindeki etkisinin belirlenmesi ile yaptığı çalışmasında Çimen (2019) infiltrasyon hızı ile hacim ağırlığı arasında negatif korelasyon olduğunu bildirmiştir.

Uzun süreli tuzlu sulama uygulamaları toprak profilindeki tuz içeriğinin artmasına neden olur ve bu durumun toprak hacim ağırlığı gibi toprak fiziksel özellikleri üzerinde

önemli etkileri vardır (Bhardwaj vd. 2008, Huang vd. 2010). Kuzeybatı Çin’ de Yuan vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada üç yıl boyunca dört farklı konsantrasyonda (0.71, 3, 6, 9 dS m⁻¹) NaCl, MgSO₄ ve CaSO₄ ile yapay hazırladıkları sulama sularını kullandıkları çalışmada toprakta tuz birikiminin tuzlu suyun kullanım zamanları ve suyun tuzluluğuna göre arttığını belirtmişlerdir. Üç yıl süren deneme sonunda tuzlu sulama uygulamalarına bağlı olarak toprak hacim ağırlığı artma göstermiştir. Araştırmacılar çalışmada toprakta hacim ağırlığının 0-20 cm derinlikte tuz konsantrasyonlarına göre sırasıyla % 0.33, 2.86, 2.95 ve 4.31 seviyesinde artarken, 20-40 cm derinliğinde % 0.16, 1.27, 1.35 ve 2.29 olarak arttığını tespit etmişlerdir. Hacim ağırlığındaki bu artışı toprak gözenekliliğinin azalması ile toprağın sıkışması ve doymun hidrolik iletkenliğin azalması olarak açıklamışlardır. Cucci vd. (2015) üç farklı SAR (5, 15, 40) düzeyine sahip, NaCl ve CaCl₂ tuzlarının karışımı ile hazırladıkları Na içeren sulama sularının % 20 yıkanma fraksiyonunda dört yıl boyunca uygulamışlardır. Sulama suyunun SAR düzeylerindeki artışa bağlı olarak dört yıl boyunca hacim ağırlığı değerlerinin 1.1 g cm⁻³’ den 1.3 g cm⁻³’ e artma gösterdiğini tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise Zhang vd. (2020) artan oranlarda tuz konsantrasyonuna sahip farklı sulama sularını (1.3, 3.4, 7.1, 10.6, 14.1 ve 17.7 dS m⁻¹) on yıl süreyle uyguladıkları çalışmalarında sulama suyu tuz içeriğine bağlı olarak toprak hacim ağırlığı değerlerinin sırasıyla % 0.6, 1.7, 1.8, 4.9, 3.3 ve 4.7 oranında arttığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar hacim ağırlığındaki artışları tuzlu sulama suyu ile toprağa getirilen Na iyonunun, toprağın agregat yapısını bozması, sulamalar ve yağışlar sonrasında makro gözenekli yapının çökmesi ve kil taneciklerinin gözenekleri tıkaması olarak açıklamışlardır. Ji vd. (2014), toprak hacim ağırlığının tuzlu sulama suları ile yapılan sulamalardan sonra arttığını bildirmişlerdir. Hassan vd. (2019) sulama suyu tuzluluğu ve toprak işleme yöntemlerinin bazı toprak özelliklerine olan etkilerini araştırdıkları çalışmada EC değerleri, farklı olan (1.3, 3.5 ve 6.9 dS m⁻¹) üç su kaynağı (nehir, drenaj ve kuyu suyu) ile üç toprak işleme yöntemini (sıfır, geleneksel ve derin) kullanmışlardır. Çalışmada hacim ağırlığı değerleri sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak artma göstermiştir. Sulama suyu kalitesine göre hacim ağırlığı değerleri nehir, drenaj ve kuyu suyuna göre sırasıyla 1.40, 1.44 ve 1.47 mg m⁻³ olarak belirlemişlerdir.



Şekil 4.20 Hacim ağırlığının sulama uygulamalarına göre dönemsel değişimi

Çizelge 4.29 Hacim ağırlığı ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırmaları
(birimi: g cm⁻³)

SAR 20 NaCl		SAR 40 NaCl	
Toprak derinliği	0-10 cm	Toprak derinliği	0-10 cm
Dönem	A.O±SH	Dönem	A.O±SH
Başlangıç	1.17a±0.00	Başlangıç	1.17a±0.00
1	1.17a±0.02	1	1.20a±0.02
2	1.16a±0.02	2	1.17a±0.05
3	1.16a±0.01	3	1.22a±0.01
4	1.19a±0.02	4	1.23a±0.02
SAR 20 NaHCO ₃		SAR 40 NaHCO ₃	
Toprak derinliği	0-10 cm	Toprak derinliği	0-10 cm
Dönem	A.O±SH	Dönem	A.O±SH
Başlangıç	1.17a±0.00	Başlangıç	1.17a±0.00
1	1.27b±0.01	1	1.32b±0.01
2	1.27b±0.01	2	1.32b±0.01
3	1.20a±0.01	3	1.23a±0.00
4	1.26b±0.01	4	1.30b±0.00

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. A.O Aritmetik ortalama S.H: Standart hata 1: Beş sulama sonrası, 2: On sulama sonrası, 3: Kış sonrası sulama, 4: Kış sonrası beş sulama dönemini göstermektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Su, hidrolojik döngü sayesinde sürekli yenilenen doğal bir kaynaktır. Orjini ne olursa olsun sulama suları etkileşimde oldukları kayaç ve topraklardan çözmüş oldukları element ve mineralleri bünyelerine almaktadır. Bir sulama suyunun kalitesini, içinde çözünmüş halde bulunan iyon ve maddelerin tipi ve toplam konsantrasyonu belirlemektedir (Tunçay 1994, Demirela vd. 2020).

Nüfus artışına bağlı olarak artan gıda ihtiyacı, beraberinde tarımsal su ihtiyacını artırmaktadır. Suyun tarım dışında başka sektörlerde kullanılması durumu, tarım alanlarında çok miktarda kullanılan su tasarrufunu zorunluluk hale getirmektedir. Özellikle son yıllarda iklimde meydana gelen düzensizlikler, toprak ve su kaynakları ile birlikte tüm doğal kaynakların daha uygun ve etkin kullanımını gerekli kılmıştır. Bu bağlamda düşük kaliteye sahip sulama sularının tarımsal üretimde kullanımının yolları aranmalıdır (Coşkun vd. 2020). Kullanmakta olduğumuz su kaynaklarımızın korunması, toprak ve su dengesinin sağlanarak sürdürülebilir bir tarımsal üretimin devam edebilmesi açısından su kalitesinin sürekli izlenmesi ve bu alanlarda su tasarrufuna dair önlemlerin alınması gerekmektedir.

Bu amaçla çalışma kapsamında Na tuzu içeren (NaCl ve NaHCO_3) sulama sularının kullanımına bağlı olarak toprak fiziksel ve hidrolojik özelliklerindeki değişimin incelenmesi amacıyla çakılı olarak, tesadüf blokları deneme desenine göre deneme alanı oluşturulmuştur. EC değeri $3 < \text{dS m}^{-1}$ olan SAR düzeyleri 0 (kontrol), 20 ve 40 olacak şekilde NaCl ve NaHCO_3 içeren yapay tuzlu sulama suları hazırlanmış ve damlama sulama yöntemi ile toprağa uygulanmıştır. Deneme süresince on beş sulama yapılmış ve her beş yıkama sonrası olmak üzere dört dönemde infiltrasyon testleri yapılarak, 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinlikten toprak örnekleri alınmış ve profil boyunca toprakların fiziksel, kimyasal ve hidrolojik özellikleri incelenmiştir.

Çalışma alanında 3 farklı SAR düzeyi 2 adet tuz çeşidi ve 3 farklı toprak derinliği bulunmaktadır. Analiz edilen çok sayıda değişken olması sebebiyle elde edilen değişkenlerin bütün yönleri ile değerlendirilebilmesi için çok değişkenli varyans analizi

Multiple ANOVA (MANOVA) yapılmıştır. Önemli görülen toprak özelliklerinde farklılığa neden olan değişkenler Tukey post-tock karşılaştırma testleri ile ortaya konulmuştur. Çalışmanın tüm örnekleme dönemleri için sulama uygulamalarına bağlı olarak toprak özelliklerindeki değişimlerin izlenmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır.

Çalışmanın son dönemi olan 4. döneminde yapılan uygulamalar sonrasında doz, tuz çeşidi ve toprak derinliği değişkenlerinin etkisinin belirlendiği MANOVA varyans analizi sonuçlarına göre, SAR düzeyi, tuz çeşidi, toprak derinliği, SAR düzeyixtuz çeşidi, tuz çeşidixderinlik, SAR düzeyixtoprak derinliği, SAR düzeyixtuz çeşidixtoprak derinliği değişkenlerinin belirtilen toprak özellikleri üzerindeki etkisinin $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğunu göstermiştir. Toprak kimyasal özelliklerinden toprak pH' sı ve suda çözünebilir Mg üzerine SAR düzeyi ve tuz çeşidinin etkisi, suda çözünebilir Na, Ca, Cl ve ekstrakte edilebilir Na ve Ca üzerine tüm değişkenlerin etkisi, EC_e üzerine SAR düzeyi hariç tüm değişkenlerin etkisi önemli bulunurken, SDA için SAR düzeyi ve SAR düzeyixtuz çeşidi interaksiyonunun etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). GOÇ ve ekstrakte edilebilir K için tüm değişkenlerin etkisi istatistiksel olarak ($p > 0.05$) önemsiz bulunmuştur. Yine suda çözünebilir HCO_3 üzerine SAR düzeyi, tuz çeşidi, derinlik değişkenlerinin etkisi istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemli bulunmuştur. İnfiltrasyon hızı üzerine SAR düzeyi, tuz çeşidi ve SAR düzeyixtuz çeşidi interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$) Elde edilen sonuçlara göre; suda çözünebilir Na, Ca, Cl ve HCO_3 için tüm tuz çeşitleri birbirinden farklı grup oluştururken, EC_e ve ekstrakte edilebilir Na için NaCl tuz çeşidi, toprak pH' sı için $NaHCO_3$ tuz çeşidi, OAÇ için kontrol tuz çeşidi istatistiksel olarak önemli bir grup oluşturmuştur. İnfiltrasyon hızı için kontrol düzeyi ayrı bir grup oluştururken NaCl ve $NaHCO_3$ tuz çeşitleri aynı grup içerisinde yer almıştır.

Toprak özelliklerinde zamansal değişimin belirlenmesi için yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları Na tuz içeren sulama sularının, SAR düzeyi, tuz çeşidi ve toprak derinliği faktörlerinin toprakların kimyasal, fiziksel ve hidrolojik özelliklerine etkisi olduğunu göstermiştir. Çalışmada, toprakların tamponlama yeteneğinden dolayı, toprak pH' sının değişik SAR değerlerine sahip sulama sularının orta süreyle

kullanılması ile tuz uygulaması yapılan dönemlerde değişiminin belirgin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Uygulamalara bağlı olarak toprak pH'ının değişiminde NaHCO₃ tuz çeşidinin ve SAR düzeyinin istatistiksel olarak (p<0.05) önemli olduğu, ancak NaCl tuz uygulamalarının toprak pH'ının değişimine etkisinin (p>0.05) önemli olmadığı tespit edilmiştir. Sulama suyu SAR düzeyinin artmasına bağlı olarak NaCl tuz uygulamalarında toprakta EC, suda çözünebilir Na ve suda çözünebilir Cl konsantrasyonlarının tuzlu sulama yapılan dönemlerde özellikle yüzey toprağında istatistiksel olarak (p<0.05) önemli düzeyde arttığı, ilkbahar döneminde ise yağışların etkisinden dolayı tuzların yıkıldığı ve toprak profilinde yüzeyden itibaren tuzların derinliklerde biriktiği saptanmıştır. NaHCO₃ tuz uygulamalarında ise suda çözünebilir HCO₃ konsantrasyonunun sulama suyu SAR düzeyinin artışına bağlı olarak tuz uygulaması yapılan dönemlerde istatistiksel olarak önemli farklılıklara neden olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Denemede Na içeren sulama sularının belirli dönemlerde toprağa uygulanması her iki tuz çeşidinin uygulamalarında toprakta değişebilir Na'ın göstergesi olan SAR ve ESP'nin artmasına neden olmuştur.

Toprağa su giriş hızını belirleyen infiltrasyon hızı parametresinin sulama suyundaki Na konsantrasyonunun artmasından dolayı her iki tuz çeşidinde özellikle NaHCO₃ tuz uygulamalarında azaldığı saptanmıştır. Bu azalmanın sulama suyundaki Na hidrate çapının yüksek olması ile elektriksel çift tabakanın kalınlığını artırmasından dolayı, killerin dispersiyonuna neden olduğu ve toprak gözeneklerinin tıkanmasından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada SDA parametresi de sulama suyunun artan Na içeriğinden dolayı toprak taneciklerinin dispersiyona uğraması nedeniyle özellikle NaHCO₃ tuz uygulamalarında azalma göstermiştir. Çalışmada hacim ağırlığı değerlerinin uygulamaların yapıldığı dönemlerde NaHCO₃ tuz çeşidinde SAR düzeyinin artmasına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Hacim ağırlığındaki bu artış toprakta tuz içeriğinin artması, toprakların gözeneklilik ve infiltrasyonun azalması ile ilişkilendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; deneme planlanmasında farklı ara tuz dozları kullanılmış olsaydı sulama suyu tuzluluğunun toprak parametrelerindeki değişimini erken dönemdeki doz uygulamalarında görülebilirdi. Nitekim çalışmada SAR 20 ve 40

düzeyleri kullanıldığından Na⁺ un etkisi bazı toprak parametrelerinde tuz çeşitlerinin SAR düzeyi uygulamalarında benzer sonuçlar alınmasına neden olmuştur. Bundan sonraki yapılacak sulama suyu kalitesi çalışmalarında bu durumun göz önüne alınarak deneme deseni oluşturulması büyük önem arz etmektedir. Ayrıca çalışmada sulamalar beşer sulama şeklinde yapılmış ve toprak örnekleri sulamaların bitiminde alınıp toprak özelliklerinin değişimi tespit edilmiştir. Eğer toprak örneklemeleri daha sık aralıklarla alınmış olsaydı, toprakların bozulmaya başladığı ve toprakta alkaliliğin göstergesi olan SAR ve ESP değerlerinin daha net ifade edilebilmesini sağlayacaktı. Bu durumda bazı toprak parametrelerindeki uygulamalar arasındaki değişimler istatistiksel olarak önemli olabilirdi. Bu bağlamda yaptığımız çalışma daha sonra yapılacak benzer çalışmalarda SAR düzeyi ayarlamaları ve sulama sıklığının dikkate alınması açısından önemli sonuçlar vermiştir. Ayrıca çalışma sonucunda sulamalara devam edilmesi durumunda tuz çeşitlerinin topraktaki parametrelerindeki değişimlere etkisinin daha belirgin olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada sulama suyunun içerdiği tuzların türlerine bağlı olarak toprak çözeltili ve değişim yüzeylerinde katyonların tutulmasından dolayı toprak su çözeltilisinin özellikleri değişmiştir. Bu sonuç sulama suyunun kalitesi açısından NaCl tuzu içeren suların kullanılması toprakların özelliklerine olan etkileri açısından NaHCO₃ tuz içeren sulama sularına göre tercih edilebilir olduğunu göstermiştir.

Çalışma sonuçlarından Na içeren düşük kaliteli sulama sularının orta süreli kullanımı ile toprak profilinin derin katmanlarında biriken tuzların sıcaklığın yüksek ve yağışın düşük olduğu yaz aylarında kapıllarite ile yüzeye çıktığı ve toprak yüzeyinde tuz birikimine neden olduğu, kış ve ilkbahar döneminde ise yağışlardan dolayı tuzların bitkilerin yetiştiği 0-20 cm derinliğinde yıkandığı anlaşılmaktadır. Sulama suyundaki Na değerlerinin aşırı miktarlarda olması doğrudan toprak özelliklerini etkilese de bitki verimine de olumsuz etki yapmaktadır. İki yıl süren yaptığımız bu çalışmada yaz aylarında toplam on beş sulama yapılmıştır. Denemenin devam ettiği 2018 Mayıs ayında (kış sonu yapılan toprak örnekleme öncesinde) bölgeye aşırı miktarda yağış düşmüş ve bu yağışlar yaz aylarında sulamalarla toprağa uygulanan tuzların yıkanmasına neden olmuştur. Buna göre orta süreli sulamalarla topraktaki tuzların toprak bozulmasına olan etkileri daha düşük düzeyde olacağı düşünülmektedir. Ancak kış yağışlarının topraktaki tuzları yıkayamadığı şartlarda, uzun süreli sulamalarda düşük

kaliteli suların kullanılması durumunda toprak bozulununun olması kaçınılmazdır. Elde edilen sonuçlardan yola çıkarak sürdürülebilir tarımın devam edebilmesi için toprakta su-tuz dengesinin sağlanması açısından sulama sularının yönetimi, toprak bozulununun kontrol altına alınması ve bozulmuş toprakların ıslah edilmesi temel zorunluluk olmalıdır.

Çalışma sonunda rapor edilenler denemenin kurulduğu toprak koşulları ile bölgenin iklimine benzer iklimde uygulandığı koşullar için belirtilmektedir. Benzer koşullar altında benzer sonuçların alınması durumu gerçekleşebilir. Bundan dolayı, tarımsal üretim için gerekli olan mevcut toprak kaynaklarımızın korunması ve sürdürülebilir bir şekilde üretimde kullanılabilmesi için toprak ve su yönetimi ile ilgili tedbirlerin alınması önem arz etmektedir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde en önemli sorunlardan birisi kaliteli sulama suyu yetersizliğidir. Çalışma sonuçları neticesinde bu bölgelerde suyun etkin kullanılmasını sağlayacak aşağıdaki tedbirlerin alınması önemlidir.

- Düşük kalitedeki sular ile iyi kalitedeki suların karıştırılarak kullanılması,
- Bitkinin tuza hassas olduğu dönemlerde iyi kaliteli sulama sularının, gelişme döneminin sonlarında ise düşük kaliteli sulama sularının kullanımı,
- Tuza dayanıklı ve az su tüketen bitkilerin tercih edilmesi,
- Bölgenin iklim, buharlaşma, toprak vb. özellikleri ile yetiştiriciliği yapılacak bitki çeşidine göre sulama programlarının hazırlanması,
- Sulamaların basınçlı sulama sistemleri ile yapılması, sulamaların tam sulama şeklinde değil de kısıtlı sulama şeklinde bitkinin suya ihtiyaç duyduğu dönemlerde verilmesi,
- Yağmur hasadı uygulamaları, topraktan suyun buharlaşmasını önleyen, kış dönemindeki yağmur suyunu toprakta daha uzun süre tutmaya yarayan malçlama ve toprağı daha az işleme tabi tutan toprak işleme yöntemlerinin kullanılması.

Yaptığımız çalışma Na içeren tuzlu sular ile orta süreli sulamalar yapılması durumunda topraklarda fizikokimyasal bazı özelliklerin değerlendirilmesinde sulama suyu kalitesi,

sulama suyunun miktarı, tuz çeşidi, sulama mevsimi, yağış miktarı ve yıl içindeki dağılımı, sulama sıklığı ve toprak geçirgenliği gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca toprak ve su yönetiminde sulama suyu kalitesinin başlıca faktör olarak ele alınması ve toprakların bozulmasına neden olduğuna dikkat çekmesi açısından değerli sonuçlar vermiştir.



KAYNAKLAR

- Abbaslou, H., Hadifard, H. and Poorgohardi, A. 2016. Characterization of dispersive problematic soils and engineering improvements: a review. *Comput. Mater. Civ. Eng.*1,65–68.
- Abbaslou, H., Hadifard, H. and Ghanizadeh, A. R. 2020. Effect of cations and anions on flocculation of dispersive clayey soils. *Heliyon*, 6(2), e03462.
- Aboukarima, A. M., Al-Sulaiman, M. A. and El Marazky, M. S. 2018. Effect of sodium adsorption ratio and electric conductivity of the applied water on infiltration in a sandy-loam soil. *Water SA*, 44(1), 105-110.
- Abrol, I. P., Chhabra, R. and Gupta, P. K. 1980. A fresh look at the diagnostic criteria for sodic soils. I. International Symposium on Salt Affected Soils, 142-147, Feb. 18-21, Central Soil Salinity Reserch Institute, Karnal.
- Abrol, I. P.,Yadav, J. S. P. and Massoud, F. I. 1988. Salt-affected soils and their management. *FAO Solist Bulletin* 39, 131p, Rome.
- Abu-Alrub, I., Marcum, K.B., Kabir, N., Aran, A. and Hammadi, M. A. 2018. Productivity and nutritional value of four forage grass cultivars compared to Rhodes grass irrigated with saline water. *Aust J Crop Sci*, 12 (02), 203-209.
- Ağca, N., Doğan, K. ve Akgöl, A. 2000. Amik Ovasında yer alan bazı topraklarda tuzluluk ve alkaliliğin boyutlari üzerine bir araştırma. *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 5 (1-2), 29-40.
- Ahaneku, I. E. 2011. Infiltration characteristics of two major agricultural soils in north central Nigeria. *Agric. Sci. Res. J*, 17, 166–171.
- Ahmad, S., Ghafoor, A., Qadir, M. and Aziz, M. A. 2011. Amelioration of a calcareous. *Journal of Agriculture and Biology*, 8(2), 142-146.
- Aiazzi, M. T., Carpane, P. D., Di Rienzo, J. A. and Arguello, J. A. 2002. Effects of salinity and temperature on the germination and early seedling growth of *Atriplex cordobensis* Gandoger et Stuckert (Chenopodiaceae), *Seed Sci. Technol*, 30, 329–338.
- Ajala, O. N., Olaniyan, J. O., Affinnih, K. and Ahamefule, H. E. 2018. Effect of irrigation water quality on soil structure along Asa River Bank, Ilorin Kwara State. *Bulgarian Journal of Soil Science*, 3(1), 34-47.
- Akgöl, H. 2003. Tuzluluk, *Ziraat Mühendisliği Dergisi*, Sayı 340, Ankara.

- Akhter, J., Murray, R., Mahmood, K., Malik, K. A. and Ahmed, S. 2004. Improvement of degraded physical properties of a saline-sodic soil by reclamation with kallar grass (*Leptochloa fusca*). *Plant and Soil*, 258(1), 207-216.
- Akış, A., Kaya, B., Seferov, R. ve Başkan, H. O. 2005. Harran Ovası ve Çevresindeki, Tarım Arazilerinde Tuzluluk Problemi ve Bu Problemin İklim Özellikleri ile İlişkisi, www.sosyalbil.selcuk.edu.tr/sos_mak/articles, Konya.
- Akyürek, B. 1997. 1\100 000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, – F 15 Paftası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeolojoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 55, 1997.
- Allbed, A. and Kumar, L. 2013. Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Advances in remote sensing*, 2(04), 373.
- Al-Ghobari, H. M. 2011. The effect of irrigation water quality on soil properties under center pivot irrigation systems in central Saudi Arabia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 145, 507-516.
- Alsadon, A., Sadler, M. and Wahb-Allah, M. 2013. Responsive gene screening and exploration of genotypes responses to salinity tolerance in tomato. *Aust J Crop Sci*, 7 (9), 1383- 1395.
- Al-Busaidi, A.S. and Cookson, P. 2003. Salinity-pH relationships in calcareous soils. *Agri Marine Sci*, 8, 41-46.
- Al-Hamadani, A. A. H. 2001. The effect of the amount and time of adding leaching requirements in soil properties and yield of corn when irrigation by saline water. MSc Thesis, College of Agriculture, Baghdad University.
- Ali, A., Biggs, A. J., Marchuk, A. and Bennett, J. M. 2019. Effect of irrigation water pH on saturated hydraulic conductivity and electrokinetic properties of acidic, neutral, and alkaline soils. *Soil Science Society of America Journal*, 83(6), 1672-1682.
- Al-Musawi, A. Sh. F. 2000. Effect of irrigation management of saline water on soil properties and yield of corn. MSc Thesis, College of Agriculture, Baghdad University.
- Al-Zu'bi, Y. 2007. Effect of irrigation water on agricultural soil in Jordan valley: an example from arid area conditions, *J Arid Environ*, 7, 63–79.
- Altınbaş, Ü., Çengel, M., Uysal, H., Okur, B., Okur, N., Kurucu, Y. ve Delibacak, S. 2004. *Toprak Bilimi*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 557, Bornova/İzmir, 355 s.
- Amezketta, E. 1999. Soil aggregate stability: a review. *J Sustain Agric*, 14, 83–151.

- Amezket, E. 2007. Use of electromagnetic technique to determine sodicity in saline-sodic soils. *Soil Use Manage.* 23:278–285.
- Amit, R., Yehouda, E., Tamir, G., Onn, C., Naomi, P. and Avner, A. 2010. The role of rare rainstorms in the formation of calcic soil horizons on alluvial surfaces in extreme deserts. *Quaternary Research*, 74, 177-187.
- Anandarajah, A. 2003. Mechanism controlling permeability change in clays due to changes in pore fluid. *J. Geotech. Geoenviron.* 129 (2), 163–172.
- Andiç, C. 1993. Tarımsal Ekoloji. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Ders Notları No:16, Erzurum.
- Anonim. 1992. Ankara İli Arazi Varlığı. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, İl Rapor No: 06, Ankara.
- Anonim. 1996. Plant Materials for Saline-Alkaline Soils. Technical Notes, U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service Bridger, Montana October 1, 1996.
- Anonim. 2003. T.C. Çevre Bakanlığı Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Gn. Md. Çevre Referans Lab. “Mogan- Eymir Gölleri ve Çevresi Su Kirliliği İnceleme Raporu”, Ankara, 10-80.
- Anonim. 2019a. Web sitesi: Sulamada Atık Suların Kullanımı Ev Yönetimi <https://slideplayer.biz.tr/slide/3076343/>, Erişim tarihi: 03.02.2019.
- Anonim. 2019b. Gölbaşı/Ufuk Danışman İstasyonu Meteoroloji Bülteni. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Anonim2020a. Websitesi:file:///C:/Users/DELL/Downloads/Stres%20Fizyolojisi%20Der s%20Notu%202020.pdf. Bahçe Bitkilerinde Stres Fizyolojisi. Erişim tarihi: 19.04.2020.
- Anonim.2020b. Websitesi:<https://www.igdir.edu.tr/Addons/Resmi/uploads/files/bi%CC%87tki%CC%87sel-u%CC%88reti%CC%87mde-stres fakto%CC%88rleri%CC%87-tuzluluk-stresi%CC%87-su%CC%88leyman-temel.pdf> Bitkisel Üretim Nedir? Erişim tarihi:19.04.2020.
- Anonim. 2020c Websitesi: <https://studylib.net/doc/9816798/02-factors-affecting-solubility>.Erişim tarihi:11.02.2020.
- Anonim.2020d. Websitesi:<http://img.eba.gov.tr/800/08c/080/b67/5a0/874/c2f/8e9/6f2/40a/824/126/2b6/c78/001/80008c080b675a0874c2f8e96f240a8241262b6c78001.pdf?name=%C3%87%C3%96Z%C3%9CN%C3%9CRL%C3%9CK.pdf>, Erişim tarihi: 04.02.2020.

- Anonim.2020e.Websitesi:https://www.wikiwand.com/tr/%C3%87%C3%B6z%C3%BCn%C3%BCr%C3%BCk_tablosu .Erişim tarihi: 04.02.2020.
- Anonim. 2020f. Web Sitesi: <Http://Agri.Ankara.Edu.Tr/Haymana-Arastirma-Ve-Uygulam-Ciftligi/> Erişim Tarihi: 08.06.2020.
- Anonim. 2021a. Web sitesi: <https://ankaracevreduzenleme.blogspot.com/> Erişim tarihi:19.04.2021.
- Anonim. 2021b. Web sitesi <https://kadirhoca.com/turkiyede-baslica-toprak-tipleri-turleri/> Erişim tarihi: 19.04.2021.
- Anonim. 2021c.Websitesi: <http://www.derim.com.tr/tr/download/article-file/52879> Tuz stresi ve Bahçe Bitkileri Üzerindeki Yeri. Erişim tarihi: 19.04.2021.
- Anonim. 2021d Web sitesi: <https://silo.tips/download/sulama-suyu-kalitesi-ve-tuzluluk> Erişim tarihi: 19.04.2021.
- Anonim.2021e.Websitesi:[file:///C:/Users/DELL/Downloads/08+SULAMA+SUYU+KAL%C4%B0TE+KR%C4%B0TERLER%C4%B0+VE+SINIFLANDIRMA+\(SSKT\).pdf](file:///C:/Users/DELL/Downloads/08+SULAMA+SUYU+KAL%C4%B0TE+KR%C4%B0TERLER%C4%B0+VE+SINIFLANDIRMA+(SSKT).pdf). Erişim tarihi: 19.04.2021.
- Anonim. 2021f . Web sitesi: <https://docplayer.biz.tr/9888580-Sulama-suyu-kalitesi-ve-tuzluluk.html>. Erişim tarihi:19.04.2021.
- Anonim.2021g.Websitesi:https://obs.ahievran.edu.tr/oibs/akademik/shr_files/FILE_8zt53fbdrhp111zchsmrfg3legxu_duyuru.PDF Erişim tarihi:19.04.2021.
- Anonim.2021h.Websitesi:[https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mustafa.saglam/66596/7.%20Toprak%20Bilgisi%20\(Toprak%20SuyuToprak%20Suyunun%20Hareketi\).pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mustafa.saglam/66596/7.%20Toprak%20Bilgisi%20(Toprak%20SuyuToprak%20Suyunun%20Hareketi).pdf) Erişim tarihi:19.04.2021.
- Anonymous. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. U.S. Dept. of Agric. No: 60, USA.
- Armstrong, A. S. B. ve Tanton, T. W. 1992. Gypsum applications to aggregated saline—sodic clay topsoils. *Journal of Soil Science*, 43(2), 249-260.
- Asadbegi, M., Bahmani, O. and AtlasiPak, V. 2019. Impact of saline water on some ions uptake and yield of wheat genotypes and soil salt accumulation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(22), 2787-2796.
- Ashraf, M., Shahzad, S., Akhtar, N., Imtiaz, M. and Ali, A. 2017. Salinization/sodification of soil and physiological dynamics of sunflower irrigated with saline—sodic water amending by potassium and farm yard manure. *J. Water Reuse Desalin*, 7, 476–487.

- Askri, B. Ahmed, A., Abichou, T. and Bouhlila, R. 2014. Effects of shallow water table, salinity and frequency of irrigation water on the date palm water use, *J Hydrol*, 513, 81–90.
- Assouline, S. and Narkis, K. 2013. Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the root zone environment. *Vadose Zone J*, 12, 1–10.
- Assouline, S. K., Narkis, R. and Gherabli Sposito, G. 2016. Combined effect of sodicity and organic matter on soil properties under long-term irrigation with treated wastewater. *Vadose Zone J*, 15 (4), 1–10.
- Avcı, S. 2018. Farklı Sulama Yönetimi Uygulamalarının Lizimetre Koşullarında Drenaj Suyu Kalitesine, Toprak Tuzluluğuna ve Yoncada (*Medicago Sativa*) Verime Etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Tarımsal Sulama Anabilim Dalı, Ankara.
- Aydın, A. ve Sezen, Y. 1995. Toprak Kimyası Labaratuvar Kitabı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No:174, Erzurum.
- Aydın, A., Turan, M. ve Sezen, Y. 2000. Effect of sodium salts on growth and nutrient uptake of spinach (*Spinacia oleracea*) and beans (*Phaseolus vulgaris*). *International Symposium on Desertification*. p: 525- 530, 13-17 June, Konya/Turkey.
- Aydınşakir, K., Erdurmuş, C., Büyüktaş, D. ve Çakmakçı, S. 2012. Tuz (NaCl) stresinin bazı silajlık sorgum (*Sorghum Bicolor*) çeşitlerinin çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(1), 47-52.
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. 1976. Water quality for irrigation and drainage paper. N:29. Food and Agriculture Organizations of the United States, Rome.
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. 1989. Tarımda Su Kalitesi. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29.
- Bahçeci, İ. 2008. Drenaj Mühendisliği. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü 2008/1 340s. Şanlıurfa .
- Banerjee, B., Aggarwal, P. K., Pathak, H., Singh, A. K. ve Chaudhary, A .2006. Dynamics of organic carbon and microbial biomass in alluvial soil with tillage and amendments in rice-wheat systems. *Environ Monit Assess*, 119, 173–189.
- Barbour, M. G., Burk, J. H., Pitts, W. D., Gillian, F. S. and Schwartz, M. N. 1998. *Terrestrial Plant Ecology*. Benjamin/Cummings. Menlo Park, California.
- Bardhan, G., Russo, D., Goldstein, D. and Levy, G. J. 2016. Changes in the hydraulic properties of a clay soil under long-term irrigation with treated wastewater. *Geoderma*, 264, 1-9.

- Barzegar, A.R., Oades, J. M. and Rengasamy, P. 1996. Soil structure degradation and mellowing of compacted soils by saline sodic solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 60, 583–588.
- Başer, O. 2009. Stabilization of expansive soils using waste marble dust. Master Thesis. Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Civil Engineering, Ankara.
- Bauder, T. A., Waskom, R. M., Sutherland, P. L. and Davis, J. G. 2011. Irrigation water quality criteria. Doctoral dissertation, Colorado State University. Libraries.
- Bayraklı, F. 1993. Toprak Kimyası. Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Notları: 20, 133, Konya.
- Bayramin, İ. 2021. Sözlü görüşme. Ankara Üniversitesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü. Ankara.
- Bedbabis, S., Rouina, B. B., Boukhris M. and Ferrara, G. 2014. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *Journal of Environmental Management*, 133, 45–50.
- Beek, C. G. E. Van. and Breemen N. Van. 1973. The alkalinity of alkali soils. *J. Soil Sci*, 24, 129–136.
- Belaid, N., Neel, C., Lenain, J. F., Buzier, R., Kallel, M., Ayoub, T. and Baudu, M. 2012. Assessment of metal accumulation in calcareous soil and forage crops subjected to long-term irrigation using treated wastewater: case of El Hajeb-Sfax, Tunisia. *Agriculture, ecosystems & environment*, 158, 83-93.
- Bell, F. G. ve Maud, R. R. 1994. “Dispersive soils: a review from a South African perspective.” *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 27(3), 195-210.
- Bell, F.G. and Walker, D. J. H. 2000. “A further examination of the nature of dispersive soils in Natal, South Africa.” *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 33(3), 187-199.
- Ben-Hur, M., Shaineberg, I., Bakker, D. and Keren, R. 1985. Effect of soil texture and CaCO₃ content on water infiltration in crusted soil and related to water salinity. *Irrig. Sci*, 6, 281–294.
- Bennett, J. M., Marchuk, A., Marchuk, S. and Raine, S. R. 2019. Towards predicting the soil-specific threshold electrolyte concentration of soil as a reduction in saturated hydraulic conductivity: The role of clay net negative charge. *Geoderma*, 337, 122-131.

- Beven, K. J. and Clarke, R. T. 1986. On the variation of infiltration into a homogeneous soil matrix containing a population of macropores. *Water Resources Research*, 22(3), 383-388.
- Bhardwaj, A. K., Mandal, U. K. and Bar-Tal, A. 2008. Replacing saline-sodic irrigation water with treated wastewater: effects on saturated hydraulic conductivity, slaking, and swelling. *Irrigation Science*, 2008, 26: 139–146.
- Bhatti, E. U. H., Khan, M. M., Shah, S.A. R., Raza, S. S., Shoaib, M. and Adnan, M. 2019. Dynamics of water quality: Impact assessment process for water resource management. *Processes* 2019, 7, 102.
- Bhuvaneshwari, S., Soundra, B., Robinson, R.G. and Gandhi, S. R. 2007. “Stabilization and microstructural modification of dispersive clayey soils.” First International Conference on Soil and Rock Engineering Organized by Sri-Lankan Geotechnical Society, Colombo, Sri-Lanka, 5-11.
- Biggar, J. W. and Nielsen, D. R. 1962. Miscible displacement: II. Behavior of tracers. *Soil Sci. Soc. Am. Proc*, 25, 1- 25.
- Bilgili, A. 2013. Spatial assessment of soil salinity in the harran plain using multiple kriging techniques. *Environ Monit Assess*, 185 (1), 777-795.
- Bittelli, M., Campbell, G. S. and Flury, M. 1999. Characterization of particle-size distribution in soils with a fragmentation model. *Soil Science Society of America Journal*, 63(4), 782-788.
- Black, C. A., Evans, D. D. and White, J. L. 1965. *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties* (No. 631.410287/B627 V. 2). ASA.
- Blake, G. R. ve Hartge, K. H. 1986. Bulk Density. In: *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods*. ASA and SSSA. Agronomy Monograph, No: 9. Madison, Wisconsin USA. pp, 363–375.
- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A. C. and Soriano-Soto, M. D. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena*, 44(1), 47-67.
- Bouaroudj, S., Menad, A., Bounamous, A., Ali-Khodja, H., Gherib, A., Weigel, D. E. and Chenchouni, H. 2019. Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. *Chemosphere*, 219, 76-88.
- Bouyoucus, G. L. 1951. A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils, *Agronomy J*, 43, 434-438.

- Bower, C. and Fineman, M. 1957. Saline and Alkali Solis, U.S. Dep. of Agric. Book of Agriculture, 2819, 282-290.
- Bower, C. A. 1959. Cation-exchange equilibria in soils affected by sodium salts. Soil Science, 88, 32-35.
- Brady, Nyle C. and Weil, Ray R. 2000. Elements of the nature and properties of soils. In Elements of the nature and properties of soils: Prentice hall Upper Saddle River, NJ, USA.
- Bresson, L. M. and Boiffin, J. 1990. Morphological characterization of soil crust development stages on experimental field. Geoderma, 47, 301-325.
- Bronick, C. J. and Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124, 3-22.
- Brooks, R. H., Goertzen, J. O. and Bower, C. A. 1958. Prediction of changes in the compositions of the dissolved and exchangeable cations in soils upon irrigation with high sodium waters. Soil Sci. Soc. Am. Proc. J, 22,122-124.
- Buckman, H. O. and Brad, N. C. 1967. The nature and properties of soils. The MacMillan Company, New York, New York.
- Budak, M. 2012. Tuzlu Alkali Toprakların Oluşumu, Sınıflandırılması ve Klasik Toprak Etüd ve Jeostatistik Yöntemlerle Haritalanması. Doktora Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Toprak Anabilim Dalı. Tokat.
- Budak, M., Günal, H., Çelik, İ. ve Acir, N. 2019. Tarımsal Üretimin Sürdürülebilirliğinde Toprak Kalitesinin Korunması ve İyileştirilmesinin Önemi. Uluslararası Tarım ve Kırsal Kalkınma Kongresi Tam Metin Kitabı. 420.
- Büyüктаş, D. ve Hakgören, F. 2005. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Aksu birimi topraklarının toprak-su karakteristik eğrisi parametrelerinin belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(1), 101-106.
- Campbell, G. S. and Shiozawa, S. 1992. Prediction of hydraulic properties of soils using particle-size distribution and bulk density data. Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils, 317-328.
- Canlı, Ş. 2014. Menemen Ovasında Tarımsal Su Gereksinimi ve Sulama Sularının Bitki, Toprak ve Sulama Sistemleri Açısından Olası Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.
- Cardon, G. E., Davis J. G., Bauder, T. A. and Waaskom, R. M. 2007. Managing Saline Soils, Crop Series Colorado State University, No: 0.503.

- Caron, J., Kay, B. and Stone, J. 1992. Improvement of structural stability of a clay loam with drying. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1583-1590.
- Carrow, R. N. and Ducan, R. R. 1998. *Salt- Affected Turfgrass Sites: Assessment and management*, Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, 978-1-57504-091-2.
- Carsel, R. F. and Parrish, R. S. 1988. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resources Research*, 24(5), 755-769.
- Cass, A. 1999. Interpretation of some soil physical indicators for assessing soil physical fertility. In 'Soil analysis: An interpretation manual'. (Eds KI Peverill, LA Sparrow, DJ Reuter) pp. 95–102. Fds KI Peverill, LA Sparrow, DJ Reuter, 95-102.
- Cassel, D. K. 1971. Water and solute movement suea loam for two water management regime. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, J. 35, 859-866.
- Cemek, B., Güler, M. ve Arslan, H. 2006. Bafra Ovası sağ sahil sulama alanındaki tuzluluk dağılımının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 63- 72.
- Chaganti, V. N., Crohn, D. M. and Simunek, J. 2015. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline– sodic soil with moderate SAR reclaimed water. *Agr Water Manage*, 158, 255-265.
- Chamaki, S., Taghvaeian, S., Zhang, H. and Warren, J. G. 2019. Soil salinity variations in an irrigation scheme during a period of extreme dry and wet cycles. *Soil Syst.* 3, 35.
- Chamaki, S., Taghvaeian, S. and Kisling, L. J. 2020. Effect of Alternate Irrigation with Fresh and Saline Waters on Soil Profile Salinity and Chemical Properties. In *World Environmental and Water Resources Congress 2020: Water Resources Planning and Management and Irrigation and Drainage* (pp. 47-56). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Chapman, P. J. 2008. Soil and the environment. In: Holden, J. (ed.), *An Introduction Geography and the Environment*, School of Geography, University of Leeds, 762s. 143-174. www.pearsoned.co.uk/holden.
- Chaudhari, R., Dodha, V., Vidya, D., Chakravarty, M. and Maity, S. 2013. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. *International Journal of Scientific and Research Publicatios* 3(2), 1-8.
- Chen, W., Chen, B. B. and Shen, Q. R. 2000. Study on the pH change and alkali in the salt leaching process of coastal saline soil. *Acta Pedol. Sin.*, 37, 521–527 in Chinese.

- Chen, W., Hou, Z., Wu, L., Liang, Y. and Wei, C. 2010. Evaluating salinity distribution in soil irrigated with saline water in arid regions of northwest China. *Agricultural water management*, 97 (12), Pp. 2001- 2008.
- Chen, W., Jin, M., Ferré, T. P., Liu, Y., Xian, Y., Shan, T. and Ping, X. 2018. Spatial distribution of soil moisture, soil salinity, and root density beneath a cotton field under mulched drip irrigation with brackish and fresh water. *Field Crops Research*, 215, Pp. 207-221.
- Chen, X. and Duan, Z. 2015a. Impacts of soil crusts on soil physicochemical characteristics in different rainfall zones of the arid and semi-arid desert regions of northern China. *Environmental Earth Sciences*, 73(7), 3335-3347.
- Chen, L. J., Feng, Q., Li, F. R. and Li, C. S. 2015b. Simulation of soil water and salt transfer under mulched furrow irrigation with saline water. *Geoderma*, 241, 87-96.
- Chen, J., Fang, Y., Gu, R., Shu, H., Ba, L. and Li, W. 2019. Study on pore size effect of low permeability clay seepage. *Arab. J. Geosci*, 12, 238.
- Chorom, M., Regasamy, P. and Murray, R. S. 1994. Clay dispersion as influenced by pH and net particle charge of sodic soils. *Aust. J. Soil Res*, 32, 1243-1252.
- Chorom, M. and Rengasamy, P. 1995. Dispersion and zeta potential of pure clays as related to net particle charge under varying pH, electrolyte concentration and cation type. *European Journal of Soil Science*, 46(4), 657-665.
- Choudhary, O. P. and Khariche, V. K. 2018. Soil salinity and sodicity. *Soil Science: An Introduction*, 353-384.
- Choudhary, O. P., Bhalla, M., Sharma, S., Sharda, R. and Mavi, M. S. 2019. Long-term impact of cyclic use of sodic and canal water for irrigation on soil quality and wheat yield in cotton-wheat cropping system. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 67(1), 34-43.
- Coleman, N. T. and Mehlich, A. 1957. The chemistry of soil pH. *Soil: The*, 72-79.
- Collins, J. B., Whiteside, E. P. and Cress. C. E. 1970. Seasonal variability of pH and lime requirements in several southern Michigan soils when measured in different ways. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34, 56-61.
- Corvin, D. L., Lesch, S. M., Shouse, P. J., Soppe, R. and Ayars, J. E. 2003. Soil management identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. *Published in Agron J*, 95, 352-364.
- Corvin, D. L. and Lesch, S. M. 2005. Characterizing Soil Spatial Variability with Apparent Soil Electrical Conductivity, 1. *Survey Protocols Science Direct Computers and Electronics in Agriculture*, 46 (2005), 103-133.

- Costa, J. L., Prunty, L., Montgomery, B. R., Richardson, J. L. and Alessi, R. S. 1991. Water quality effects on soils and alfalfa: II. Soil physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55 (1), 203–209.
- Costa, J. L. and Aparicio, V. C. 2015. Quality assessment of irrigation water under a combination of rain and irrigation. *Agric. Water Manage.*, 159, 299–306.
- Costa, J. L., Aparicio, V. C., Salleses, L. F. and Frolla, F. D. 2016. Effect of tillage and application of gypsum In a No-Till field under supplementary irrigation with sodium bicarbonate waters. *Agricultural Water Management*, 177, 291-297.
- Coşkun, Y., Taş, İ., Akçura, M., Oral, A., Tütenocaklı, T. ve Yeter, T. 2020. Farklı sulama suyu tuzluluk düzeylerinin mısırın fide gelişimine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(4), 1139-1147.
- Crescimanno, G., M. Iovino. and Provenzano, G. 1995. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristic. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 1701–1708.
- Cucci, G., Lacolla, G., Pagliai, M. and Vignozzi, N. 2015. Effect of reclamation on the structure of silty-clay soils irrigated with saline-sodic waters. *International agrophysics*, 29(1).
- Curtin, D., Steppuhn, H., Mernut, A. R. and Selles, F. 1995. Sodicity in irrigated soils in Saskatchewan: chemistry and structural stability. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 17–184.
- Çebi, Ü. 2020. Evaluation of underground water quality in terms of irrigation water in Tekirdağ Province. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(6), 1391-1398.
- Çelenk, F. K. 2016. Toprak özelliklerinde mekansal değişkenliğin faktör analizi: Erenler örneği (Sakarya). *Türk Coğrafya Dergisi*, (66), 37-42.
- Çelik, M. S. ve Ersoy, B. 2004. Mineral Nanoparticles: Electrokinetics, in: J.A. Schwarz, C.I. Contescu, K. Putyera (Eds.), *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*, Marcel-Dekker, New York, USA, 1991-2005.
- Çimen, H. 2019. Farklı Arazi Kullanımı ve Toprak Tiplerinin İnfiltrasyon Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Çullu, M. A., Almaca, A., Öztürkmen, A. R., Ağca, N., İnce, F. ve Derici, M. R. 2000a. Harran ovası topraklarında tuzluluğun yayılma olasılığının belirlenmesi. T. C. Başbakanlık GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı.

- Çullu, M., Almaca, A. ve Çelik, İ. 2000b. Degradation of The Harran Plain Soils Due To Irrigation. Proceedings of International Symposium on Desertification, 193-197, Konya.
- Dagesse, D. 2011. Effect of freeze-drying on soil aggregate stability. Soil Sci. Soc. Am. J, 75, 2111- 2121.
- Dağdelen, E. 2012. Sulama Suyu Kalitesi/ (Farklı kaynaklardan derleme ve çeviri çalışması)
<https://www.google.com.tr/search?q=ender+da%C4%9Fdelen%2C+sulama+suyu+kalitesi&oq=ender+da%C4%9Fdelen%2C+sulama+suyu+kalitesi&aqs=chrome.69i57j4828j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. (Erişim Tarihi: 12/07/2018).
- Dai, F., Zhou, Q., Lv, Z., Wang, X. and Liu, G. 2014. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau. Ecological Indicators, 45, 184-194.
- Dane, J. H. and Hopmans, J. W. 2002. Pressure plate Extractor. In Methods of Soil Analysis. Part 4- Physical Analysis, Dane J.H., Topp G. (Co-editors) Soil Science Society America, Inc, Madison, Wisconsin, pp., 688-692.
- Dang, A., Bennett, J. M., Marchuk, A., Marchuk, S., Biggs, A. J. W. and Raine, S. R. 2018. Validating laboratory assessment of threshold electrolyte concentration for fields irrigated with marginal quality saline-sodic water. Agr Water Manage, 205, 21-29.
- De Sigmoid, A. 1938. The principles of Soil Sciences. London.
- Delesalle, V. A. and Blum, S. 1994. Variation in germination and survival among families of *Sagittaria latifolia* in response to salinity and temperature. International Journal of Plant Sciences, 155(2), 187-195.
- Deliboran, A. ve Savran, Ş. 2015. Toprak tuzluluğu ve tuzluluğa bitkilerin dayanım mekanizmaları. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 8(1), 57-61.
- Demir, S. ve Kılıç, K. 2012. Erbaa Ovası yeraltı suyunun tuzluluğunun değerlendirilmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(4), 79-86.
- Demir, S. ve Koçyiğit R. 2017. Donma-Çözülme çüreçlerinin farklı arazi kullanımı altındaki toprakların agregat stabilitesi üzerine etkileri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 34 (3), 269-279
- Demirela, G., Yilmazer, E. ve Kavurmaci, M. M. 2020. Hydrogeochemical, geotechnical and soil geochemistry characteristics of Aksaray University campus area, Aksaray University Journal of Science and Engineering. 4, 1, 90-112.

- Dengiz, O., Özyazıcı, M. ve Sağlam, M .2015. Multi-criteria assessment and geostatistical approach for determination of rice growing suitability sites in Gokirmak catchment. *Paddy and Water Environment* 13(1), 1-10.
- Dinh, Q. T., Liang, D., Thi Anh Thu, T., Le, T. D. H., Dinh Vuong, N. and Pham, V. T. 2018. Spatial prediction of saline and sodic soils in rice–shrimp farming land by using integrated artificial neural network/regression model and kriging. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(3), 371-383.
- Doğan, N. ve Doğan, İ. 2014. Birinci tür hata'nın kontrolü ve adımsal (stepwise) çoklu karşılaştırma testleri. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 28-33.
- Domzal, H., Gostkowka, K., Furczak, J., Bielinska, J. and Paranagal, J. 1994. Physical, Chemical and Biological Degradation of Agiculturally Utilized Soil, 1STRO Proceedings. Aalborg, 1, 31 -36.
- Dongli, S., Xuemei, G., Peng, W., Wentao, X., Yingying, L. and Yi, L. 2015. Comparison of soil hydraulic properties with different levels of soil salinity and sodicity. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(8), 5351-5360.
- Dorak, S. ve Çelik, H. 2017. Irrigation water quality of Nilüfer Stream and effects of the wastewater discharges of the treatment plants. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Dergisi*. 2017, 54 (3), 249-257.
- Dorak, S., Aşık, B. B. ve Özsoy, G. 2018. Tarımda su kalitesi ve su kirliliğinin önemi: Bursa Nilüfer Çayı örneği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 33(1), s. 155-166.
- Dorsan, A. F. 1988. Gediz Havzasında Tuzlu, Tuzlu-Alkali Toprakların Kültürteknik Önlemlerle Islahı Üzerinde Bir Araştırma (Doctoral Dissertation, Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kültürteknik Anabilim Dalı, İzmir.
- Dubey, D., Verma, G. P. and Sharma, O. P. 1983. Differences in the nature and properties between salt affected and normal Vertisols. *Current Agric*, 129-137.
- Dudal, R. 1982. Land degradation in a world perspective. *J. Soil Water Conserv*, 37, 245-249.
- Dursun, S. A. 2017. Tuzlu-Sodyumlu–Borlu Toprakların Islahı ve Matematiksel Modellenmesi. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, 198s.
- Eaton, F. M. 1950. Significant of carbonates in irrigation waters, *Soil Sci*, 69, 123-133.
- Ekberli, İ. ve Dengiz, O. 2017. Bazalt ana materyali ve farklı topografik pozisyonlar üzerinde oluşmuş toprakların bazı topografik ve fiziko-kimyasal özellikleri

- arasındaki doğrusal regresyon modellerinin belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi*, 6(1), 15-27.
- Ekmekçi, E., Apan, M. ve Kara, T. 2005. Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 20 (3), 118- 125.
- Elbasher, M. M., Xiaohou, S., Ali, A. A. and Osman, B. H. 2016. Modeling of soil exchangeable sodium percentage function to soil adsorption ratio on sandy clay loam soil. *International Journal of Plant & Soil Science*, 10(5), 1-6.
- El-Boraie, F. M. E. 1997. A study on the water management under arid conditions.
- El-Morsy, Ea., Malik, M. and Letey, J. 1991. Interaction between water quality and polymer treatment on infiltration rate and clay migration. *Soil Technol*, 4, 221–231.
- Eltaif, N. I., Gharaibeh, M. A. and Ababneh, Z. A. 2011. Changes in selected soil physical properties caused by sodicity of soil and irrigation water. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 61(1), 84-91.
- Emadi, M. and Baghernejad, M. 2014. Comparison of spatial interpolation techniques for mapping soil pH and salinity in agricultural coastal areas. northern Iran, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(9), 1315-1327.
- Embaby, AAA and El-Barbary, SMAJ. 2011. Evaluation of Quaternary aquifer for agricultural purposes in northwest Sinai, Egypt. *J. Am. Sci.* 7(3), 344-361.
- Emdad, M. R., Raine, S. R., Smith, R. J. and Fardad, H. 2004. Effect of water quality on soil structure and infiltration under furrow irrigation. *Irrig Sci*, 23, 55-60.
- Erdem, F. ve Çelik, K. S. 2018. Farklı tuzluluk ve yıkama suyu oranlarına sahip sulama sularının ıspanak (*spinacia oleracea l.*) gelişimi, verimi ve drenaj suyu kalitesine etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 73-82.
- Ergene, A. 1982. *Toprak Bilgisi*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:267, Ders Kitapları Serisi No: 42, Erzurum.
- Ergene, A. 1997. *Toprak Biliminin Esasları*. Yayın no: 0027 ISBN: 975-8004-30-1S:108-110.
- Ergün, A. 2019. Farklı Tekstüre Sahip Topraklarda Yüzeydeki Su Derinliğinin İnfiltrasyon Hızına Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, 60 s.
- Erkin, D. 2019. Farklı Sodyum Absorpsiyon Oranına Sahip Sulama Sularının Toprak Tuzluluğu ve Sodyumluluğu İle Fasulye (*Phaseolus Vulgaris L.*) Bitkisinin

- Gelişimine ve Verimine Olan Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 62, Samsun.
- Erkoçak, A. 2020. Farklı Topoğrafik Pozisyonlarda Yer Alan ve Farklı Ana Materyal Üzerinde Oluşmuş Toprakların Jeobiyopedolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı.
- Erşahin, S. ve Er, F. 1999a. Topraklarda tercihi akı ile kimyasal taşınması. S.Ü. Ziraat Fak. Dergisi. 13, 25-33.
- Erşahin, S. 1999b. Aluviyal bir tarlada bazı fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin uzaysal (Spatial) değişkenliğinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 13, 34-41.
- Erşahin, S. 2001. Toprak Amenajmanı. GOÜ Ziraat Fakültesi Ders Notları Serisi. Tokat, 21, 44-57.
- Ertaş, A. 2010. Toprak Hidrolik Özellikleri ve Toprak Suyu Yüzey Gerilimi İlişkileri. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı.
- Ertuğrul, H. ve Apan, M. 1979. Sulama Sistemlerinin Projelenmesi. A.Ü Yayınları No:562, Ziraat Fak. Yayınları No:252, Ders Kitapları Serisi: 38, Erzurum.
- Esechie, H. A. 1994. Interaction of salinity and temperature on the germination of sorghum. J.Agron. and Crop Sci, 172, 194-199.
- FAO. 1988. Soil map of the World, Revised legend, by FAO–UNESCO–ISRIC World Soil Resources Report No. 60, Rome.
- FAO. 2000. <http://www.fao.org/docrep/x5871e/x5871e00.html>
- FAO. ve ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. <http://www.fao.org/3/a-bc600e.pdf>, (Erişim tarihi:23.10.2020)
- Faritfeh, J., Farshad, A. and George. R. J. 2006. Assesing salt-affected soils ussing remote sensing, solute modelling, and geophysics. Geoderma, 130 (20 06), 191-206.
- Felhendler, R., Shainberg, I. and Frenkel, H. 1974. Dispersion and hydraulic conductivity of soils in mixed solution, Trans. 10th Int. Cong. Soil Sci. (Moscow), I, 103-112. Nauka.
- Fernandez-Buces, N., Siebe, C., Cram, S. and Palacio, J. L. 2006. Mapping Soil Salinity using a Combined Spectral Response Index for Bare Soil and Vegetation: A Case Study in the Former Lake Texcoco, Journal of Arid Environment Elsevier, Mexico.

- Fipps, G. 2003. Irrigation water quality standards and salinity management strategies. Texas FARMER Collection.
- Follett, R. H. and Soltanpour, P. N. 2002. Irrigation water quality criteria. Colorado State University Publication No. 0.506.
- Frenkel, H., Goertzen, J. O. and Rhoades, J. D. 1978. Effects of clay type and content exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity, *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 42, p, 32–39.
- Ganjugunte, G. K., King, L. A. and Vance, G. F. 2008. Cumulative soil chemistry changes from land application of Saline–Sodic waters. *Journal of Environment Quality* 37(5_Supplement): S128.
- Ganjugunte, G. K., Z. Sheng. and Clark. J. A. 2014. Soil salinity and sodicity appraisal by electromagnetic induction in irrigated cotton soils. *Land Degrad. Dev.* 25, 228–235.
- Ganjugunte, G. K., Clark, J. A., Sallenave, R., Sevostianova, E., Serena, M., Alvarez, G. and Leinauer, B. 2017. Soil salinity of an urban park after long-term irrigation with saline ground water. *Agronomy Journal*, 109(6), 3011-3018.
- Gao, H., Bai, J., Wang, Q., Huang, L. and Xiao, R. 2010. Profile distribution of soil nutrients in unrestored and restored wetlands of the Yellow River Delta, China. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1652-1661.
- Genuchten, Van, Th, M., Simunek, F., Leij, F. J. and Sejna, M. 2009. The RETC code (version 6.02) for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. (<http://www.hydrus3d.com>)
- Gharaibeh, Ma. and Eltaif, Ni. 2014. Impact of water quality, cultivation, and cropping systems on infiltration and physical properties of an arid clay soil. *Soil Water Res*, 9, 127–134.
- Goderya Farida, S. 1998. Field scale variations in soil properties for spatially variable control: a review. *Journal of Soil Contamination* 7, 243-264.
- Goldberg, S., Suarez, D. L. ve Glaubig, R. A. 1988. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid-zone soils. *Soil Sci*, 146, 317-325.
- Gong, B., Wen, D., Bloszies, S., Li, X., Wei, M. and Yang, F. J. 2014. Comparative effects of NaCl and NaHCO₃ stresses on respiratory metabolism, antioxidant system, nutritional status, and organic acid metabolism in tomato roots. *Acta Physio. Plant.* 36, 2167-2181.

- Goovaerts, P. 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of soils*, 27(4), 315-334.
- Gordon, I. 2003. Defining soil salinity and its potential implications for road design in Queensland.
- Gökoğlu, B. 2005. Organik Materyal Kullanımının Alkali Bir Toprağın Bazı İslah Göstergeleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı. 73 s.
- Gökoğlu, B. ve Çaycı, G. 2021. Organik materyal kullanımının alkali bir toprağın bazı ıslah göstergeleri üzerine etkisi. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 60-67.
- Grattan, S. and Grieve, C. M. 1999. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments, In: Pessarakli M. (ed.): *Handbook of plant and crop stress*, Marcel Dekker, New York, 203-229.
- Grim, R. E. 1968. *Clay Mineralogy*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, U.S.A.
- Gupta, R. K., Chhabra, R. and Abrol, I. P. 1982. Fluorine adsorption behaviour in alkali soils: relative roles of pH and sodicity, *Soil Sci*, 133, 364-368.
- Gupta, R. K., Bhumbra, D. K. and Abrol, I. P. 1984. Sodium-calcium exchange equilibria in soils as affected by calcium carbonate and organic matter. *Soil Science*, 138(2), 109-114.
- Gupta, R. K., Singh, R. R. and Abrol, I. P. 1989. Influence of simultaneous changes in sodicity and pH on the hydraulic conductivity of an alkali soil under rice culture. *Soil Science*, 147(1), 28-33.
- Gülser, C. 1999. Toprak gözeneklerinin tıkanma mekanizması ve kontrolü. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 14 (2), 184-197.
- Gülser, C., İç, S., Candemir, F. ve Demir, Z. 2008. Effects of rice husk application on mechanical properties and cultivation of a clay soil with and without planting. 29 October-01 November, Kuşadası, Turkey. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Özel sayı: 217-223.
- Gülser, C., Ekberli, I., Candemir, F. ve Demir, Z. 2016. Spatial variability of soil physical properties in a cultivated field. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(3), 192-200.
- Gümüş, İ., Şeker, C., Negiş, H., Özyaytekin, H. H., Karaarslan, E. ve Çetin, Ü. 2016. Buğday ekili alanlarda agregat stabilitesine etki eden faktörlerin belirlenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, TARGİD Özel Sayı, 236-242.

- Gümüş, İ. 2019. Kabuk bağlama problemi bulunan bir toprağın ıslahına sıvı hümik asit uygulamasının etkisinin inkübasyon çalışmasında belirlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7(1), 43-50.
- Günel, H. 2001. Clay illuviation and calcium carbonate accumulation along precipitation gradient in Kansas. Doktora Tezi, Kansas State University Manhattan, USA.
- Günel, H., Akbaş, F., Özgoz, E., Ünlükara, A., Yıldız, H., Kurunç, A., Çetin, M. ve Erşahin, S. 2008. Kazova'da Sürdürülebilir Tarımsal Üretim için Gerekli Güncel Veri Tabanının Oluşturulması. Tübitak Projesi, Proje No 105O607.
- Güzel, N. ve Gülüt, K. Y. 2010. Toprağın Oluşumu ve Özellikleri Çeviri Kitabı, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ofset Atölyesi Adana, 593-611.
- Haj-Amor, Z., Hashemi, H. and Bouri, S. 2018. The consequences of saline irrigation treatments on soil physicochemical characteristics. *Euro-Mediterr. J. Environ. Integr.*, 3 (22), 2–12.
- Hammade, L. and Sulieman, A. 2020. Effect of NaCl Saline Irrigation Water on Soil Salinity. *Natural and Applied Sciences Series*, 35(2).
- Hammecker, C., van Asten, P., Marlet, S., Maeght, J. and Poss, R. 2009. Simulating the evolution of soil solutions in irrigated rice soils in the Sahel. *Geoderma* 150:129–140.
- Hardie, M. 2009. Dispersive soils and their management. Technical Reference Manual, Department of Primary Industries and Water, Tasmania.
- Harron, W. R. A., Webster, G. R. and Cairns, R. R. 1983. Relationship between exchangeable sodium and sodium adsorption ratio in a Solonchic soil association. *Canadian Journal of Soil Science*, 63, 461–467.
- Hasan, H. I., Battikhi, A. M. and Qrunfleh, M. M. 2015. Impacts of treated wastewater reuse on some soil properties and production of *gladiolus communis*. *Jordan J. Agr. Sci.*, 11(4), 1103–1118.
- Hassan, D. F., Jafaar, A. A. and Mohammad, R. J. 2019. Effect of irrigation water salinity and tillage systems on some physical soil properties. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 50, 42-47.
- Hassanli, A. M., Javan, M. and Saadat, Y. 2008. Reuse of municipal effluent with drip irrigation and evaluation the effect on soil properties in a semi-arid area. *Environ. Monit. Assess.*, 144(1), 151–158.
- Hawkes, G. E., Powlson, D. S., Randall, E. W. and Tare, K. R. 1984. A ³¹P nuclear magnetic resonance study of the phosphorus species in alkali extracts of soils from long-term field experiments. *J. Soil Sci.*, 35, 35-45.

- Hayes, A. R., Mancino C. F. and Pepper, I. L. 1990. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: I. Soil and leachate water quality, *Agron. J.*, 82 (1990), 939–943.
- Haynes, R. J. and Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*, 51, 123-137.
- Hayran, M. ve Özdemir, O. 1996. *Bilgisayar İstatistik ve Tıp*, Hekimler Yayın Birliği, 2. Baskı, Ankara, s, 309-314.
- Hazelton, P. and Murphy, B. 2016. *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?* : CSIRO publishing.
- Hilgard, E. W. 1900. Nature, value and utility of alkali lands. *University of California Agriculture Experiment Station Bulletin*, 128, 1-46.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press, New York, 413 pp.
- Hillel, D. 1982. *Introduction to Soil Physics*, Academic Pres, Inc, 364 s., California, ABD.
- Holanda, J. S., Vitti, G., Salviano, A. A. C., Medeiros, J. D. F. and Amorim, J. R. A. 1998. Alterações nas propriedades químicas de um solo aluvial salino-sódico decorrentes da subsolagem e do uso de condicionadores. *Rev Bras Cienc Solo*, 22(3), 387- 394.
- Horneck, D. A., Ellsworth, J. W., Hopkins, B. G., Sullivan, D. M. and Stevens, R. G. 2007. *Managing Salt-Affected Soils for Crop Production*. A Pacific Northwest Extension, Oragen State University.
- Hu, F. N., Xu, C.Y., Li, H., Li, S., Yu, Z. H. and Li, Y. 2015a. Particles interaction forces and their effects on soil aggregates breakdown. *Soil & Tillage Research*, 147, 1–9.
- Hu, F. N., Li, H., Liu, X. M., Li, S., Ding, W .Q. and Xu, C. Y. 2015b. Quantitative characterization of non-classic polarization of cation on clay aggregate stability. *PLoS One*, 10, e0122460.
- Huang, C. H., Xue, X., Wang, T., Mascellis, R. D., Mele, G. and You, Q. G. 2010. Effects of saline water irrigation on soil properties in northwest China. *Environmental Earth Sciences*, 63(4), 701–708.
- Huang, C., Xue, X., Wang, T., De Mascellis, R., Mele, G., You Q. G., Peng, F. and Tedeschi, A. 2011. Effects of saline water irrigation on soil properties in northwest China, *Environ Earth Sci*, 63, 701–708.

- Husien, A., Seboka, S. and Shifarra, W. 2017. Assessment of irrigation water quality of lowlands in the Bale Zone, South Eastern Oromia, Ethiopia. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 9(12), 264-269.
- Hussain, N., Sarwar, G., Schmeisky, H., Al-Rawahy, S. and Ahmad, M. 2010. Salinity and drought management in legume crops. In *Climate Change and Management of Cool Season Grain Legume Crops* (pp. 171-191). Springer, Dordrecht.
- Irvine, S. A. and Doughton, J. A. 2001. Salinity and sodicity, implications for farmers in Central Queensland. In *Proceedings of the 10th Australian agronomy conference*. (The Australian Society of Agronomy Inc. Hobart) Available at <http://www.regional.org.au/au/asa/2001/3/b/irvine.htm> (verified 3 January 2006).
- Iwai, C.B., Oo, A.N. and Topark-ngarm, B. 2012. Soil property and microbial activity in natural salt affected soils in an alternating wet–dry tropical climate. *Geoderma*, 189–190, 144–152.
- İlay, R. ve Kavdır, Y. 2017. Farklı arazi kullanım türlerinin topraktaki suda çözünebilir iyon kapsamına etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(3), 367-375.
- İnce, F. 1980. Erzurum yöresinde bulunan bazı suların kalitelerinin saptanması üzerine bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11, 127-134.
- Jalali, M. 2007. Salinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example from Tajarak, western Iran. *Environ. Geol.* 52, 1133–1149.
- Jalali, M. 2008. Effect of sodium ve magnesium on kinetics of potasium release in some calcareous soils of Western Iran. *Geoderma*, 145, 207-215.
- Jamel, M. A., Karim, I. R. and Nima, A. K. S. 2018. The effect of irrigation water quality of furrow irrigation system on the soil properties in ABU Gharib District. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 11(4), 53-59.
- James, D.W., Hanks, R. J. and Jurinak, J. J. 1982. *Salt-Affected Soils. Modern Irrigated Soils*, Chapter 9, Dept. of Soil Science and Biometeorology, Utah State University, John Willey and Sons, New York, 136-169s.
- Janitzky, P. 1954. Salz-und alkaliböden und wege zu ihrer verbesserung, Vergleich russich und amerikanischer Forschungsergebnisse, Gieben.
- Javadi, A., Mostafazadeh-Fard, B., Shayannejad, M., Mosaddeghi, M. R. and Ebrahimian, H. 2019. Soil physical and chemical properties and drain water quality as affected by irrigation and leaching managements. *Soil Science and Plant Nutrition*, 65(4), 321-331.

- Javadinejad, S., Ostad-Ali-Askari, K., Singh, V. P. and Shayannejad, M. 2019. Reliable, resilient, and sustainable water management in different water use sectors. *Water Conservation Science and Engineering*, 4 (2- 3), Pp. 133-148.
- Ji, Q., Feng, S., Yuan, C., Huo, Z. and Qi, Y. 2014. Influences of saline water irrigation on soil physical properties in Shiyang River Basin. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 32(9), 802-807.
- Jiang, Z., Li, C., Liu, H. and Du, H. 2018. Effect of Irrigation with Dairy Factory Effluent on the Content of Soluble Cation in Soil of Winter Wheat. In 2018 7th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development (ICEESD 2018). Atlantis Press.
- Jiao, X. D. and Teng, Y. G. 2008. Techniques on soil remediation and disposal of vanadium pollution. *Chinese Journal of Soil Science*, 39(2), 448-452.
- Jordan, M. M., Pedreno J. N., Sanchez, E. G., Mateu, J. and Juan, P. 2004. Spatial dynamicsof soil salinity under arid and semi-arid conditions: geological and environmental implications. *Environmental Geology* 45, 448-456 Springer Verlag.
- Joseph, E. A. 2016. Rice cultivation in saline tracts of Kerala: an overview. *Int J Fish Aquat Stud*. 4, 355– 358.
- Joshi, D. M., Kumar, A. and Agrawal, N. 2009. Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar district, *Rasayan Journal of Chemistry*, 2(2), 285–292.
- Kadiroğlu, A. ve Kaplan, M. 2000. Değişik düzeylerdeki su tuzluluğu ve gübrelemelerin tek ürün hıyar yetiştiriciliği üzerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi. Ziraat Fakültesi*, 126-138.
- Kaledhonkar, M. J. and Keshari, A.K 2006. Modeling the effects of saline water use in agriculture. *Irrig Drain* 55: 177–190.
- Kamphorst, A. and Bolt, G. H. 1976. *Soil chemistry, Basic elements*, ElsevierScientific Publishing Company, 72-73, Amsterdam – Oxford –Newyork.
- Kanber, R., Kırdar, C. ve Tekinel, O. 1992. Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları. Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:21, Ders Kitapları Yayın No:6, Adana.
- Kanber, R. ve Ünlü, M. 2010. Tarımda Su ve Toprak Tuzluluğu, Çukurova Üniv. Ziraat Fak, Genel Yayın No: 281, 307 s, Adana.
- Kang, S., Hao, X., Du, T., Tong, L., Su, X., Lu, H. and Ding, R. 2017. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. *Agricultural Water Management*, 179, Pp. 5-17.

- Kara, T. 2002. Irrigation scheduling to prevent soil salinization from a shallow water table. *Acta Horticulture*, 573, 139-151.
- Karakoç, B. ve Kale, S. 2016. Farklı erirlikteki tuz cinslerine sahip sulama suyu tuz düzeylerinin, marul (*Lactuca sativa*) verimi üzerine etkileri. *SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(1), 1-7.
- Karaoğlu, M. ve Yalçın, A. M. 2018. Toprak tuzluluğu ve ığdır ovası örneği. *Journal of Agriculture*, 1(1), 27-41.
- Kathumo, V. and Gachene, C. K. K. 2012. Participatory GIS in Conserving Lower Tana River Forest (LTRF) Complex in Coastal Kenya: Participatory GIS Case study. In Proceedings of a national workshop on Conservation of Lower Tana River Forest Complex held at Kenya Agricultural Research Institute on April 13th.
- Kaya, C., Kirnak, H. and Higgs, D. 2001. Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus in tomato cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 24(2), 357-367.
- Kelly, P. 1951. Alkali soils, their formation, properties and reclamation. Reinhold Publishing Corporation, New York, U.S.A.
- Kemper, W. D. and Rosenau, R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A.(Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I: Physical Analysis*. SSSA, Madison, WI, pp, 425-442.
- Keskin, B. ve Gıanı, L. 2006. Tuzlu ve alkali toprakların sınıflandırılması. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 11-14.
- Khadkikar, A. S., Chamyal, L.S. and Ramesh, R. 2000. The Character and Genesis of Calcretes in Late Quarternary Alluvial Deposits, Western India and its Bearing on the Interpretation of Ancient Climates. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 142, 239-262.
- Khan, R.H., W.D. Kemper. and R.C. Rosenau. 2006. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A., (ed.), *methods of Soil Analysis. Part 1 Am. Soc. Agron Monograph 9*, Pp. 425, 442.
- Kızılkaya, T. 1988. Sulama ve Drenaj. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, İkinci Baskı.
- Kızıloğlu, F. M., Kuşlu, Y., Tunç, T. ve Yanık, R. 2007. Erzurum ilindeki bazı su kaynaklarının kalitelerinin bitki, toprak ve sulama sistemi açısından değerlendirilmesi, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(2), 173-179.
- Kohnke, H. 1968. *Soil physics: Tata Mcgraw-Hill Publishing Company Limited; New Delhi*.

- Korkmaz, N., Gündüz, M. ve Aşık, Ş. 2016. Gediz Nehrinin güneyindeki tarım alanlarının taban suyu seviyesi ve kalitesinin zamansal değişimi. *Derim*. 33(2), 263-278.
- Kostiakov, A. N. 1932. The dynamics of the coefficients of water percolation in soils and the necessity for studying it from a dynamic point of view for purpose of amelioration. *Society of Soil Sci*, 14, 17-21.
- Krouma, A. 2009. Physiological and nutritional responses of chickpea (*Cicer arietinum* L) to salinity. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33(5), 503-512.
- Kurkanlı, O. 2006. Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Toprak Agregasyonunun Dönemsel Değişimi Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Isparta.
- Kurunç, A. 2017. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk, Tuzluluğun Bitkilere Etkisi, Akdeniz Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Ders Notları, 2017-2018 EÖY Bahar yılı.
- Kwiatowsky, J. 1998. Salinity Classification, Mapping and Managment in Alberta. <http://www.agric.gov.ab.ca/sustain/soil/salinity/>
- Lai, R. and Stewart, B. A. 1990. Soil degradation. Salt-affected soils, 224-247. Springer-Verlag. New York.
- Laker, M. C. and Nortjé, G. P. 2019. Review of existing knowledge on soil crusting in South Africa. *Advances in agronomy*, 155, 189-242.
- Larcher, W. 1995. Physiological plant ecology. Plants under stress. Springer. Austria. p. ISBN 3540435166.
- Le Bissonnais, Y. and Arrouays, D. 1997. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Eur. J. Soil Sci*, 48, 39-48.
- Levitt, J. 1980. Responsens of Plant to Envi-ronmental Stresses. Vol.II, Water Radiation, Salt and Other Stresses, Academic Press, Inc. 2nd. Edition, 607.
- Levy, G. and Miller, W. 1997. Aggregate stability of some southern US soils. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 1176-1182.
- Levy, G. J. and Mamedov, A. I. 2002. High-energy-moisture-characteristic aggregate stability as a predictor for seal formation. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 66, 1603-1609.
- Levy, G. J., Mamedov, A. I. and Goldstein, D. 2003. Sodidity and water quality effects on slaking of aggregates from semi-arid soils. *Soil Sci*, 168, 552-562.

- Levy, G. J., Lordian, A., Goldstein, D. and Borisover, M. 2014. Soil structural indices' dependence on irrigation water quality and their association with chromophoric components in dissolved organic matter. *Eur. J. Soil Sci*, 65, 197–205.
- Li, C., Fang, B., Yang, C., Shi, D. and Wang, D. 2009. Effects of Various Salt-Alkaline Mixed Stresses on the State of Mineral Elements in Nutrient Solutions and the Growth of Alkali Resistant *Haloptye Chloris Virgata*, *Journal of Plants Nutrion*, 32, 1137-1147.
- Li, X. B., Kang, Y. H., Wan, S. Q., Chen, X. L. and Chu, L. L. 2015. Reclamation of very heavy coastal saline soil using drip-irrigation with saline water on salt-sensitive plants. *Soil. Tillage Res*, 146, 159–173.
- Lin, H. S. K. J., McInnes, L., Wilding, P. and Hallmark. C. T. 1999. Effects of Soil Morphology on Hydraulic Properties: II. Hydraulic Pedotransfer Functions *Soil Science Society of America Journal* 63, 955-961.
- Liu, Q., Reichle, R. H., Bindlish, R., Cosh, M. H., Crow, W. T., de Jeu, R. and Jackson, T. J. 2011. The contributions of precipitation and soil moisture observations to the skill of soil moisture estimates in a land data assimilation system. *Journal of Hydrometeorology*, 12(5), 750-765.
- Liu, M., Yang, J., Li, X., Liu, G., Yu, M. and Wang, J. 2013. Distribution and dynamics of soil water and salt under different drip irrigation regimes in northwest China. *Irrig. Sci*, 31(4), 675–688.
- Liu, X., Feike, T., Chen, S., Shao, L., Sun, H. and Zhang, X. 2016. Effects of saline irrigation on soil salt accumulation and grain yield in the winter wheat-summer maize double cropping system in the low plain of North China. *J Integr Agr*, 15 (12), 2886-2898.
- Louati, D., Majdoub, R., Rigane, H. and Abida, H. 2018. Effects of irrigating with saline water on soil salinization (Eastern Tunisia). *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(7), 3793-3805.
- Maas, E. V. 1986. Salt tolerance of plants. *App. Agr. Res*, 1(1), 12-26.
- Mace, J. E. and Amrhein, C. 2001. Leaching and reclamation of a soil irrigated with moderate SAR waters. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 199204.
- Mahajan, G. R., Manjunath, B. L., Latore, A. M., D'Souza. R., Vishwakarma, S. and Singh, N. P. 2016. Microbial and enzyme activities and carbon stock in unique coastal acid saline soils of Goa. *Proc Natl Acad Sci India. Sect B Biol Sci*, 86, 961–971.
- Mahajan, G., Das, B., Morajkar, S., Desai, A., Murgaokar, D., Kulkarni, R. and Patel, K. 2020. Soil quality assessment of coastal salt-affected acid soils of

- India. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27, 26221–26238.
- Mahanta, K. K., Mishra, G. C. and Kansal, M. L. 2014. Estimation of the electric double layer thickness in the presence of two types of ions in soil water. *Applied clay science*, 87, 212-218.
- Mahdy, A. M. 2011. Soil properties and wheat growth and nutrients as affected by compost amendment under saline water irrigation. *Pedosphere*, 21 (6), 773-781.
- Mahmoodabadi, M., Yazdanpanah, N. and Sinobas, L. R. 2013. Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (I): Redistribution of soluble cations within the soil profile. *Agric. Water Manage*, 120, 30–38.
- Malicki, M. and Walczak, R. 1999. Evaluating soil salinity status from bulk electrical conductivity and permittivity. *European journal of soil science*, 50(3), 505-514.
- Malik, M., Mustafa, M. A. and Letey, J. 1992. Effect of mixed Na/Ca solutions on swelling, dispersion and transient water flow in unsaturated montmorillonitic soils. *Geoderma*, 52, 17-28.
- Mancino, C. F. and Pepper, I. L. 1992. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: Soil quality. *Agron. J*, 84, 650–654.
- Mavi, M. S., Sanderman, J., Chittleborough, D. J., Cox, J. W. and Marschner, P. 2012. Sorption of dissolved organic matter in salt-affected soils: Effect of salinity, sodicity and texture. *Science of the total environment*, 435, 337-344.
- Mayor, Á. G., Bautista, S. and Bellot, J. 2009. Factors and interactions controlling infiltration, runoff, and soil loss at the microscale in a patchy Mediterranean semiarid landscape. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(12), 1702-1711.
- Mazaheri, Mahmoud Reza. and Majid, Mahmoodabadi. 2012. Study on infiltration rate based on primary particle size distribution data in arid and semiarid region soils. *Arabian Journal of Geosciences* 5, 1039-1046.
- Meek, B. D., Rechel, E. R., Carter, L. M., DeTar, W. R. and Urie, A. L. 1992. Infiltration rate of a sandy loam soil: effects of traffic, tillage, and plant roots. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), 908-913.
- Meiri, A. and Plaut, Z. 1985. Crop production and management under saline conditions. *Plant Soil* 89, 253–271.
- Melo, R. M., Barros, M. D. F. C., Santos, P. M. D. and Rolim, M. M. 2008. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. *Rev Bras Eng Agríc Amb*, 12(4), 376-380.

- Miller, J. J. and Pawluk, S. 1993. Genesis of solonetzic soils as a function of topography and seasonal dynamics. *Can. J. Soil Sci*, 207-217.
- Miller, R. W. and Donahue, R. L. 1995. *Soils in our environment*, 7th edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 649.
- Minhas, P. S and Sharma, D. R. 1986. Hydraulic conductivity and clay dispersion as affected by application sequence of saline and simulated rain water. *Irrig Sci*, 7(3); 159–167.
- Minhas, P. S., Naresh, R. K., Chauhan C. P. S. and Gupta, R. K. 1994. Field determined hydraulic properties of a sand loam soil irrigated with various salinity and sar waters. *Agri. Water Management*, 25(2), 97-108.
- Minhas, P. S., Qadir, M. and Yadav, R. K. 2019. Groundwater irrigation induced soil sodification and response options, *Agr. Water Manag*, 215, 74- 85.
- Mitchell, J. P., Shennan, C., Singer, M. J., Peters, D. W., Miller, R. O., Prichard, T., Grattan ,S. R., Rhoades, J. D., May, D. M. and Munk, D. S. 2000. Impacts of gypsum and winter cover crops on soil physical properties and crop productivity when irrigated with saline water. *Agr Water Manage* 45, 55–71.
- Mitchell, J. K. and Soga, K. 2005. *Fundamentals of Soil Behavior*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA.
- Moasheri, S. A. and Foroughifar, H. 2013. Estimation of the values of soil absorption ratio using integrated geostatistical and artificial neural network methods. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 5(20), 2423-2433.
- Mohammad, M. J. and Mazahreh, N. 2003. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Commun. Soil Sci. Plan*, 34(9–10), 1281–1294.
- Mon, R., Irurtia, C., Fernando Botta, G., Pozzolo, O., Bellora Melcón, F., Rivero, D. and Bomben, M. 2007. Effects of supplementary irrigation on chemical and physical soil properties in the rolling pampa region of Argentina. *Ciencia e investigación agraria*, 34(3), 187-194.
- Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M., Aghakhani A. and Feizi, M. 2007. Effects of irrigation water salinity and leaching on soil chemical properties in an arid region. *Int. J. Agric. Biol*, 3, 466–469.
- Moradi, S. 2013. Effects of CEC on Atterberg limits and plastic index in different soil textures. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(9), 2111-2118.
- Moreira Barradas J., Abdelfattah A., Matula S. and Dolezal F. 2015. Effect of fertigation on soil salinization and aggregate stability. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141, 05014010.

- Mualem, Y. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, *Water Resources Research*, 12, 513–522.
- Mulla, D. J. and McBratney, A. B. 2000. Soil spatial variability. p. A321–A352. MK Summer (ed.) *Handbook of soil science*. In *Soil spatial variability*. p. A321–A352. MK Summer (ed.) *Handbook of soil science*: CRC Press, Boca Raton, FL. Soil spatial variability. p. A321–A352. In MK Summer (ed.) *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Munns, R. 2002. Comparative Physiology of Salt and Water Stress. *Plant Cell Environ.* 25 (2), 239–250.
- Munsuz, N., Çaycı, G. ve Ok, S. S. 2001. Toprak Islahı ve Düzenleyiciler Ankara Üniv. Zir. Fak. Yayınları, No: 1518, Yardımcı Ders Kitabı: 47.1.
- Muyen, Z., Moore, G. A. and Wrigley, R. J. 2011. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management*, 99(1), 33-41.
- Ndegwa, G. M. and Kiiru, I. 2011. Investigations on soil and water quality as affected by irrigation in turkana district, Kenya. *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 12(1).
- Nelson, D. W. and Sommers, L. E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In: *Methods of Soil Analysis, Part II, Chemical and Microbiological Properties*. ASA and SSSA. Agronomy Monograph No: 9. Madison, Wisconsin USA, 539–579.
- Nelson, P. N. and Oades, J. M. 1998. Organic matter, sodicity, and soil structure, in: *Sodic soils: Distribution, properties, management, and environmental consequences*, edited by: Sumner, M. E. and Naidu, R. Oxford University Press Inc, New York, 51–75.
- Neris, J., Jiménez, C., Fuentes, J., Morillas, G. and Tejedor, M. 2012. Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). *Catena*, 98, 55-62.
- Nimmo, J. R. and Perkins, K. S. 2002. Aggregate Stability and Size Distribution. In *Methods Soil Analysis. Part 4- Physical Analysis*, Dane J.H., Topp G. (Co-editors) Soil Science Society America, Inc, Madison, Wisconsin, 317-328.
- Odeh, I. O. A. and Onus, A. 2008. Spatial Analysis of Soil Salinity and Soil Structure Satability in a Semiarid Region of New South Wales, Australia, *Environmental Management*, 42, 265-278.
- Oster, J. D. and Schroer, W. 1979. "Infiltration as influenced by irrigation water quality." *Soil Science Society of America Journal*, 43, 444-447.

- Oster, J. D., Shainberg, I. and Abrol, I. P. 1999. Reclamation of salt affected soils. In: Skaggs, R.W. van Schilfgaarde, J. (Eds.), Agricultural Drainage. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, 659–691.
- Ouni, Y., Lakhdar, A., Scelza, R., Scotti, R., Abdelly, C., Barhoumi, Z. and Rao, M. A. 2013. Effects of two composts and two grasses on microbial biomass and biological activity in a saltaffected soil. *Ecological Engineering*, 60, 363-369.
- Ödemiş, B., Karazincir, B. ve Candemir, D. 2018. Taban suyu derinlik ve tuzluluklarının malç uygulamaları altında toprak tuzluluğu değişimlerine etkilerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı*: 368-376.
- Öğütçü, H., Kasimoğlu, C. ve Elkoca, E. 2010. Effects of Rhizobium strains isolated from wild chickpeas on the growth and symbiotic performance of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) under salt stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34 (5), Pp. 361-371.
- Özbek, H. 1990. Toprak Bilgisi Ders Kitabı. ÇÜ. Ziraat Fak. Ofset ve Teksir Atölyesi, Adana.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. ve Kaptan, H. 1999. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitapları Yayınları, 73, A-16, 574-575, Adana.
- Özdemir, S. 1993. Tuzluluk Stresinin Bazı Nohut Çeşitlerinde Çimlenme, Bitki Geliimi ve Simbiyotik Sisteme Etkisi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Özdemir, N. 1998. Toprak Fiziği. Ondokuz Mayıs Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı. No: 30 Samsun.
- Özdemir, Ş., Günal, H., Acir, Nurullah., Arslan, H., Özaydın, K. A. ve Kahyaoğlu, S. E. 2018. Çerikli sulama sahasında toprak tuzluluğunun tahmininde deterministik ve stokastik enterpolasyon yöntemlerinin kullanımı. *Toprak Su Dergisi*, 8(1), 55-67.
- Özdemir, N., Ekberli, İ. ve Kop Durmuş Ö. T. 2018. Bazı toprak özellikleri ile kütle yoğunluğunun tahmini için pedotransfer modeller. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 6(1), 46 – 51.
- Özdemir, N. 2019. Farklı topoğrafik yapı ve arazi kullanım koşullarında hacim ağırlığı ile bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri arasındaki ilişkiler. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7(2), 86-91.
- Özdemir, C. 2019. Diatomitin Dielektrik, Elektrokinetik ve Viskoelastik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Kimya Ana Bilim Dalı, Ankara.

- Özer, Ç. ve Köklü, R. 2019. Aşağı Sakarya nehri su kalitesinin sulama suyu açısından değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2): 237-246.
- Öztekin, T., Cemek, B. ve Brown, L. 2007. Pedotransfer functions for the hydraulic properties of layered soils. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 77-86.
- Öztekin, T. ve Öztekin, S. 2007. Hacim ağırlığı ve drenaj sisteminin infiltrasyona etkileri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 67-75.
- Öztürk, H. S. 2000. Tuzlu topraklarda su akış hızının iyon hareketi üzerine etkisi. Doktora Tezi. Ankara. Üni. Fen. Bil. Ens, Toprak Anabilim Dalı. Ankara.
- Öztürkmen, A. R ve Savaş, Y. 2014. Harran ovasındaki bazı toprak serilerinin sulama sonrası agregat stabilitesinin değişimi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 18 (2), 8-14.
- Özyazıcı, M. A., Sağlam, M., Dengiz, O. ve Erkoçak, A. 2014. Çay tarımı yapılan topraklara yönelik faktör analizi ve jeostatistik uygulamaları: Rize ili örneği. *Toprak Su Dergisi*, 2014,3 (1), (12-23).
- Özyazıcı, M. A., Dengiz, O., Aydoğan, M., Bayraklı, B., Kesim, E., Urla, Ö. ve Ünal, E. 2015. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının bazı makro ve mikro bitki besin maddesi konsantrasyonları ve ters mesafe ağırlık yöntemi (IDW) ile haritalanması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 16, 2,187-202.
- Özyazıcı, M. A., Dengiz, O., Aydoğan, M., Bayraklı, B., Kesim, E., Öztekin, Urla, Ö. ve Ünal, E. 2016. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının temel verimlilik düzeyleri ve alansal dağılımları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(1), 136-148.
- Paltwal, K.V. and Gandhi, A. P. 1976. Effect of salinity, sar, ca/mg ratio in irrigation water and soil texture on the predictability of exchangeable sodium percentage. *Soil Sci. Soc. Am. Proc. J*, 122(2), 85-90.
- Panah S. K. A. and Pouyafar A. M. 2006. "Potentials and constraints of soil salinity studies in two different conditions of Iran using Landsat TM data."
- Parameswaran, T. G. 2017. Factors controlling the dispersivity of soils and the role of zeta potential. (Doctoral dissertation).
- Parameswaran, T. G. and Sivapullaiah, P. V. 2017. Influence of sodium and lithium monovalent cations on dispersivity of clay soil. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(7), 04017042.
- Park, C.S. and O'connor, G.A. 1980. Salinity effects on hydraulic properties of soils. *Soil Sci.* 130 (3), 167-174.

- Patel, B. B. and Dave, R. S. 2011. Studies on infiltration of saline-alkali soils of several parts of Mehsana and Patan districts of North Gujarat. *Journal of Applied Technology in Environmental Sanitation*, 1(1), 87-92.
- Pearson, E. K. 2003. The basic of salinity and sodicity effects on soil physical properties. Adapted by Krista E. Pearson from a paper Warrence, Pearson and Bauder.
- Pessaraki, M. and Szabolcs, I. 1999. Soil salinity and sodicity as particular plant/crop stress factors, in Pessaraki, M (ed). *Handbook of Plant and Crop Stress 2ed*. Marced Lekkerin, C.E.E.U.U, 1-16.
- Pessoa, L. G. M., dos Santos Freire, M. B. G., dos Santos, R. L., Freire, F. J., Miranda, M. F. A. and dos Santos, P. R. 2019. Saline water irrigation in semiarid region: I-effects on soil chemical properties. *Australian Journal of Crop Science*, 13(7), 1169.
- Phogat, V., Mallants, D., Cox, J. W., Šimůnek, J., Oliver, D. P. and Awad, J. 2020. Management of soil chemical changes associated with irrigation of protected crops. *Agric. Water Manage*, 227.
- Pilatti, M. A., Imhoff, S., Ghiberto, P. and Marano, R. P. 2006. Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma*, 133(3-4), 431-443.
- Pondkule, R. G. and Jadhao, S. M. 2020. Impact of irrigation on soil properties in Purna valley of Vidarbha region of Maharashtra. *IJCS*, 8(1), 2110-2114.
- Pons, Y., Capillon, A. and Cheverry, C. 2000. Water movement and stability of profiles in drained, clayey and swelling soils: At saturation, the structural stability determines the profile porosity. *European Journal of Agronomy*, 12, 269-279.
- Pourgholam-Amijia, M., Khoshraveshb, M., Waqasc, M. M. and Mirzaeid, S. M. J. 2020. Study of combined magnetized water and salinity on soil permeability in north of Iran. *Big Data In Agriculture (BDA)*, 2(2), 69-73.
- Prasanna J., Karunamoorthy L., Raman M.V., Prashanth S. and Chordia D. R. 2014, Optimization of process parameters of small hole dry drilling in Ti-6Al-4V using Taguchi and grey relational analysis. *Measurement*, 48, 346-354.
- Prost, R. and Yaron B. 2001. Use of modified clays for controlling soil environmental quality. *Soil Science*, 0038-075C/01/16612-880-895.
- Puntamkar, S. S., Kant, K. and Mathur, S. K. 1988. Effect Of Saline Soil Water Irrigation On Soil Properties. *Transaction Of Indian Society Of Desert Technology*, No:2, 69-72, India.
- Pupisky, H. and Shainberg, I. 1979. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil, *Soil Science Society of America Journal*, 43, 429-433.

- Pus, F. Y. 2006. Oyaca Kasabası Coğrafyası. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı Türkiye Coğrafyası Bilim Dalı.
- Qian, Y. L. and Mecham, B. 2005. Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. *Agron. J*, 97, 717–72.
- Qadir, M., Schubert, S., Ghafoor, A. and Murtaza, G. 2001. Amelioration strategies for sodic soils: a review. *Land Degrad. Dev*, 12, 357–386.
- Qadir, M. and Oster, J. D. 2004. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the Total Environment*, 323(1), 1-19.
- Qadir M., Noble A. D., Schubert S., Thomas R. J. and Arslan A. 2006. Sodictyinduced land degradation and its sustainable management: problems and prospects. *Land Degrad. Dev*.17, 661–676.
- Qadir, M., Oster, J. D., Schubert, S., Noble, A. D. and Sahrawat, K. L. 2007. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Advances in agronomy*, 96, 197-247.
- 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.
- Qian, Y. and Lin, Y. 2019. Comparison of soil chemical properties prior to and five to eleven years after recycled water irrigation. *J. Environ. Qual.*
- Quirk, J. P. 1986. Soil permeability in relation to sodicity and salinity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 316, 297315.
- Ragab, A. A. M., Hellal, F. A. and Abd El-Hady, M. 2008. Water salinity impacts on some soil properties and nutrients uptake by wheat plants in sandy and calcareous soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2(2), 225-233.
- Raghavan, G.S.V., Alvo, P. and Mc Kyes, E. 1990. Soil Compaction in Agriculture: A View Toward Managing Ihc Problem, *Advances in Soil Sci*, 11, 1-36.
- Raghuraman, S., Thirupathi, K., Panneerselvam, T. and Santosh, S. 2013, Optimization of EDM parameters using Taguchi method and Grey relational analysis for Mild steel IS 2026. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(7), 3095-3104.
- Rahimi, H., Pazira, E. and Tajik, F. 2000. Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates. *Soil and Tillage Research*, 54(3-4), 145-153.

- Rana, L., Dhankhar, R. and Chhikara, S. 2010. Soil characteristics affected by long term application of sewage wastewater. *International Journal of Environmental Research*, 4(3), 513-518.
- Ranade, D. H. and Gupta, R.K. 1987. Salt effect on hydraulic conductivity of a vertisol. *Catena* 14, 45–53.
- Ranjbar, F. and Jalali, M. 2016. The combination of geostatistics and geochemical simulation for the site-specific management of soil salinity and sodicity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 301-312.
- Ranjbar, F. and Jalali, M. 2019. Long-term simulation of some soil chemical properties under continuous wheat cultivation irrigated with waters of different qualities. *International journal of environmental science and technology*, 16(7), 3249-3264.
- Rasiah, V., Kay, B. and Martin, T. 1992. Variation of structural stability with water content: Influence of selected soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 56, 1604-1609, 1992.
- Rasouli, F., Pouya, A. K. and Karimian, N. 2013. Wheat yield and physicochemical properties of sodic soil from the semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. *Geoderma*, 193, 246-255.
- Rengasamy, P. and Olsson, K. A. 1993. Irrigation and Sodicty. *Aust. J. Soil Res*, 31, 821-37.
- Rengasamy, P., McLeod, A. J. and Ragusa, S. R. 1996. Effects of dispersible soil clay and algae on seepage prevention from small dams. *Agric Water Manage*, 29(2), 117–127.
- Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57 (5), 1017, 1-13.
- Rengasamy, P. 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613–20.
- Rhoades, J. D. and Ingvalson, R. D. 1969. Macroscopic swelling and hydraulic conductivity properties of four vermiculite soils, *Soil Sci. Soc. Am. J*, 33, 364–369.
- Rhoades., J. D., Kandiah, A. and Mashali, A. M. 1992. The use of saline waters for crop production. *FAO Irrigation and Drainage paper*, United Nations, Rome, 48.
- Rhoades, J. D. and Chanduvi, F. 1999. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 57, pp., 5-15.

- Ribeiro, M. R. 2010. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: Gheyi HR, Dias NS, Lacerda CF (ed) Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, Fortaleza. 11-19.
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USD A Handbook No: 60.
- Ricks Presley, D., Ransom, M. D., Kluitenberg, G. J. and Finnell. P. R. 2004. Effects of thirty years of irrigation on the genesis and the impact of irrigation on soil structure. R.S. Murray and C.D. Grant 30 morphology of two semiarid soils in Kansas. Soil Sci. Soc. Am. J, 68, 1916-1926.
- Rodrigues, M. S., Alves, D. C., Cunha, J. C., Lima, A. M. N., Cavalcante, I. H. L., da Silva, K. A. and de Melo Junior, J. C. F. 2018. Spatial analysis of soil salinity in a mango irrigated area in semi-arid climate region. Australian Journal of Crop Science, 12(8), 1288.
- Romano, N., Hopmans, J. W. and Dane, J. H. 2002. Saturated and Field-Saturated Water Flow Parameters. In Methods of Soil Analysis, Part 4- Physical Analysis, Dane J.H. Topp G. (Co-editors) Soil Science Society America, Inc, Madison, Wisconsin, 692-698.
- Rosolem, C. A., Foloni, J. S. and Tiritan, C. S. 2002. Root growth and nutrition accumulation in cover crops as affected by soil compaction. Soil and Tillage Research 65, 109-115.
- Rowell, C. H. F. and McKay, J. M. 1969. An acridid auditory interneurone, I. Functional connexions and responses to single sounds, J. exp. Biol, 51, 231-47.
- Ruiz-Vera, V. M. and Wu, L. 2006. Influence of sodicity, clay Mineralogy, prewetting rate, and their interaction on aggregate stability. Soil Sci. Soc. Am. J, 70, 1825-1833.
- Rusan, M. J. M., Hinnawi, S. and Rousan, L. 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination, 215, 143-152.
- Sağlam, M. T. 2001. Toprak Kimyası. Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 190, Yardımcı Ders Kitabı, No: 21, Tekirdağ.
- Sağlam, M. 2008. Gökhöyük Tarım İşletmesinde Yaygın Toprak Serilerinde Bazı Kalite Göstergelerinin Uzaysal Değişkenliğinin Jeostatistiksel Yöntemlerle İncelenmesi. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 160.
- Sağlam, M. 2013. Çok değişkenli istatistiksel yöntemler ile toprak özelliklerinin gruplandırılması. Toprak Su Dergisi, 2(1), 7-14.

- Sağlam, M. ve Dengiz, O. 2014. Distribution and evaluation of soil fertility based on Geostatistical approach in Bafra Deltaic Plain. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 1(2), 186-195.
- Santos, M., Freire, M. B. G. S., Almeida, B. G., Lins, C. M. T. and Silva, E. M. 2013. Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fitorremediação com atriplex nummularia e aplicação de gesso. *Rev Bras Eng Agríc Amb*, 17(4), 397-404.
- Sarı, S., Aksakal, E. L. ve Öztaş, T. 2019. Iğdır Üniversitesi Tarımsal Uygulama Ve Araştırma Merkezi Deneme Alanı Toprak Özelliklerinin Yersel Değişim Paternlerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(4), 2346-2363.
- Savaş, Y. 2011. Harran Ovası Topraklarında Agregat Stabilitelerinin Sulama Öncesi ve Sonrasındaki Durumunun Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Toprak Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Saygın, D, S. 2013. Yağmurlama Denemeleri İle Sıçrama ve Yüzey Erozyonu Sedimentlerinde Agregat Büyüklük Dağılımı ve Organik Karbon Değişimlerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 175.
- Schipper, L. A., Williamson, J. C., Kettles, H. A. and Speir, T.W. 1996. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. *J. Environ. Qual*, 25, 1073–1077.
- Schwab, G. O., Fangmeier, D. D., Eliot, W. J. and Frevert, R. K. 1993. *Soil and Water Conservation Engineering*, Wiley and Sons, 507 s, New York, ABD.
- Scudiero, E., Skaggs, T. H. and Corwin, D. L. 2017. Simplifying field-scale assessment of spatiotemporal changes of soil salinity, *Science of the Total Environment*, 587, 273-281.
- Seeboonruang, U. A. 2007. Study on Shallow Soil Properties and Water Qualities in Saline Soil Area in Amphoe Thatpanom and Renu-Nakhon Panom Province, 4th INWEPF Steering Meeting and Symposium.
- Seilsepour, M., Rashidi, M. and Khabbaz, B. G. 2009. Prediction of soil exchangeable sodium percentage based on soil sodium adsorption ratio. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 5(1), 1-4.
- Setia, R., Rengasamy, P. and Marschner, P. 2014. Effect of mono-and divalent cations on sorption of water-extractable organic carbon and microbial activity. *Biology and fertility of soils*, 50(5), 727-734.
- Shainberg, I., Rhoades, J. D. and Prather, R. J. 1981a. Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. *Soil Soc. Sci. Am. J*, 45, 273-277.

- Shainberg I., Rhoades J. D. and Prather, R. J. 1981b. Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils. *Soil Soc. Sci. Am. J.*, 45, 287-291.
- Shainberg, I. and Letey J. 1983. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia*, 52(2), 1–57.
- Shainberg, I. and J. Letey. 1984. "Response of soils to sodic and saline conditions." *Hilgardia*, 61, 21-57.
- Shainberg, M. E., Sumner, W. P., Miller, M. P. W., Farina, M. A. Pavan. and Fey, M. V. 1989. "Use of Gypsum on Soils: A Review," *Adv. Soil Sci.* 9, 1–11.
- Shainberg, I. and Levy, G. J. 1992. Physical–chemical effects of salts upon infiltration and water movement in soils. In: Wagenet, R.J. (Ed.), *Interacting Processes in Soil Science. Advances in soil Sciences*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp, 38–93.
- Shaki, A. A. and Adeloje, A. J. 2006. Evaluation of quantity and quality of irrigation water at Gadowa irrigation project in Murzuq basin, southwest Libya. *Agr. Water Manage*, 84(1), 193–201.
- Shamim, A. H. Md. and Akae, T. 2009. Desalinizasyon of Saline Aimed at Environmentally Sustainable Agriculture: A New Thought *Journal of American Science*, 5(5), 197-198.
- Shaw, P. J. A. 2003. *Multivariate Statistics for the Environmental Sciences*. Hodder Arnold, New York.
- Singer, M. J. and Oster, J. D. 1984. *Water Penetration Problems in California Soils*. Land, Air, and Water Resources Paper No. 10011, Dept. of Land, Air, and Water Resources. Univ. of California, Davis.
- Singer, M. J. and Munns, D. N. 2002. *Soils. An Introduction*, 5th. Edition, Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- Singh. S. and Abrol, I. 1985. Effect of soil sodicity on the growth, yield and chemical composition of groundnut (*Arachis hypogaea* Linn.). *Plant and Soil*, 84 (1), 123.
- Singh, R. B., Minhas, P. S., Chuahan, C. P. S. and Gupta, R. K. 1992. Effect of high salinity and SAR waters on salinisation, sodication and yields of pearl-millet and wheat. *Agric. Water Manage*, 21, 93-105.
- Singh, A. K., Mahato, M.K., Neogi, B. and Singh, K. K. 2010. Quality assessment of mine water in the Raniganj coalfield area, *India Mine Water Environ.* 29, 248-262.

- Singh, K., Singh, B. and Singh, R. R. 2013. Effect of land rehabilitation on physicochemical and microbial properties of a sodic soil. *Catena* 109, 49–57.
- Singh B., Gahlot P. ve Purohit D.G.M. 2018. Dispersive soils-characterization, problems and remedies. *Int. Res. J. Eng. Technol.* 5(6), 2478–2484.
- Six, J., Elliot, E.T. and Paustian, K. 2000. Soil Structure And Soil Organic Matter: A Normalized Stability Index And The Effect Of Mineralogy. *Soil Science Society Of America Journal* 64: 1042-1049.
- Smedema, K. and Rycroft, D. 1984. "Land Drainage". Garnell University Press. Newyork.
- Smith, G. G., J. L. Foley. and Loch, R. J. 1992. Effects of electrical conductivity of water used in wetting and in wet sieving on measured aggregate water stability. *Soil Technol.* 5:177-184, 1992.
- Smith, R. E., Corradini, C. and Melone, F. 1999. A conceptual model for infiltration and redistribution in crusted soils. *Water Resources Research*, 35(5), 1385-1393.
- So, H.B. and Aylmore, L.A.G., 1993. How do sodic soils behave? The effects of sodicity on soil physical behavior. *Aust. J. Soil Res.* 31, 761–777.
- Soba, M. R., Türkmen, F., Taşkın, M. B., Akça, M. O. ve Öztürk, H. S. 2015. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği topraklarının verimlilik durumlarını incelenmesi.. *Toprak Su Dergisi*, 4(1), 7- 17.
- Sönmez, B. ve Beyazgül, M. 2008. Türkiye’de Tuzlu ve Sodyumlu Toprakların Islahı ve Yönetimi, Sulama ve Tuzlanma Konferansı, 12-13 Haziran 2008, Şanlıurfa.
- Sönmez, İ. ve Kaplan, M. 2004. Demre yöresi seralarında toprak ve sulama sularının tuz içeriğinin belirlenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2004, 17(2), 155-160.
- Sönmez, M. 2014. Biyogübre Uygulamalarının Toprakta Agregat Oluşumu ve Stabilitesi Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı*.106s.
- Sposito, G. 2008. *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press.
- Sreenivas, C. and Konda Reddy, C. 2008. Salinity-sodicity relationships of the Kalipatnam drainage pilot area, Godavari Western Delta, India. *Irrigation and Drainage*(published on line).
- Suarez, D. L., Wood, J. D. and Lesch, S. M. 2006. Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agric. Water Manag.* 86, 150–164.

- Suarez, A. D. L. 2010. Season-long changes in infiltration rates associated with irrigation water sodicity and pH. In 19th World Congress of Soil Science.
- Sumner, M. E. 2000. Beneficial use of effluents, wastes, and biosolids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31(11-14), 1701-1715.
- Sun, J., Kang, Y., Wan, S., Hu, W., Jiang, S. and Zhang, T. 2012. Soil salinity management with drip irrigation and its effects on soil hydraulic properties in North China coastal saline soils. *Agricultural Water Management*, 115, 10–19.
- Sun, H., Shao, L, Liu, X., Miao, W., Chen, S. and Zhang, X. 2012b. Determination of water consumption and the water-saving potential of three mulching methods in a jujube orchard. *European Journal of Agronomy*, 43, 87–95.
- Swardji, P. and Eberbach, P. L. 1998. Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf Red Kveosol) after 16 years of direct drilling or conventional cultivation. *Soil ve Tillage Research* 49, 65-77.
- Süenal, S. 2018. Yarı-Kurak Orta Anadolu Koşullarında Tepe-Eğim Hidropedolojisi. Doktora Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.
- Szabolcs, I. 1991. Desertification and salinisation. I. A. V. Hassan II-ISESCO. *Plant Salinity Research*, 3-18.
- Şahin, S. 2009. Su arıtma teknolojisindeki kolloidlerin kararlılık esasları. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 135-154.
- Taboada, M. A. 2003. Soil Structural Behaviour of Flooded Soils. Departamento de Ingenieria Agricola y Uso de la Tierra, Facultad de Agronomia UBA, Buenos Aires, Argentina. Lecture given at the College on Soil Physic. LNS0418039.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2008. *Plant Physiology*, 3th Edition, Sinauer Associates, Massachusetts.
- Tan, H. K. 1993. Soil Reaction, In *Principles of Soil Chemistry*, 2nd edn. Marcel Dekker: New York; 255-278.
- Tang, H. 2015. A novel fuzzy soft set approach in decision making based on grey relational analysis and Dempster-Shafer theory of evidence. *Applied Soft Computing*, 31, 317-325.
- Tanju, O. 1996. Toprak Genesisi ve Sınıflandırılması. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1472 Ders Kitabı.
- Tarchouna, L. G., Merdy, P., Raynaud, M., Pfeifer, H. R. and Lucas, Y. 2010. Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physico-chemical properties. *Applied Geochemistry*, 25(11), 1703-1710.

- Taş, İ. ve Gökalp, Z. 2018. İnfiltrasyon hızı üzerine tuzlu sulama sularının etkisi. Uluslararası Su ve Çevre Kongresi. Bursa, Turkey, pp.2350, 2018.
- Taşan, S. 2018. Bafra ovası sağ sahil topraklarının sulama açısından bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimin modeller ile tahmini. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 346.
- Taşan, S. ve Demir, Y. 2019. Toprakların tuzluluk ve sodikliliğinin alansal ve zamansal değişiminin jeostatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi: Bafra ovası örneği. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 34(3), 336-350.
- Taşdelen, K. 2020. Terme Ovasında çeltik yetiştirilen alanların tuzluluk ve sodyumluluk durumlarının belirlenmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 35(2), 175-184.
- Taşkın, M. B., Türkmen, F., Akça, M. O., Soba, M. R. ve Öztürk, H. S. 2018. Ankara Üniversitesi Ayaş Araştırma ve Uygulama Çiftliği topraklarının verimlilik durumlarının incelenmesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 6(2), 122-133.
- Tate, R. L. 1995. Soil Microbiology. John Wiley & Sons, New York.
- Tavakkoli, E., Rengasamy, P. and McDonald, G. K. 2010. High concentrations of Na⁺ and Cl⁻ ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. J Exp Bot, 61 (15), 4449-4459.
- Tedeschi, A. and Dell'Aquila, R. 2005. Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. Agric. Water. Manage. 77(1-3), 308-322.
- Tejada, M. ve Gonzalez, J. L. 2005. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield. Eur J Agron, 23, 336-347.
- Tekin, S. 2011. Tuzlu Sulama Sularının Buğdayda Verim ve Kaliteye Etkisi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı.
- Tekin, S. 2018. Çizgi kaynaklı yağmurlama sistemiyle uygulanan tuzlu su düzeylerinin toprakta bazı fiziksel özelliklere ve tuz dağılımına etkisi. Alatarım 2018, 17 (1), 52 – 62.
- Temel, S. ve Şimşek, U. 2011. Iğdır ovası toprakların çoraklaşma süreci ve çözüm önerileri, Alınteri Zirai Bilimler Dergisi, Cilt:21, Sayı: 2, 53-59.
- Temizel, K., Kara, T. ve Apan, M. 2011.. Bafra Ovası arazi koşullarında uzun tava boyutlarının belirlenmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 26(2), 145-148.
- Temizel, K. E. 2012. Tava sSulama yönteminin planlanması ve çiftçiye adaptasyonu sağlayabilecek grafiksel bir yaklaşım. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(1), 26-32.

- Temizel, K. E. ve Tok, S. 2019a. Farklı sodyum adsorbsiyon oranı değerlerine sahip sulama sularının bazı toprak özelliklerine etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3), 1729-1736.
- Temizel, K. E. ve Tok, S. 2019b. Farklı sodyum değerlerine sahip sulama sularının kırmızı lahana (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) bitkisinde bazı toprak ve bitki özelliklerine etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(1), 84-90.
- Terry, R. 1997. *Soil Salinity*, Brigham Young University, Collage of Biology and Agricu
Tunc, T., Sahin, U. 2015. The changes in the pHyysical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. *Agr. Water Manage.* 158, 213–224lture Publishing, No: 282.
- Thanigaivelan R. and Arunachalam R. 2013, Optimization of process parameters on machining rate and overcut in electrochemical micromachining using grey relational analysis. *Journal of scientific and industrial research*, 72, 36-42.
- Thompson, K. 1991. Irrigation water quality effects on soil salinity and crop production in the Powder River Basin, MT. M.S. thesis, Montana State University, Bozeman. 151 pp.
- Tisdall, J. M. 1996. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. *Structure and organic matter storage in agricultural soils*, 57-96.
- Treshow, M. 1975. *Environment and Plant Response*. McGraw-Hill Book Comp., USA. pp. 442.
- Topaloğlu, K. 2010. Tuz Stresinin Chili Biberlerinin Pigment ve Kapsaisinoid Değişimi ile Peroksidaz Aktivitesi Arasındaki İlişki. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Topçu, E. 2016. Çanakkale – Biga Ovası Yeraltı Su Kalitesinin Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 59s.
- Torres Duggan, M., Álvarez, C. R., Taboada, M. A., Celesti T., Vignarolli, F. and DıAmbrosio, D. 2012. Riego complementario en un argiudol típico de la pampa ondulada argentina bajo siembra directa: efectos sobre algunas propiedades químicas y físicas del suelo. *Ci. Suelo (argentina)* 30, 201–207.
- Tripathi, S., Chakraborty, A., Chakrabarti, K. and Bandyopadhyay, B. K. 2007. Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India. *Soil Biol Biochem*, 39, 2840–2848.
- Trout, T. J., Sojka, R. E. and Okafor, L. I. 1992. *Soil Management*, in: *Management of Farm Irrigation Systems.*, Edited by Hoffman et al., ASAE Monograph Number 9, 1040 s., Michigan, ABD.

- Tuncay, H. 1994. Su Kalitesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, No: 512, 243s.
- Tunç, T. ve Şahin, U. 2015. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. *Agr. Water Manage*, 158, 213–224.
- Turhan, O. Y. ve Kızıloğlu, F. T. 1999. Toprak Tuzluluğunun Değişik Rhizobium Phaseoli İzolatları ile Aşıl原因an Fasulye (*Phaseolus vulgaris*) Çeşit ve Gelişimine Etkisi. GAP I. Tarım Kongresi 26-28 Mayıs, Şanlıurfa, s: 937-945.
- Turhan, A., Özmen, N. ve Kuşçu, H. 2018. Havucun verim ve bazı kalite özellikleri üzerine sulama suyu tuzluluğu ve kalsiyumun interaktif etkileri. *Toprak Su Dergisi*, 2018, 7 (1), (31-39).
- Turhan, A. 2020. Fasulyede (*Phaseolus Vulgaris* L.) farklı tuz dozlarının çimlenme, tane verimi ve verim özellikleri üzerine etkileri. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 3(2), 1-6.
- Tüzüner, A. 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı, T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, s: 61-73, Ankara.
- Uhdén, O. 1964. *Taschenbuch landwirtschaftlicher Wasserbau*. Stuttgart.
- Umesh, T.S., Dinesh, S.V. and Sivapullaiyah, P.V. 2011. “Characterization of dispersive soils.” *Materials sciences and application*, 2(6), 629-633.
- Urbano, V. R., Mendonc, T. G. and Bastos, R. G. 2017. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, 181,108-115.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. *Agricultural Handbook* No:60.
- USDA (United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service). 2003. *Soil Taxonomy. Soil Survey Staff, 9th. Edition Pocahontas Press, Inc, Blacksburg, Virginia.*
- Ülgen, N. ve Yurtsever, N. 1974. Türkiye Gübreler ve Gübreleme Rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Teknik Yayınlar, (28).
- Üras, D. S. ve Sönmez, S. 2012. Tuzlu sulama suyunun farklı tekstürdeki toprakların verimlilikleri üzerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(1), 59-65.
- Ünlükaptan, Y. 2008. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerin Peyzaj Ekolojisi Araştırmalarında Kullanımı. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Ünver, E. 2015. Problemlü kil zeminlerin uçucu kül ile iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Geoteknik Bilim Dalı, 1-20.
- Üzen, N. 2007. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Koşullarında Yetiştirilen Kimi Pamuk Çeşitlerinin Farklı Seviyelerdeki Tuz Stresine Gösterdikleri Tepkilerin İncelenmesi . Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü, Adana.
- Van Olphen, H. 1963. Clay mineralogy. An Intro to Clay Colloid Chemistry, 27, 69-71.
- Van Beek, C. G. E. M. and Van Breemen, N. 1973. The alkalinity of alkali soils. Journal of soil science, 24(1), 129-136.
- van Breukelen, B.M., Appelo, C.A.J. and Olsthoorn, T.N. 2009. Hydrogeochemical transport modeling of 24 years of Rhine water infiltration in the dunes of the Amsterdam Water Supply. J Hydrol 209:281–296.
- Van Hoorn, J. W. 1980. The calibration of four-electrode soil conductivity measurements for determining soil salinity. In Intern. Symp. Salt-affected Soils, Karnal, India, 1980, paper 3.4.
- Van Schaik, N. L. M. B. 2009. Spatial variability of infiltration patterns related to site characteristics in a semi-arid watershed. Catena, 78(1), 36-47.
- Varol, F., Bellitürk, K. ve Sağlam, M. T. 2005. Tekirdağ İli sulama sularının özellikleri. Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fakültesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 11 (4), 391-396.
- Vilenski, D. G. 1957. Soil science, Translated by Birran and cole in Jarusalem.,U. Dept. Of. Commerce, Washington Dc. 25.
- Xu, C.Y., Li, H., Hu, F. N., Li, S., Liu, X. M. and Li, Y. 2015. Non-classic polarization of cation increases the stability of clay aggregates: specific ion effects on the stability of aggregates. European Journal of Soil Science, 66, 615–623.
- Xu, X., Huang, G. , Sun, C., Pereira, L. S., Ramos, T. B., Huang, Q. and Hao, Y. 2013. Assessing the effects of water table depth on water use, soil salinity and wheat yield: Searching for a target depth for irrigated areas in the upper yellow river basin. Agricultural Water Management 125.
- Xu, P., Zhang, Q., Qian, H. and Qu, W. 2020. Effect of sodium chloride concentration on saturated permeability of remolded loess. Minerals, 10(2), 199.
- Wang, Q. J., Xu, Y. M., Wang, J. D., Wang, Y. P. and Jiang, Q. H. 2002. Application of saline and slight saline water for farm land irrigation. Irrig Drain 21(4), 73–77 (in Chinese with English abstract).

- Wang, Y. H. and Siu, W. K. 2006. Structure characteristics and mechanical properties of kaolinite soils. I. Surface charges and structural characterizations. *Canadian Geotechnical Journal*, 43(6), 587-600.
- Wang, R. S., Kang, Y. H., Wan, S. Q., Hu, W., Liu, S. P. and Liu, S. H. 2011. Salt distribution and the growth of cotton under different drip irrigation regimes in a saline area. *Agric*
- Wang, T., Zhang, A. J., Liu, H. T. and An, P. 2013. Permeability Properties of Reshaped Loess in Osmotic Solution of Different Acidities. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 02.
- Wang, X., Yang, J., Liu, J., Yao, R. and Yu, S. 2015. Impact of irrigation volume and water salinity on winter wheat productivity and soil salinity distribution. *Agricultural Water Management* 149,44–54. *Water Manag*, 100, 58–69.
- Warrence, N. J., Bauder, J. W. and Pearson, E. K. 2002. Basic of salinity and sodicity effects on soil physical properties.
- Weil, R. R. and Brady, N. C. 2016. *The Nature and Properties of soils*, 15th edn. Pearson, Boston.
- Weiler, M. and Naef, F. 2003. Simulating surface and subsurface initiation of macropore flow. *Journal of Hydrology*, 273(1-4), 139-154.
- Wen, B. P. and He, L. 2012. Influence of lixiviation by irrigation water on residual shear strength of weathered red mudstone in Northwest China: Implication for its role in landslides' reactivation. *Eng. Geol*, 151, 56–63.
- Western Fertilizer Handbook, 1995. Produced by the soil improvement committee of the California Fertilizer Association. Interstate Publishers, Inc. Sacramento, California.
- Wichelns, D. and Qadir, M. 2015. Achieving sustainable irrigation requires effective management of salts, soil salinity, and shallow groundwater. *Agricultural Water Management*, 157, 31- 38.
- Wilding, L. P., Bouma, J. and Goss, D. W. 1994. Impact of spatial variability on interpretive modeling. *Quantitative modeling of soil forming processes*, 39, 61-75.
- Wu, Z. D. and Wang, Q. J. 2010. Effect on both soil infiltration characteristics and ion mobility features by mineralization degree of infiltration water. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery* 41, 64-69.
- Yakupoğlu, T. ve Özdemir, N. 2007. Tuzluluk ve alkaliliğin toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine etkileri, *J. of Fac. of Agric, OMU*, 22(1), 132-138.
- Yeter, T. ve Yurtseven, E. 2015. Sulama suyu tuzluluğu ve yıkama gereksinimi oranlarının yoncada çimlenme ve gelişmeye etkisi. *Toprak Su Dergisi*, 4(1), 36-42.

- Yıldız, N. 2008. Bitki Beslemenin Esasları ve Bitkilerde Beslenme Bozukluğu Belirtileri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 304s, Erzurum.
- Yılmaz, E. 2002. Değişik Kökenli Organik Materyallerin Toprakta Agregat Oluşumu ve Stabilitesi Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z. ve Öktüren, F. 2005a. Toprakta agregat oluşumu ve stabilitesi. Selçuk Journal Of Agriculture And Food Sciences, 19(36), 78-86.
- Yılmaz, E. ve Alagöz, Z. 2005b. Organik materyal uygulamasının toprağın agregat oluşum ve stabilitesi üzerine etkileri. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(1), 131-138.
- Yılmaz, D. 2005. Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulama Suyu Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Çevre Müh. Ana Bilim Dalı, Bursa.
- Yılmaz, G., Yetimoğlu, T. ve Arasan, S. 2008. Hydraulic conductivity of compacted clay liners permeated with inorganic salt solutions. Waste Manag. Res, 26, 464-473.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z. ve Öktüren, F. 2008. Farklı organik materyal uygulamalarının toprak agregatları üzerine etkisi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(2), 213-222.
- Yuan, J. F., Feng, G., Ma, H.Y. and Tian, C.Y. 2010. Effect of nitrate on root development and nitrogen uptake of Suaeda physophora under NaCl salinity, Pedosphere 20(4), 536-544.
- Yuan, C., Feng, S., Wang, J., Huo, Z. and Ji, Q. 2018. Effects of irrigation water salinity on soil salt content distribution, soil physical properties and water use efficiency of maize for seed production in arid Northwest China. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11(3), 137-145.
- Yurtseven E. ve Güngör, Y. 1990. Değişik tuzluluk düzeylerindeki sulama sularının toprak tuzlulaşmasına etkisi. Doğa Tr. J. Of Agriculture and Forestry 14, 555-561.
- Yurtseven, E. ve Sönmez, B. 1996. Sulama suyu tuzluluğunun domates verimine ve toprak tuzluluğuna etkisi. DOĞA Tr.J. Of Agricultural And Forestry, 20(1), 27-33.
- Yurtseven, E. 2004. Sulanan alanlarda tuzluluk yönetimi kavramı ve prensipleri. Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu. 20-21 Mayıs, Ankara. T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Gen. Müd. Bildiri Kitabı, 17-48.
- Yurtseven, E., Öztürk, H. S., Avcı, S., Altınok, S. ve Selenay, M. F. 2012. Farklı Sulama suyu kalitesi ve yıkama oranı uygulamalarında profil tuzluluğunun değişimi. Toprak Su Dergisi, 1(1).

- Yurtseven, E. 2016. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Açık Ders Malzemeleri. (Erişim Tarihi: 12/07/2020)
- Yuvaraj, M., Bose, K. S. C., Elavarasi, P. and Tawfik, E. 2021. Soil Salinity and Its Management. In Soil Moisture Importance. IntechOpen.
- Zaman, M., Shahid, S. A. and Heng, L. 2018. Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques (p. 164). Springer Nature, pp, 113-131.
- Zewdu, S., Suryabhagavan, K. V. and Balakrishnan, M. 2015. Geo-spatial approach for soil salinity mapping in Sego Irrigation Farm, South Ethiopia. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.
- Zhang, X. C. and Norton, L. D. 2002. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. Journal of Hydrology, 260(1-4), 194-205.
- Zhang, F., Wang, G., Kamai, T., Chen, W., Zhang, D. and Yang, J. 2013. Undrained shear behavior of loess saturated with different concentrations of sodium chloride solution. Eng. Geol, 155, 69–79.
- Zhang, T., Zhan, X., He, J., Feng, H. and Kang, Y. 2018. Salt characteristics and soluble cations redistribution in an impermeable calcareous saline-sodic soil reclaimed with an improved drip irrigation. Agricultural water management, 197, 91-99.
- Zhang, A., Li, K., Sun, J., Dang, H., Sun, C., Rahma, A. E. and Feng, D. 2020. Effects of a 10-year irrigation with saline water on soil physico-chemical properties and cotton production. Journal of Soil and Water Conservation, 75(5), 629-639.
- Zhou, X., Lin, H. S. and White, E. A. 2008. Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land uses and their temporal changes. Catena, 73 (2), 180–188.
- Zhou, Q. H. and Yu, H. L. 2016. Influence of Soil Surface Sodium Ion and Soil pH on Dispersion of Cohesive Soil. Chemical Engineering Transactions, 55, 427-432.
- Zobae, S. S. A. L. and Sheikhly, A. H. A. L. 2011. Effect of water irrigation quality and mulching on some soil physical properties under drip irrigation system. Iraqi Journal Of Agricultural Sciences, 42, 33-41.