

Sodyumlu Sulama Sularının Toprak Tuzluluk Değişimine Etkisi

Ayşe ERTAŞ PEKER¹

Hasan Sabri ÖZTÜRK^{2*}

¹Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Samsun
²Ankara Üniversitesi, Ziraat Fak, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail): hozturk@agri.ankara.edu.tr

Geliş tarihi (Received) : 03.04.2020

Kabul tarihi (Accepted): 08.08.2020

DOI: 10.21657/topraksu.713951

Öz

Sodyum içeren sulama sularının kullanımı, toprakların sodyum içeriklerinin artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, Na⁺ içeren sulama sularının kullanımı sonucunda, topraktaki pH ve EC değerlerinin izlenmesi amaçlanmıştır. Deneme tarla koşullarında, üç tekerrürlü ve beş uygulama olacak şekilde yürütülmüştür. EC değerleri <3 dS m⁻¹ 'den düşük olan 20 ve 40 SAR değerlerindeki sular NaCl ve NaHCO₃ tuzlarından yapay olarak hazırlanmış ve damla sulama yöntemi ile uygulanmıştır. Deneme süresince on beş sulama yapılmış ve her beş yıkama sonrası alınan toprak örneklerinde belirtilen toprak tuzluluk parametrelerinin değişimi izlenmiştir. NaCl uygulamalarının her iki dozunda da toprak pH_e'sinin 2. dönem sonuna kadar önemli düzeyde artmadığı, hatta 2. dönem süresince sadece SAR 20 uygulamasında önemli düzeyde azaldığı ve sulama öncesi döneme benzer sonuçların olduğu, sadece kış yağışlarından sonra 3. dönemden itibaren pH_e'nin artmaya başladığı belirlenmiştir. SAR 40 sulama suyu uygulamasında, NaHCO₃ tuzu toprak pH'sını 4. periyodun sonunda 8.28'e yükseltirken, NaCl tuzu toprak pH'ını 7.65'e yükseltmiştir. Toprak yüzeyinde ve alt katmanlarda EC_e değerlerinin özellikle NaCl'ü suyun kullanılmasıyla, her iki tuz çeşidinde de SAR daki artışa paralel olarak arttığı belirlenmiştir. Ayrıca 2. ve 3. dönem arasında kış yağışlarının etkisiyle tuzların üst toprak katmanından alt katmanlara taşındığı tespit edilmiştir. Başlangıç dönemindeki ortalama toprak EC_e değeri 0.60 dS m⁻¹, NaCl uygulamasının SAR 40 dozunda 4.dönem sonunda 0-10 cm toprak derinliğinde 5.53 dS m⁻¹ e ulaşmıştır. Sonuç olarak pH_e'nin değişik SAR değerlerine sahip sulama sularının deneme süresince yapılan on beş sulama sonrasında toprakların tamponlama özelliğinden dolayı belirgin olarak değişmediği, sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak EC_e'nin değişiminde sulama dönemleri arasında istatistiksel olarak farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sodyum, SAR, pH, EC, sulama, toprak tamponluğu

Effect of Sodic Irrigation Water on Soil Salinity Changes

Abstract

The use of sodium-containing irrigation water causes to increase the sodium content of soils. In this study, it was aimed to monitor soil pH and EC values as a result of the application of irrigation waters containing Na⁺. Field trial was conducted with three replicates and five treatments. Artificial irrigation waters of 20 and 40 SAR with ECs are less than 3 dS m⁻¹ were prepared from NaCl and NaHCO₃ salts separately and applied to the parcels by drip irrigation. A total of fifteen irrigation applications were performed, and soil salinity parameters were monitored from the samples taken in every five watering.

* Bu çalışma Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından kabul edilen Ayşe ERTAŞ PEKER'e ait "Tuzlu sulama sularının kullanımına bağlı olarak toprak fiziksel ve hidrolojik özelliklerindeki değişimin izlenmesi" isimli Doktora Tez çalışmasının bir bölümünden üretilmiştir.

Hasan Sabri Öztürk: <https://orcid.org/0000-0002-0106-6939>

Ayşe Ertaş Peker'in: <https://orcid.org/000-0003-1385-2125>

It was determined that the soil pH_e did not increase significantly in both doses of NaCl applications until the end of the 2nd period, even decreased significantly in only SAR 20 applications during 2nd period and had similar results to the pre-irrigation period, and the pH_e started to increase only after the third period after the winter rains. Similarly, the soil pH_e of $NaHCO_3$ applications did not change until the end of 2nd period, and by 3rd periods, there were increases for both doses, especially for SAR 40. While the pH of soil with $NaHCO_3$ salt reached to 8.28 after the 4th period, NaCl salt increased the soil pH to 7.65 in SAR 40 irrigation water treatment. The EC_e values both on the soil surface and subsurface increased in harmony with the increase in SAR for both salt types, especially with the use of water with NaCl. In addition, the salts were transported from the upper soil layer to the lower layers by winter rains between the 2nd and 3rd periods. The use of irrigation water containing $NaHCO_3$ salt had no significant effect on soil EC values. The average the initial soil EC_e of 0.60 dS m^{-1} reached to 5.53 dS m^{-1} in the SAR 40 of NaCl application at 0-10 cm soil depth at the end of the 4th period. As a result, the soil pH_e has not changed significantly due to the buffering capacity of the soils, with the use of irrigation waters with different SAR values for a medium period of time. EC_e values on the soil surface increased especially in NaCl applications due to the increase of SAR values of the waters, except for the 3rd periods.

Keywords: Sodium, SAR, pH, EC, irrigation, soil buffering capacity,

GİRİŞ

Toprak ve su kaynaklarının etkin kullanımı ve sürdürülebilir yönetiminin önemi gittikçe artmaktadır. Tarımda kullanılabilir özellikteki suya erişimin mümkün olmadığı durumlarda, var olan düşük kalitedeki su kaynaklarının sulamada kullanılabilir hale getirmenin yolları aranmaktadır. Bu bağlamda sulama suyunda başta Na^+ içeren tuzlar olmak üzere tuzların, toprağa ve bitkilere olan etkilerinin tuzların farklı konsantrasyonları ve cinsleri yönünden ele alınması gerekliliğini ortaya çıkmıştır.

Sulama, bitkininin ihtiyaç duyduğu ve yağışlarla karşılanamayan suyun toprakta bitkinin kök bölgesine gerektiği miktar ve zamanda verilmesidir. Sulama suyu kalitesini belirleyen parametreler genel olarak; çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonu, sodyum iyonunun diğer katyonlara nisbi oranı, bor gibi bazı zararlı olabilecek özel elementlerin konsantrasyonları, bazı koşullarda kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonu ile ilgili olarak bikarbonat konsantrasyonlarıdır.

Sulama suyunun arzu edilmeyen özellikleri bitki gelişmesini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Sulama suyunun bitki gelişmesine doğrudan etkileri ya bitki öz suyundan yüksek ozmotik koşulların yaratılması ya da suda bitkilere zararlı bileşiklerin bulunması nedeniyle ortaya çıkmaktadır (Kurunç, 2017). Dolaylı olarak etkisi ise sulama suyunun kalitesinin toprağa etki yapması şeklinde olmaktadır.

İnorganik ve organik kompleks bileşiklerden oluşan toprak, sulama suyunda bulunan bileşiklerle

hem fiziksel hem de kimyasal olarak reaksiyona girer. Suyun kalitesini ortaya çıkaran bu bileşiklerle toprak kompleksleri arasında meydana gelen reaksiyonlar sonucu bazı toprak özellikleri etkilenmektedir. Örneğin sulama suyunda Ca^{+2} iyonlarının bulunması, toprağın fiziksel özelliklerinden hava ve su geçirgenliğinin düzenlenmesine neden olduğu halde Na^+ iyonlarının bulunması tamamen aksi durumun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Toprakların fiziksel özellikleri genellikle toprakların kimyasal bileşimleri ile yakından ilgili bulunmaktadır. Toprağın infiltrasyon hızı, hava ve su geçirgenliği, toprak strüktürü, gözenek miktarı ve gevşekliği gibi toprağın bazı fiziksel özelliklerinin toprağın kimyasal bileşimine bağlı olarak değiştiği yapılan bazı araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Sulama suyu kimyasal bileşimi üzerinde etkili olduğundan su kalitesi ile toprak arasında yakın ilişki bulunmaktadır.

Sulamada kullanılan sular, içerdikleri tuzların cins ve miktarına bağlı olarak çok değişik özellikte olabilirler. Tuzlar kayaların ve toprak zerreciklerinin ayrışma ve parçalanma olayları ile oluşurlar Bunlar içerisinde kireç, jips ve diğer yavaş ayrışabilen toprak mineralleri vardır. Ayrışan tuzlar, sularla arazilere taşınarak bitki kök bölgesinde birikirler. Biriken tuzlar eğer kök bölgesinden yağış veya yıkamalar ile uzaklaştırılmaz ise zamanla toprakta tuzluluk sorunu oluşması muhtemeldir (Sönmez ve Beyazgül, 2008).

Sulama suyunda Na^+ bulunması durumunda, bu elementin toprak kolloidleri tarafından adsorbe

edilmesi ve sonuçta da agregatların parçalanması gerçekleşmektedir. (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; Amezket, 1999). Özdemir (1998), Na⁺ ile doymuş olan toprakların Ca⁺² ile doymuş topraklardan daha fazla hidrate ve dispers olduğunu ve toprak agregatlarını parçalayarak toprak strüktürünü bozduğunu Ca⁺²'un ise toprak tanelerini kümeleştirici etkisinden dolayı agregat oluşumunu teşvik edici olduğunu belirtmiştir. Sulama suları ile verilen Na⁺'un toprakta birikmesi ile pH, doymuş hidrolitik iletkenlik, değişebilir Na⁺, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), saturasyon ekstraktı elektriksel iletkenlik (EC_e), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ve yarayıslı toprak suyu içeriği (AWC) gibi toprakların birçok fiziko-kimyasal özellikleri değişmektedir (Al-Busaidi ve Cookson, 2003). Düşük kaliteli sulama sularının toprağa uygulanması, toprakta mevcut olan katyon ve anyonlar arasındaki dengenin bozulmasına, zararlı bileşiklerin birikimine, tuz miktarlarında artışlara ve toprak pH'sında düşüslere veya artışlara neden olmaktadır (Çakır vd. 1997).

Makoi ve Verplancke (2010), çalışmalarında sodyumlu toprakların fazla miktarda çözünebilir tuz içermelerinden (özellikle Na₂SO₄ ve NaCl) dolayı dünyada çok ciddi çevresel sorunlara neden olduğunu belirtmişlerdir. Sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak toprak pH sınırın artmasına (Mancino ve Pepper, 1992; Schipper vd. 1996; Hassanli vd.2008; Tarchouna vd. 2010) olduğu gibi toprak pH sınırın azalmasına ait (Wang vd. 2011; Sun vd. 2012; Li vd. 2015; Li vd. 2019) çalışmalarda bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Na⁺ içeren iki farklı tuz çeşidi (NaCl ve NaHCO₃) ile hazırlanan sulama sularının deneme süresince yapılan on beş sulama ile uygulanmasının, toprakta pH ve EC gibi bazı toprak özelliklerine olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma 2017-2018 yılları arasında Ankara Üniversitesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve 5 uygulama konulu olarak kurulan deneme alanında yürütülmüştür. Denemede parseller 3x4m boyutlarında hazırlanıp, bloklar arası ve parseller arası 2 m boşluk bırakılmıştır. EC değeri <3 dS m⁻¹'den daha düşük olacak şekilde

ve SAR değeri 0 (kontrol) , 20 ve 40 olan iki farklı doz ve iki farklı tuz çeşidi (NaCl ve NaHCO₃) ile hazırlanan sulama suları kullanılmıştır. Denemede sulama suyu kaynağı olarak İkizce Gölet'inden çiftliğe iletilen su kullanılmıştır. Sulama suyunun hazırlanmasında kullanılacak tahmini iyon konsantrasyonları Extract Chem Software programı ile hesaplanmıştır. Hazırlanan tuzlu sular, damla sulama yöntemi ile deneme desenine göre tarla kapasitesi değerinin %25 fazlası olacak şekilde parsellere verilmiş, solma noktasına kadar beklenip aynı tuzlu su ile sulamalara devam edilmiştir. Çalışmanın ilk yılında her dönemde 5 er sulama olacak şekilde 10 sulama yapılmıştır (1. ve 2.dönem). Sulamaları takip eden kış mevsimi boyunca parsellerde tuzlu su uygulaması yapılmamıştır (3.dönem). Kış sonrasında 5 sulama daha yapılmıştır (4.dönem). Dört dönemde 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinlikten toplam 90 adet bozulmuş toprak örneği alınmıştır. Sulama uygulamaları ile toprak örneklerinin alındığı yapıldığı zamanlar Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışma başlangıcında deneme alanının dışından alınan üç farklı derinlikten (0-10, 10-20 ve 20-30 cm) ve tuzlu su uygulaması yapılan tüm parsellerden alınan toprak örneklerinden Bouyoucous (1951)'in geliştirmiş olduğu hidrometre metodu ile mekanik analizleri yapılarak kum, silt ve kil yüzdeleri bulunmuştur. Toprak örneklerinin bünye sınıfları ise bünye üçgeninden yararlanılarak belirlenmiştir (Akalan, 1977). Toprak reaksiyonu (pH_e) ve elektriksel iletkenlik (EC_e) saturasyon ekstraktında (Richards, 1954), kireç (CaCO₃) Scheibler kalsimetresiyle volümetrik (Richards, 1954), organik madde modifiye edilmiş Walkley-Black yaş yakma (Nelson ve Sommers, 1982), katyon değişim kapasitesi sodyum asetat çözeltisi

Çizelge 1. Sulama ve toprak örneklerinin alınma zamanları
Table 1. Application times of irrigation and taking soil samples

| Dönem | Sulama zamanı | Toprak örneklerinin alınma zamanı |
|----------------------------|---|-----------------------------------|
| 1 (Beş sulama sonrası) | 17.05.2017-05.07.2017 | 26.07.2017-28.07.2017 |
| 2 (On sulama sonrası) | 29.07.2017-03.10.2017 | 19.10.2017-22.10.2017 |
| 3 (Kış sonrası) | 15.05.2018-17.05.2018- Kış sonrası toprak örnekleme | |
| 4 (Kış sonrası beş sulama) | 18.05.2018-26.08.2018 | 18.09.2018-20.09.2018 |

(pH 8.2) ile muamele edilerek flamefotometrede (Bower vd. 1952) belirlenmiştir.

Farklı tuz konsantrasyonlarında hazırlanan sulama sularının farklı dönemlerde uygulanması sonucunda, sulama suyu dozu, tuz çeşidi ve toprak derinliği değişkenlerinin toprak özelliklerindeki değişimi ortaya koymak için, çoklu değişkenlik istatistik yöntemlerinden MANOVA (Multiple ANOVA), sulama dönemleri arasında farklılıklar one-way ANOVA ile belirlenmiş, ardından farklılıkların önemli olduğu durumlar için post-hock sınıflama testlerinden TUKEY testleri SPSS 20.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanı topraklarının bazı özelliklerine ilişkin sonuçlar Çizelge 2' de verilmiştir. Toprakların 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinliklerinde kil içeriği %57.88-59.26 arasında değişmektedir ve killi tın bünyeye sahiptir. pH_e 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinliklerinde 7.55 ile 7.61 arasında değişim göstermektedir. Ortalama pH_e değeri 7.57 olan çalışma alanı toprakları hafif alkali olarak değerlendirilmiştir. EC_e ise ortalama 0.50 ile 0.70 $dS\ m^{-1}$ arasında değişmekte olup tuzsuz sınıfına girmektedir. OM içeriği ise 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinliğinde %0.91-1.55 arasında değişmekte olup ortalama %1.23 değerine sahip olan topraklar organik madde açısından az şekilde sınıflandırılmaktadır. Çalışma alanında derinliğe bağlı olarak organik maddenin azaldığı görülmektedir. Toprakta çoğunlukla başat kil mineralince belirlenen KDK ise 0-10, 10-20 ve 20-

Çizelge 2. Çalışma alanı topraklarının bazı özellikleri (N=12)
Table 2. Some features of working area soils (N=12)

| Toprak özellikleri | Toprak Derinliği (cm) | | | |
|------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | Ort |
| Bünye sınıfı | Killi tın | Killi tın | Killi tın | |
| Kum, % | 27.72 | 28.85 | 30.54 | 29.03 |
| Kil, % | 57.88 | 58.34 | 59.26 | 58.49 |
| Silt, % | 14.40 | 12.81 | 10.20 | 12.47 |
| pH_e | 7.55 | 7.56 | 7.61 | 7.57 |
| EC_e , $dS\ m^{-1}$ | 0.60 | 0.50 | 0.70 | 0.60 |
| $CaCO_3$, % | 28.70 | 28.70 | 29.60 | 29.00 |
| OM, % | 1.35 | 1.32 | 1.08 | 1.25 |
| KDK, meq $100\ g^{-1}$ | 50.70 | 32.50 | 56.10 | 46.43 |

pH_e :Saturasyon ekstraktında toprak reaksiyonu, EC_e :Saturasyon ekstraktında elektriksel iletkenlik $CaCO_3$:Kireç, OM:Organik madde, KDK:Katyon değişim kapasitesi

30 cm derinliklerinde 32.5 ile 56.1 meq $100\ g^{-1}$ arasında değişmekte olup ortalama 46.3 meq $100\ g^{-1}$ olan toprakların KDK içeriği yüksektir. Katyon değişimi toprağın yüzeyinde besin elementlerini tutabilme yeteneğidir. Bu açıdan bakıldığında tuz içeren topraklarda KDK Na^+ 'un toprak kolloidlerinde tutulması açısından önemli bir parametredir. Çalışma alanı topraklarının % $CaCO_3$ içeriği %28.7 ile %29.7 arasında değişmekte olup ortalama %26.0 değerine sahip olan topraklar kireçli sınıfına girmektedir (Çizelge 2). Çalışma alanı topraklarında yapılan analiz sonuçlarına ilişkin bulgular Çizelge 3'den yararlanılarak değerlendirilmiştir.

Sulama suyunun bazı özelliklerine ilişkin bulgular Çizelge 4 te verilmiştir. Çalışma alanındaki kullanılan sulama suyu pH değerleri 8.40 olup

Çizelge 3. Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile besin elementi içeriklerini yorumlamaya ilişkin sınır değerleri

Table 3. The limit rates for interpretation of the nutrient contents with the some physical and chemical properties of soils

| Parametre Kaynak | Yeterlik sınıfı | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Çok az kireçli | Az kireçli | Orta kireçli | Fazla Kireçli | Çok fazla kireçli | |
| $CaCO_3$, $g\ kg^{-1}$ | <10 | 10-50 | 50-150 | 150-250 | 250< | Ülgen ve Yurtsever, 1974 |
| 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 meq 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 |

Çizelge 4. Çalışmada kullanılan sulama suyuna ait bazı özellikler

Table 4. Some features of irrigation water used in the study

| pH _w | EC _w dS m ⁻¹ | Katyonlar (meq L ⁻¹) | | | | Anyonlar (meq L ⁻¹) | | | SAR | ESP % |
|-----------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|----------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|-------|
| | | 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 |

Çizelge 5. Sulama suyu kriterlerinin sınıflaması.

Table 5. Classification of irrigation water criteria.

| Parametre | Değer | Yeterlik sınıfı | Kaynak |
|--------------------------|-----------|------------------|------------------------|
| pH | 6.5-8.4 | Uygun | Ayers ve Westcot, 1985 |
| EC, 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 | |
| SAR, meq L ⁻¹ | >5.00 | Uygun değil | Richards, 1954 |
| | <10 | Mükemmel | |
| | 10-18 | İyi | |
| | 18-26 | Şüpheli | |
| ESP, % | >26 | Uygun değil | Richards, 1954 |
| | 0-20 | Mükemmel | |
| | 20-40 | İyi | |
| | 40-60 | İzin verilebilir | |
| | 60-80 | Şüpheli | |
| | >80 | Uygun değil | |

sulama için uygun sulardır. Sulama suyu kalitesini belirleyen parametrelerden biri olan EC, suyun elektriği iletme derecesinin bir ölçüsüdür. EC değeri 0.545 dS m⁻¹ olup mükemmel sınıfına girmektedir. Sulama suyunun SAR değeri 0.98 meq L⁻¹, ESP değeri ise 0.19 olup mükemmel sınıfına girmektedir

(Çizelge 4). Çalışma alanında kullanılan sulama suyu analiz sonuçlarına ilişkin bulgular Çizelge 5'den yararlanılarak değerlendirilmiştir.

Varyans analiz sonuçları Çizelge 6' de verilmiştir. Birinci dönemde doz ve tuz çeşidinin pH_e üzerinde, derinlik ve tuz çeşidinin ise EC_e

Çizelge 6. Çoklu karşılaştırma testi sonucunda izlenen toprak özelliklerine ilişkin P değerleri

Table 6. Çoklu karşılaştırma testi sonucunda izlenen toprak özelliklerine ilişkin P değerleri

| Dönem | Doz | | Derinlik | | Tuz çeşidi | |
|-------|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|
| | Değişken | P | Değişken | P | Değişken | P |
| 1 | pH _e | 0.00* | pH _e | 0.15 | pHe | 0.00* |
| | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.07 | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.00* | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.04* |
| 2 | pH _e | 0.69 | pH _e | 0.36 | pHe | 0.00* |
| | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.33 | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.16 | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.00* |
| 3 | pH _e | 1.00 | pH _e | 0.02* | pHe | 0.38 |
| | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.13 | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.74 | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.09 |
| 4 | pH _e | 0.05* | pH _e | 0.28 | pHe | 0.00* |
| | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.91 | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.00* | EC _e , dS m ⁻¹ | 0.31 |

* p<0,05 düzeyinde önemlidir

üzerinde istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur. İkinci dönemde ise tuz çeşidinin pH_e ve EC_e üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli olurken, 3. dönemde ise derinliğin pH_e üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Dördüncü dönemde ise doz ve tuz çeşidinin pH_e , derinliğin ise EC_e üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 6).

Varyans analizi sonrasında ortalamaya etki eden faktörler için yapılan TUKEY testi sonuçları Çizelge 7, 8 ve 9 da verilmiştir. Birinci dönemde pH_e için SAR 40 dozu, 1, 2 ve 4. dönemde EC_e için kontrol dozu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Üçüncü dönemde pH_e için tüm dozlar önemli bir farklılık oluşturmuştur (Çizelge 7).

Üçüncü dönem hariç toprak örnekleme sürecinin yapıldığı diğer üç dönemde pH_e için $NaHCO_3$ tuzu, EC_e için ise $NaCl$ tuzu önemli farklılık oluşturmuştur (Çizelge 8). Dördüncü dönemde EC_e için 0-10 cm derinlik önemli bulunmuştur (Çizelge 9).

Çalışmada $NaCl$ tuz uygulamalarının her iki dozunda da toprak pH_e 'sinin 2. dönem sonuna kadar önemli olarak artmadığı, hatta 2. dönem süresince sadece SAR 20 uygulamasında önemli olarak azaldığı ve sulama öncesi döneme benzer sonuçların olduğu, sadece kış yağışlarından sonra

Çizelge 7. İzlenen toprak özelliklerinde sulama suyu dozlarına göre yapılan Tukey testi sonuçları

Table 7. Tukey test results based on irrigation water doses in monitored soil properties

| Dönem | Değişken | Kontrol | sig | SAR 20 | sig | SAR 40 | sig |
|-------|----------------------|---------|------|--------|------|--------|------|
| 1 | pH_e | 7.41a | 0.73 | 7.35a | 0.73 | 7.62b | 1.00 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 0.57a | 1.00 | 1.91b | 0.25 | 1.63b | 0.25 |
| 2 | pH_e | 7.25a | 0.77 | 7.31a | 0.77 | 7.28a | 0.77 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 0.55a | 1.00 | 1.85b | 0.67 | 2.13b | 0.67 |
| 3 | pH_e | 7.91a | 1.00 | 8.13b | 1.00 | 8.13b | 1.00 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 0.63a | 0.06 | 1.06b | 0.38 | 0.91ab | 0.06 |
| 4 | pH_e | 7.85a | 0.68 | 7.88b | 0.19 | 7.96b | 0.19 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 0.76a | 1.00 | 2.01b | 0.99 | 2.04b | 0.99 |

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı satırda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur.

Çizelge 8. İzlenen toprak özelliklerinde sulama suyu tuz çeşidine göre yapılan Tukey testi sonuçları

Table 8. Tukey test results based on irrigation water salt type in monitored soil properties

| Dönem | Değişken | Kontrol | sig | $NaCl$ | sig | $NaHCO_3$ | sig |
|-------|----------------------|---------|------|--------|------|-----------|------|
| 1 | pH_e | 7.41a | 0.95 | 7.59b | 1.00 | 7.38a | 0.95 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 0.57a | 0.07 | 0.97a | 0.07 | 2.58b | 1.00 |
| 2 | pH_e | 7.25a | 0.29 | 7.46b | 1.00 | 7.13a | 0.29 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 0.82a | 0.7 | 0.55a | 0.7 | 3.16b | 1.00 |
| 3 | pH_e | 7.91a | 1.00 | 8.11b | 0.73 | 8.16b | 0.73 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 0.90ab | 0.71 | 1.07b | 0.29 | 0.63a | 0.71 |
| 4 | pH_e | 7.75a | 0.09 | 7.85a | 0.09 | 7.96b | 1.00 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 0.76a | 0.53 | 2.94b | 1.00 | 1.11a | 0.53 |

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı satırda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur.

Çizelge 9. İzlenen toprak özelliklerinde toprak derinliğine göre yapılan Tukey testi sonuçları

Table 9. Tukey test results based on irrigation soil depth in monitored soil properties

| Dönem | Değişken | 0-10 cm | sig | 10-20 cm | sig | 20-30 cm | sig |
|-------|----------------------|---------|------|----------|------|----------|------|
| 1 | pH_e | 7.56a | 0.6 | 7.49ab | 0.21 | 7.37b | 0.21 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 1.27a | 0.05 | 1.66ab | 0.05 | 1.67a | 0.05 |
| 2 | pH_e | 7.36a | 0.23 | 7.23a | 0.23 | 7.27a | 0.23 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 1.27a | 0.05 | 1.66ab | 0.05 | 1.50a | 0.13 |
| 3 | pH_e | 8.18a | 0.12 | 8.07a | 0.12 | 8.02b | 0.6 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 0.89a | 0.71 | 0.88a | 0.71 | 0.97a | 0.71 |
| 4 | pH_e | 7.86a | 0.59 | 7.92a | 0.59 | 7.94a | 0.59 |
| | EC_e , $dS m^{-1}$ | 2.28a | 1.00 | 1.26b | 0.92 | 1.38b | 0.92 |

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı satırda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur

Çizelge 10. SAR 20 NaCl uygulamasında pHe ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırması

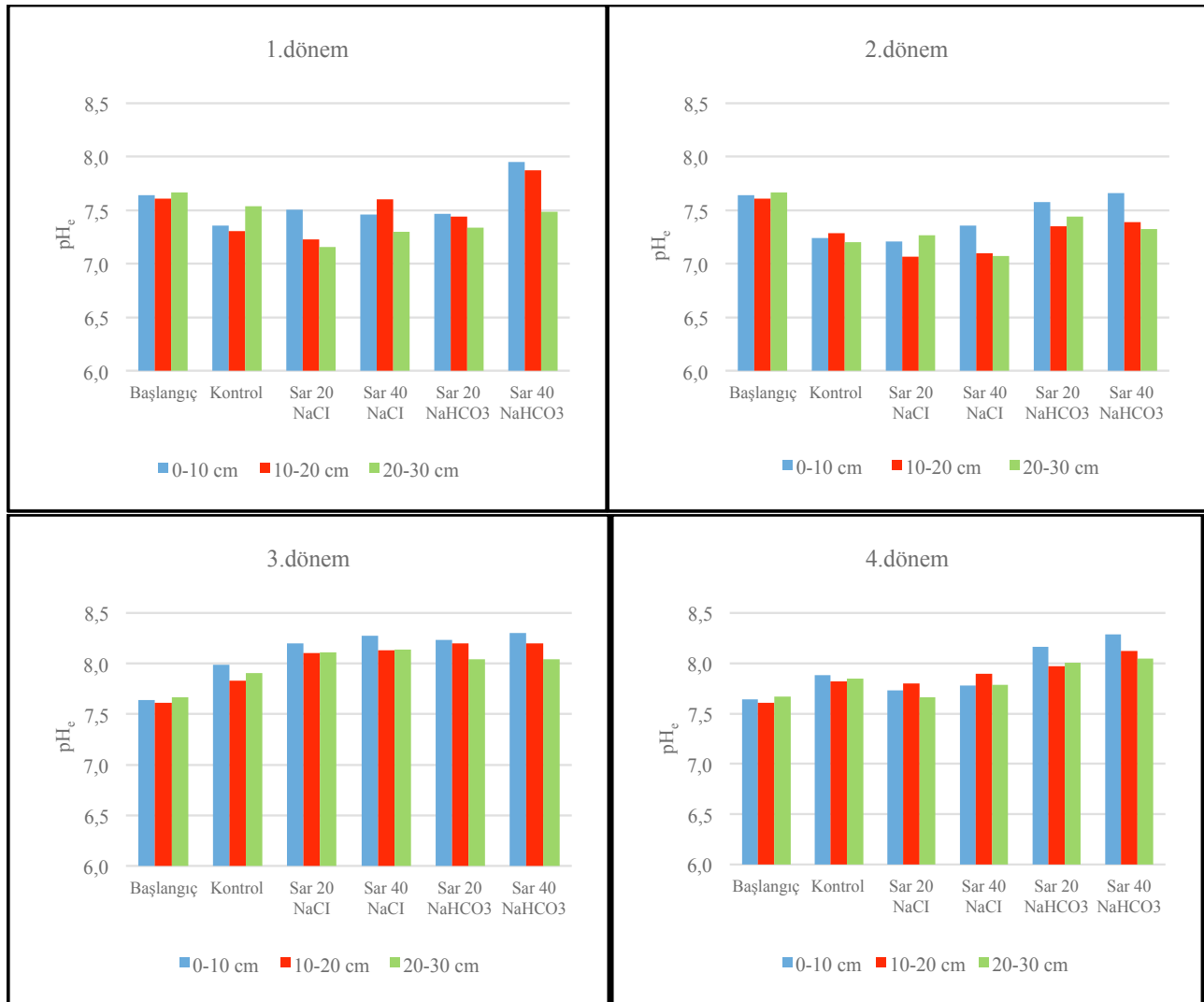
Table 10. Tukey multiple grouping of pHe averages in SAR 20 NaCl application

| Toprak derinliği | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Dönem | A.O±SH | A.O±SH | A.O±SH |
| Başlangıç | 7.55ab±0.38 | 7.53ab±0.13 | 7.61ab±0.13 |
| 1 | 7.50ab±0.27 | 7.23a±0.14 | 7.15a±0.15 |
| 2 | 7.16a±0.44 | 7.06a±0.12 | 7.27ab±0.08 |
| 3 | 8.20b±0.11 | 8.10c±0.08 | 8.11c±0.02 |
| 4 | 7.73ab±0.20 | 7.79bc±0.07 | 7.66bc±0.07 |

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. AO: Aritmetik ortalama SH: Standart hata

3. dönemden itibaren pHe'nin artmaya başladığı görülmektedir. Başlangıç pHe sı 7.55 iken NaCl sulama konularında 3. ve 4. dönemde pHe 8.0 i aşmıştır (Şekil 1). Çalışmamızda NaCl tuz çeşidinin pHe üzerine istatistiksel olarak etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 8). NaCl tuz uygulamalarında

pHe'nin dönemlerdeki değişimi istatistiksel olarak Çizelge 10 ve 11 de verilmiştir. Bu durum toprakların tamponlama özelliklerinden dolayı, Na+ un etkisini geç göstermesi ve ortamdaki Na+ iyonunun Ca²⁺ iyonlarını yıkaması ile açıklanabilir. Tan (1993), yaptığı çalışmada toprakta sodyum



Şekil 1. Toprak örnekleme yapılan dönemlere göre pHe değişimi
Figure 1. pHe change according to soil sampling periods

Çizelge 11. SAR 40 NaCl uygulamasında pH_e ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırması

Table 11. Tukey multiple grouping of pH_e averages in SAR 40 NaCl application

| Toprak derinliği | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Dönem | A.O±SH | A.O±SH | A.O±SH |
| Başlangıç | 7.55a±0.22 | 7.53ab±0.13 | 7.61ab±0.13 |
| 1 | 7.46a±0.10 | 7.60b±0.03 | 7.30ab±0.12 |
| 2 | 7.12a±0.09 | 7.05a±0.10 | 7.07a±0.10 |
| 3 | 8.27ab±0.14 | 8.13c±0.13 | 8.13c±0.06 |
| 4 | 7.65b±0.27 | 7.89bc±0.03 | 7.78bc±0.06 |

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. AO: Aritmetik ortalama SH: Standart hata

konsantrasyonun artmasının toprak pH'sını etkilemediğini ve bunun nedeninin toprakların tamponlama özelliğinin olduğunu belirtmiştir. Sreenivas (2008), yaptığı çalışmada saturasyon ekstraktının tuzluluğu ile toprak pH'sı arasında negatif bir ilişkinin olduğunu, sulama suyundaki NaCl tuz konsantrasyonunun yüksek olmasının toprak pH'sını yükseltmediğini tespit etmiştir. Pessoa vd. (2019), kumlu ve siltli tın bünyeye sahip topraklarda farklı tuz seviyeleri ve farklı tuz çeşitleri hazırlanan sular ile yaptıkları çalışmalarında sulamalar sonrasında Cl içeren tuzların kullanılması ile sulama suyu tuzluluğunun arttığını, kumlu topraklarda ortamda suda çözünebilir Cl-konsantrasyonunun CO_3^{2-} ve HCO_3^- iyonlarına

göre yüksek konsantrasyonda olması ile toprak ekstraktında pH'yı düşürdüğünü ifade etmişlerdir.

$NaHCO_3$ tuz uygulamalarının pH_e 'leri 1 ve 2 dönem sonuna kadar değişmemiş, 3. dönemle birlikte her iki dozda özellikle SAR 40 dozunda artma olmuştur. SAR 40 dozunda artış 1. dönemden itibaren başlamış ve 4. dönemde pH_e 8.28'e ulaşmıştır (Şekil 1) Sulama sularının tuz çeşidi SAR dozlarına göre pH_e değişiminin özellikle $NaHCO_3$ tuz uygulamalarında 3.ve 4.dönemden sonra daha belirgin olduğu görülmüştür (Şekil 1) (Çizelge 12 ve 13). SAR 40 $NaHCO_3$ uygulamasında ise 3. ve 4. dönem pH_e ortalamaları diğer dönemlere göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge

Çizelge 12. SAR 20 $NaHCO_3$ uygulamasında pH_e ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırması

Table 12. Tukey multiple grouping of pH_e averages in SAR 20 $NaHCO_3$ application

| Toprak derinliği | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm |
|------------------|-------------|------------|-------------|
| Dönem | A.O±SH | A.O±SH | A.O±SH |
| Başlangıç | 7.55a±0.2 | 7.53a±0.13 | 7.61ab±0.13 |
| 1 | 7.47a±0.11 | 7.44a±0.06 | 7.33a±0.05 |
| 2 | 7.57ab±0.09 | 7.35a±0.03 | 7.44s±0.11 |
| 3 | 8.23c±0.07 | 8.12b±0.04 | 8.0b±0.14 |
| 4 | 8.16bc±0.06 | 7.97b±0.08 | 8.00b±0.04 |

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. AO: Aritmetik ortalama SH: Standart hata

Çizelge 13. SAR 20 $NaHCO_3$ uygulamasında pH_e ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırması

Table 13. Tukey multiple grouping of pH_e averages in SAR 40 $NaHCO_3$ application

| Toprak derinliği | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Dönem | A.O±SH | A.O±SH | A.O±SH |
| Başlangıç | 7.55a±0.22 | 7.53ab±0.13 | 7.61ab±0.13 |
| 1 | 7.97ab±0.07 | 7.87bc±0.05 | 7.69a±0.02 |
| 2 | 7.60ab±0.16 | 7.39a±0.06 | 7.32a±0.10 |
| 3 | 8.23b±0.01 | 8.15c±0.05 | 7.89bc±0.01 |
| 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. AO: Aritmetik ortalama SH: Standart hata

13). Üçüncü dönemde özellikle NaHCO_3 sulama uygulamalarında pH_e 'nin artmasının nedeni ise kış yağışları ile çözünebilir tuzlar toprak profilinden aşağıya doğru yıkandıktan sonra değişebilir haldeki Na^+ 'un hidrolize olarak NaOH (sodyum hidroksit) oluşturması, oluşan NaOH 'un havadan absorbe edilen veya mikroorganizmalar tarafından üretilen CO_2 (karbondioksit) ile tepkimeye girerek Na_2CO_3 (Sodyum karbonat)'lara dönüşmesi ve sulama suyundaki yüksek bikarbonat miktarıdır. Gupta vd. (1984), alkali topraklarda sulama suyundaki NaHCO_3 'ün varlığından dolayı tuzluluğun artmasına bağlı olarak toprak pH sınır arttığını bildirmişlerdir. Karbonat ve bikarbonat iyonlarının artması, suyun pH değerini yükselterek alkali özelliklerin hakim olmasını sağlamaktadır. Bunun sonucu olarak kalsiyum çöker ve sistemde sodyum başat duruma geçmektedir (Kanber ve Ünlü, 2010). Qian ve Mecham (2005), yaptıkları çalışmada toprak pH sındaki 0.2 ünitelik artışın sulama suyundaki yüksek bikarbonattan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Yine Costa vd. (2015), yüksek sodyum bikarbonat tuzu içeriğine sahip sulama sularının kullanıldığı çalışmada sulama yapılan lokasyonlarda sulama öncesi pH 5.42 iken, sulama sonrası pH 6.08 e yükseldiğini ve bu değişimin $p < 0,05$ düzeyinde uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli

olduğunu tespit etmişlerdir. Pondkule vd. (2019), Hindistan da yaptıkları çalışmada bir yıl boyunca sulama öncesi ve sulama sonrası alınan toprak örneklerinde bazı toprak özelliklerinin değişimin, ortaya koymuşlardır. Çalışmada sulama öncesi toprak ekstraktında pH'sı 8.65 ile 8.94 arasında değişirken sulama sonrasında 8.76 ile 8.96 arasında değişim göstermiştir. Araştırmacılar toprak pH'ındaki bu değişimin toprak suyundaki çözünebilir tuzlardan HCO_3^- 'ün baskın olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Tuzlu sulamaların yapıldığı 1, 2 ve 4. dönemlerde, hem toprak yüzeyinde hem de altında Ece değerlerinin özellikle NaCl 'lü suyun kullanılmasıyla, her iki tuz çeşidinde de SAR daki artışa paralel olarak arttığı belirlenmiştir. Ayrıca tuzların NaCl uygulamalarında 10-20 cm ve 20-30 cm derinliğe kadar ulaştığı ve tuz birikimi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). Bir çözeltildeki toplam tuz konsantrasyonu ile çözeltilin elektriksel iletkenliği arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur (Richards, 1954; Esehie, 1994). Bundan dolayı Na^+ içeren sulama suları uygulamaları sonrasında tuz konsantrasyonuna bağlı olarak özellikle NaCl tuz uygulamalarında tuz uygulaması yapılan dönemlerde istatistiksel olarak önemli farklıklar bulunmuştur (Çizelge 14 ve 15). Bu farklılığın nedeni olarak tuz uygulamaları ile

Çizelge 14. SAR 20 NaCl uygulamasında EC_e ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırması

Table 14. Tukey multiple grouping of EC_e averages in SAR 20 NaCl application

| Toprak derinliği | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm |
|------------------|------------|-------------|-------------|
| Dönem | A.O±SH | A.O±SH | A.O±SH |
| Başlangıç | 0.62a±0.01 | 0.58a±0.06 | 0.66a±0.07 |
| 1 | 3.19b±0.12 | 2.41b±0.34 | 2.77c±0.26 |
| 2 | 4.72b±0.61 | 2.39b±0.45 | 2.16bc±0.28 |
| 3 | 0.99a±0.05 | 1.15ab±0.20 | 1.32ab±0.13 |
| 4 | 3.32b±0.53 | 2.05ab±0.43 | 2.63c±0.40 |

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. AO: Aritmetik ortalama SH: Standart hata

Çizelge 15. SAR 40 NaCl uygulamasında EC_e ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırması

Table 15. Tukey multiple grouping of EC_e averages in SAR 40 NaCl application

| Toprak derinliği | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm |
|------------------|-------------|-------------|------------|
| Dönem | A.O±SH | A.O±SH | A.O±SH |
| Başlangıç | 0.62a±0.01 | 0.58a±0.06 | 0.66a±0.07 |
| 1 | 3.17bc±0.20 | 3.28bc±0.36 | 3.03b±0.31 |
| 2 | 4.65cd±0.86 | 3.70c±0.19 | 3.10b±0.12 |
| 3 | 1.19ab±0.09 | 0.94a±0.15 | 1.00a±0.08 |
| 4 | 5.53d±0.38 | 2.40bc±0.26 | 2.55b±0.15 |

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. AO: Aritmetik ortalama SH: Standart hata

Çizelge 16. SAR 20 NaHCO₃ uygulamasında EC_e ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırması

Table 16. Tukey multiple grouping of EC_e averages in SAR 20 NaHCO₃ application

| Toprak derinliği | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm |
|------------------|-------------|-------------|------------|
| Dönem | A.O±SH | A.O±SH | A.O±SH |
| Başlangıç | 0.62a±0.01 | 0.58a±0.06 | 0.66a±0.07 |
| 1 | 0.73a±0.14 | 1.73b±0.45 | 0.77a±0.04 |
| 2 | 0.97ab±0.05 | 0.67ab±0.13 | 0.65a±0.05 |
| 3 | 0.95ab±0.10 | 0.78ab±0.04 | 0.83a±0.07 |
| 4 | 1.40b±0.21 | 1.55b±0.06 | 0.89a±0.18 |

Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı sütunda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur. AO: Aritmetik ortalama SH: Standart hata

Çizelge 17. SAR 40 NaHCO₃ uygulamasında EC_e ortalamalarına ait Tukey çoklu gruplandırması

Table 17. Tukey multiple grouping of EC_e averages in SAR 40 NaHCO₃ application

| Toprak derinliği | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm |
|------------------|-------------|------------|------------|
| Dönem | A.O±SH | A.O±SH | A.O±SH |
| Başlangıç | 0.62a±0.01 | 0.58a±0.06 | 0.66a±0.07 |
| 1 | 1.37b±0.15 | 0.68a±0.05 | 0.81a±0.04 |
| 2 | 1.20b±0.23 | 0.86a±0.05 | 0.77a±0.07 |
| 3 | 0.89ab±0.08 | 0.82a±0.07 | 0.78a±0.17 |
| 4 | 1.38b±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. AO: Aritmetik ortalama SH: Standart hata

toprağa devamlı tuz ilavesinin olması ve NaCl tuz çeşidinin sudaki çözünürlüğünün yüksek olması ile özellikle yüzeyde (0-10 cm) ve yüzeyden itibaren alt derinliklerde birikmesi söylenebilir. 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 belirtmişlerdir. Rana vd. (2010), Hindistan Haryana'da uzun süre tarım arazilerinde kanal suyunun kullanıldığı çalışmada toprak EC değerlerinin 0.99 dS m⁻¹ den 1.65 dS m⁻¹ ye kadar farklılaştığının tespit etmişlerdir. Avcı (2018), lizimetre koşullarında farklı kalitedeki sulama sularının değişik yıkama oranları ile kullanılmasının toprak tuzluluğuna olan etkilerini izlediği çalışmada, farklı zamanlarda tuzlu sular kullanmış ve devam eden sulamalar neticesinde toprak profilinde tuzluluğun zaman içerisinde arttığını ve yapılan yıkamalarla üst topraktaki tuzların sürekli alt toprağa taşındığını ifade etmiştir. Sulama suyuna bağlı olarak toprakta tuz birikiminin olacağına dair çalışmamızla benzer sonuçlar veren çalışmalar mevcuttur (Mostafazadeh-Fard vd. 2007; Rana

vd. 2010; Alsdon vd. 2013; Hasan vd. 2015; Tunç ve Şahin, 2015; Üzen, 2015; Karakoç, 2016; Liu vd. 2016; Abu-Alrub vd. 2018; Bouaroudj vd. 2019) EC_e üzerine derinliğin etkisi istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur (Çizelge 6). 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). Üçüncü dönemde ise biriken tuzların yüzeyden itibaren tüm derinliklerde yıkandığı ve EC_e değerlerinin düştüğü görülmektedir (Şekil 2). Çalışma alanındaki yağışların büyük kısmı kış ve ilkbahar mevsimlerinde düşmektedir. Dolayısıyla bu dönemlerde, büyük olasılıkla, profildeki tuz yağışlarla profilin derinliklerine kadar yıkanmaktadır. Yapılan birçok çalışmada bir sulama alanında sulama mevsimi boyunca toprakta tuz içeriğinin arttığı, kış periyodunda yağışların yıkama etkisinden dolayı tuzluluğun azalabileceği ifade edilmiştir (Yurtseven ve Güngör, 1990; Yurtseven ve Sönmez, 1996; Yurtseven vd. 2012; Alsdon vd. 2013; Wang vd. 2015; Liu vd. 2016; Abu-Alrub vd. 2018; Taşan, 2018; Pessoa vd. 2019).

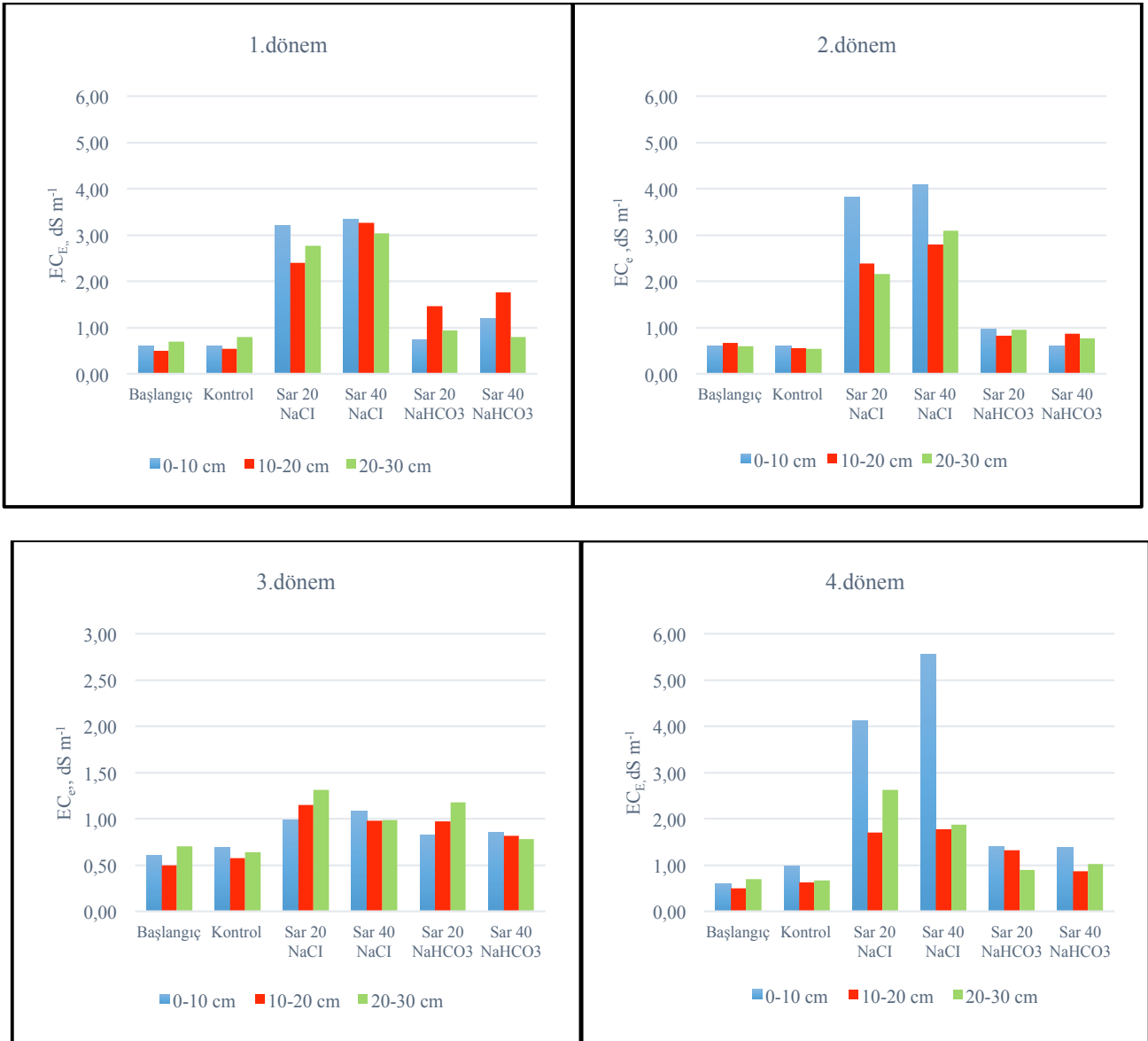
SAR 20 NaHCO₃ uygulamasında 2. ve 4. dönemde EC_e değerleri artış göstermiştir. 1. dönemde 10-20 cm derinlikte, 3. dönemde ise

10-20 ve 20-30 cm derinlikte EC_e de artış olduğu görülmektedir SAR 40 $NaHCO_3$ uygulamasında başlangıç dönemine göre 1,2 ve 4.dönemlerde EC_e değerleri artış göstermiştir. Başlangıç döneminde EC_e 0.60 dS m^{-1} iken 4.dönemde 0-10 cm toprak derinliğinde EC_e , NaCl uygulamasının SAR 20 dozunda 3.32 dS m^{-1} , SAR 40 dozunda ise 5.53 dS m^{-1} e ulaşmıştır. Yine 0-10 cm toprak derinliğinde 4.dönemde EC_e 'nin $NaHCO_3$ uygulamasında SAR 20 dozunda 1.40 dS m^{-1} , SAR 40 dozunda ise 1.38 dS m^{-1} olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Fakat $NaHCO_3$ uygulamalarındaki EC_e değerlerindeki bu artışlar NaCl uygulamalarındaki kadar belirgin değildir. $NaHCO_3$ uygulamalarında EC_e ortalamalarının dönemsel olarak değişimi istatistik

sonuçları Çizelge 16 ve 17 de verilmiştir. Buna göre $NaHCO_3$ uygulamalarının EC_e 'nin değişimine etkisi olmadığı belirlenmiştir. $NaHCO_3$ 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 4.1). NaCl tuzunun 20°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).

SONUÇLAR

Toprak çözelti içerisindeki tuzların konsantrasyonu ve tuz çeşidi, toprakların pH ve EC gibi özelliklerinde değişimleri etkilemiştir. Çalışmada



Şekil 2. Toprak örnekleme yapılan dönemlere göre EC_e 'nin değişimi
Figure 2. EC_e change according to soil sampling periods

toprakların tamponlama yeteneğinden dolayı, pH_e nin değişik SAR değerlerine sahip sulama sularının deneme süresince farklı dönemlerde yapılan on beş sulama sonrasında özellikle $NaHCO_3$ sulama uygulamalarında SAR dozunun artmasıyla pH_e 'nin kış sonrası dönemde Na^+ tuzlarının yıkanmasından dolayı önemli düzeyde arttığı belirlenmiştir. Ancak bu değişim toprakların tamponlama özelliklerinden dolayı deneme süresince belirgin olmamıştır. Değişim çözeltilinde bir katyonun konsantrasyonu veya diğer katyonlara nisbi oranı arttıkça, kolloidler tarafından tutulan miktarı da artmaktadır. Toprak yüzeyindeki EC_e değerleri ise kış ve ilkbahar yağışlarından dolayı 3.dönem hariç, suların SAR değerlerinin artmasına bağlı olarak özellikle $NaCl$ uygulamasında artmış, $NaHCO_3$ tuz çeşidinin EC_e 'e etki etmediği belirlenmiştir. Sulama uygulamalarında kullanılan suların tuz çeşidlerinin sudaki çözünürlüklerinin farklı olmasından dolayı sulama dönemlerinde istatistiksel farklılıklar tespit edilmiştir. Tuzların özellikle yüzeyde (0-10 cm) birikme gösterdiği ve yüzeyden alt derinliklere tuzların taşındığı belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre Na^+ içeren ($NaCl$ ve $NaHCO_3$ gibi) tuzları ile uzun süren sulamalar yapılması durumunda topraklardaki fiziko-kimyasal bazı özelliklerin değerlendirilmesinde sulama suyu kalitesi, tuz çeşidi, sulama mevsimi, sulama sıklığının ve toprak geçirgenliği gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekli olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abu-Alrub I, Marcum KB, Kabir N, Aran A, Hammadi MA (2018). Productivity and nutritional value of four forage grass cultivars compared to Rhodes grass irrigated with saline water. *Australian Journal of Crop Science*, 12 (02): 203-209.
- Akalan İ (1977). Toprak Oluşu, Yapısı ve Özellikleri. A.Ü. Zir. Fak. Yayınları, No: 662. Ankara.
- Al-Busaidi AS, Cookson P (2003). Salinity-pH relationships in calcareous soils. *Agricultural and Marine Science*, 8: 41-46.
- Alsadon A, Sadder M, Wahb-Allah M (2013). Responsive gene screening and exploration of genotypes responses to salinity tolerance in tomato. *Australian Journal of Crop Science*, 7 (9): 1383- 1395.
- Amezketta E (1999). Soil aggregate stability: a review *Journal of Sustainable Agriculture*, 14: 83–151.
- Amit R, Yehouda E, Tamir G, Onn C, Naomi P, 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.
- Avcı S (2018). Farklı sulama yönetimi uygulamalarının lizimetre koşullarında drenaj suyu kalitesine, toprak tuzluluğuna ve yoncada (*Medicago sativa*) verime etkisi. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ayers RS, Westcot DW (1985). Water quality for agriculture (Vol. 29). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Bouaroudj S, Menad A, Bounamous A, Ali-Khodja H, Gherib A, Weigel DE, 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 Journal*, 219: 76-88.
- Bouyoucos GJ (1951). A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.
- Bower CA, Reitmeir RF, Fireman M (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, 73: 251-261.
- Costa JL, Aparicio VC (2015). Quality assessment of irrigation water under a combination of rain and irrigation. *Agricultural Sciences Journal*, 159: 299–306.
- Çakır R, Gidişioğlu A (1997). Düşük kaliteli sulama sularının vertisol toprakların bazı özelliklerine ve ayçiçeği bitkisinin vegetatif gelişmesine etkileri. VI. Tarımsal Tapılar ve Sulama Kongresi, Bursa.
- Esechie HA (1994). Interaction of salinity and temperature on the germination of sorghum. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 172: 194-199.
- Felhendler R, Shainberg I, Frenkel H. (1974). Dispersion and the hydraulic conductivity of soils in mixed solutions. *Trans Int Congr Soil Sci*.
- Frenkel H, Goertzen JO, Rhoades JD (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, 42:32–39.
- Gupta RK, Bhumbra DK, Abrol IP (1984). Sodium-calcium exchange equilibria in soils as affected by calcium carbonate and organic matter. *Soil Science*, 138(2): 109-114.
- Hasan HI, Battikhi AM, Orunfleh MM (2015). Impacts of Treated Wastewater Reuse on Some Soil Properties and Production of *Gladiolus communis*. *Jordan Journal of Agricultural Sciences Journal*, 11(4): 1103–1118.
- Hassanlı AM, Javan M, Saadat Y (2008). Reuse of municipal effluent with drip irrigation and evaluation the effect on soil properties in a semi-arid area. *Environmental monitoring and Assessment*, 144(1-3): 151-158.
- Hazelton P, Murphy B (2016). Interpreting soil test results: What do all the numbers mean? : CSIRO publishing.
- Kanber R, Ünlü M (2010). Tarımda Su ve Toprak Tuzluluğu. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 281, Kitap Yayın No: A-87. Adana.
- Karakoç B, Kale S (2016). Farklı Eriřlikteki Tuz Cinslerine Sahip Sulama Suyu Tuz Düzeylerinin, Marul (*Lactuca Sativa*) Verimi Üzerine Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1(1): 1-7.
- Kurunç A (2017). Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk, Tuzluluğun Bitkilere Etkisi, Akdeniz Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Ders Notları.

Li XB, Kang YH, Wan SQ, Chen XL, Chu LL (2015). Reclamation of very heavy coastal saline soil using drip-irrigation with saline water on salt-sensitive plants. *Soil and Tillage Research Journal*, 146: 159–173.

Li N, Kang Y, Li X, Wan S, Xu J (2019). Effect of the micro-sprinkler irrigation method with treated effluent on soil physical and chemical properties in sea reclamation land. *Agricultural Water Management Journal*, 213: 222–230.

Liu X, Feike T, Chen S, Shao L, Sun H, 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. *Journal of Integrative Agriculture*,

15 (12): 2886-2898.

Maas EV (1986). Salt Tolerance of Plants. *Applied Agricultural Research*, 1: 12-26.

Makoi JHJR, Verplancke H (2010). Effect of gypsum placement on the physical chemical properties of a saline sandy loam soil. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7):556-563.

Mancino CF, Pepper I.L (1992). Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: Soil quality. *Agronomy Journal*, 84:650–654.

MeiriA, Plaut Z (1985). Crop Production and Management under Saline Conditions, *Plant and Soil*, 89:253-271.

Mostafazadeh-Fard B, Haydarpour M, Aghakhani A, Feizi M (2007). Effects of irrigation water salinity and leaching on soil chemical properties in an arid region. *International Journal of Biology*, 9(3):466-469.

Munsuz, N, Çaycı G, Ok SS (2001). Toprak Islahı ve Düzenleyiciler Ankara Üniv. Zir. Fak. Yayınları, No: 1518, Yardımcı Ders Kitabı: 471.

Nelson DW, LE Sommers (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*: pp. 539-579.

Özdemir N (1998). Toprak fiziği. OMÜ Yayınları, Ders Kitabı No: 30.

Pessoa LGM, dos Santos Freire MBG, dos Santos RL, Freire FJ, Miranda MFA, dos Santos PR (2019). Saline water irrigation in semiarid region: I-effects on soil chemical properties. *Australian Journal of Crop Science*, 13(7): 1169.

Pondkule RG, Jadhao SM (2020). Impact of irrigation on soil properties in Purnavalleyof Vidarbha region of Maharashtra. *International Journal of Chemical Studies*, (1): 2110-2114.

Pupisky H, Shainberg I (1979). Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil, *Soil Science Society of America Journal*, 43:429–433.

Qian Y, Lin Y (2019). Comparison of soil chemical properties prior to and five to eleven years after recycled water irrigation. *Journal of Environmental Quality*, 48(6): 1758-1765.

Rana L, Dhankhar R, Chhikara S (2010). Soil characteristics affected by long term application of sewage wastewater. *International Journal of Environmental Research*,4(3): 513-518.

Richards LA (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USD A Handbook No: 60.

Rhoades JD, Ingvalson RD (1969). Macroscopic swelling and hydraulic conductivity properties of four vermiculite soils. *Soil Science Society of America Journal*, 33: 364–369.

Rowell CHF, Mckay JM (1969).An acridid auditory interneurone. I. Functional connexions and responses to single sounds *Journal of Experimental Biology*, 51: 231-47.

Rusan MJM, Hinnawi S, Rousan L (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, 215: 143–152.

Schipper LA, Williamson JC, Kettles HA, Speir TW (1996). Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemicalproperties. *Journal of Environmental Quality*, 25:1073–1077.

Shainberg I, Rhoades JD, Prather RJ (1981a). Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. *Soil Science Society of America Journal*,45: 273–277.

Shainberg I, Rhoades JD, Prather RJ (1981b). Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils. *Soil Science Society of America Journal*, 45: 287-291.

Shainberg I, Levy GJ (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.

Sönmez B, Beyazgül M (2008). Türkiye’de Tuzlu ve Sodyumlu Toprakların Islahı ve Yönetimi, Sulama ve Tuzlanma Konferansı, 12-13 Haziran 2008, Şanlıurfa.

Sun JX, Kang YH, Wan SQ, Hu W, Jiang SF, Zhang TB (2012). Soil salinity management with drip irrigation and its effects on soil hydraulic properties in north China coastal saline soils. *Agricultural Water Management Journal*, 115: 10–19.

Sreenivas C, Reddy CK (2008). Salinity–sodicity relationships of the Kalipatnam drainage pilot area, Godavari western delta, India. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 57(5): 533-544.

Tan HK (1993). *Soil Reaction*. In *Principles of Soil Chemistry*, 2nd edn. Marcel Dekker: New York, 255-278.

Tarchouna LG, Merdy P, Raynaud M, Pfeifer HR, 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.

Taşan S, Demir Y (2019). Toprakların tuzluluk ve sodikliğinin alansal ve zamansal değişiminin jeostatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi: Bafra ovası örneği. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(3): 336-350

Tunç T, Şahin U (2015). The changes in the pPhysical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. *Agricultural Water Management Journal*, 158:213–224.

Ülgen N, Yurtsever N (1974). Türkiye Gübreler ve Gübreleme Rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Teknik Yayınlar No:28. Ankara.

Üzen N (2007). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Koşullarında Yetiřtirilen Kimi Pamuk Çeřitlerinin Farklı Seviyelerdeki Tuz Stresine Gösterdikleri Tepkilerin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Wang RS, Kang YH, Wan SQ, Hu W, Liu SP, Liu SH (2011). Salt distribution and the growth of cotton under different drip irrigation regimes in a saline area. *Agricultural Water Management Journal*, 100:58–69.

Wang X, Yang J, Liu J, Yao R, Yu S (2015). Impact of irrigation volume and water salinity on winter wheat productivity and soil salinity distribution. *Agricultural Water Management Journal*, 149:44–54.

Yurtseven E, Güngör Y (1990). Değişik Tuzluluk Düzeylerindeki Sulama Sularının Toprak Tuzlulaşmasına Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry Journal*, 14: 555-561.

Yurtseven E, Sönmez B (1996). Sulama Suyu Tuzluluğunun Domates Verimine ve Toprak Tuzluluğuna Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry Journal*, 20(1):27-33.

Yurtseven E, Öztürk HS, Avcı S, Altınok S, Selenay MF (2012). Farklı Sulama suyu kalitesi ve yıkama oranı uygulamalarında profil tuzluluğunun değişimi. *Toprak Su Dergisi*, 1(1):38-46.