



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Karaman İlinin Sulama Suyu Kalitesinin Belirlenmesi

Hamza GENCER¹, Kadir UÇGUN²

¹İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Karaman, Türkiye

² Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Karaman, Türkiye

* Sorumlu yazar e-posta: kadirucgun@gmail.com

Öz: Kurak ve yarı kurak bölgelerde artan yeraltı suyu kullanımı sulama suyu kalitesini düşürerek toprak verimliliği ve sürdürülebilir tarımı tehdit etmekte, bu nedenle bölgesel su kalitesi analizleri kritik önem taşımaktadır. Bu amaçla Karaman ilinde sulama amaçlı kullanılan akarsu, baraj/gölet ve derin kuyulardan 30 adet su örneği alınarak tuzluluk (EC), pH, kalsiyum (Ca²⁺), magnezyum (Mg²⁺), sodyum (Na⁺), potasyum (K⁺), karbonat (CO₃²⁻), bikarbonat (HCO₃⁻), klor (Cl⁻), sülfat (SO₄²⁻) ve bor (B) analizleri yapılmış ve alkalilik (A), toplam çözünmüş katılar (TÇK), toplam sertlik (TS), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), bakiye sodyum karbonat (RSC), çözünebilir sodyum yüzdesi (ÇSY), magnezyum oranı (MO), Kelly indeksi (KI), geçirgenlik indeksi (GI) ve potansiyel tuzluluk (PT) değerleri hesaplanmıştır. Sulama sularının %86,6'sı EC yönünden C₂ sınıfında yer almıştır. pH açısından ideal ve C₁ yönünden sorunsuz bulunmuştur. B yalnızca bir örnekte sınır değerinin üzerinde bulunduğu; TÇK değerlerinin %90'ının uygunluk gösterdiği; TS'nin tüm örneklerde yüksek olduğu, SAR, RSC ve ÇYS'nin mükemmel düzeyde olduğu; MO ve KI'nin uygun olduğu, GI ve PT açısından ise örneklerin sırasıyla yaklaşık %86 ve %76'sının kabul edilebilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Karaman ilinde kullanılan sulama sularının büyük bir bölümü C₂S1 sınıfında yer almıştır. Karaman ilini temsilen alınan sulama suyu örneklerinde temel problem TS olmuştur. Sulama sistemlerinin korunmasında ve etkili bir ilaçlama ve gübreleme yapılmasında üreticiler dikkatli olmalıdırlar.

Anahtar Kelimeler: Karaman, Sulama suyu kalitesi, Tuzluluk problemi, Sodyum tehlikesi, İyon toksisitesi

Determining the Irrigation Water Quality of Karaman Province

Abstract: In arid and semi-arid regions, increasing groundwater use degrades irrigation water quality and threatens soil fertility and sustainable agriculture, making regional water quality assessments critically important. In Karaman Province, for this purpose, 30 water samples were collected from rivers, dams/reservoirs, and deep wells used for irrigation in the region. The samples were analyzed for salinity (EC), pH, calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺), carbonate (CO₃²⁻), bicarbonate (HCO₃⁻), chloride (Cl⁻), sulfate (SO₄²⁻), and boron (B). In addition, alkalinity, total dissolved solids (TDS), total hardness (TH), sodium adsorption ratio (SAR), residual sodium carbonate (RSC), soluble sodium percentage (SSP), magnesium ratio (MR), Kelly's index (KI), permeability index (PI), and potential salinity (PS) values were calculated. 86.6% of the irrigation waters were classified as C₂ in terms of EC. pH was ideal and Cl was found to be problem-free. B exceeded the threshold value in only one sample; 90% of the TDS values were found to be suitable; TS was high in all samples; SAR, RSC, and ÇYS were at excellent levels; MO and KI were acceptable; and approximately 86% and 76% of the samples were acceptable in terms of GI and PT, respectively. Most of the irrigation waters used in Karaman Province were classified as C₂S1. Among the irrigation water samples representing the province, the main problem was found to be TH. Therefore, farmers should be cautious in order to protect irrigation systems and to ensure effective fertilization and pesticide application.

Keywords: Karaman Province, Irrigation water quality, Salinity problem, Sodium hazard, Ion toxicity

Gönderilme Tarihi: 11.10.2025

Kabul Tarihi: 15.01.2026

Nasıl atf yapılır: Gencer, H. ve Uçgun, K. (2026). Karaman İlinin Sulama Suyu Kalitesinin Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 31,71-83 <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1782169>

1. Giriş

Karaman ilinde, yağış miktarlarının azalması ve tarımsal faaliyetlerin giderek artmasıyla birlikte sulama amaçlı su kaynaklarının önemi her geçen gün artmaktadır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde yeraltı suyu kullanımının artması, sulama sularının kalitesini doğrudan etkilemekte; bu da gerek toprak verimliliği gerekse sürdürülebilir tarımsal üretim açısından önemli riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, bölgesel düzeyde su kalitesi analizleri yapılması hem kaynak yönetimi hem de ürün planlaması açısından kritik öneme sahiptir. Sulama suyunun kalitesi, yeraltı suyunun çıkarılma ve kullanım şekline, yağış miktarına ve akiferin yeniden dolum durumuna bağlı olarak bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Su, bitkisel üretimde tek başına kritik bir faktör olmasının yanı sıra, diğer üretim girdilerini ve tarımsal verimliliği de doğrudan etkileyen temel unsurlardan biridir.

Sulama suyunun özelliklerinin belirlenmesi hem yetiştirilecek bitki türünün seçilmesinde hem de gübreleme programlarının planlanmasında dikkate alınması gereken kritik bir faktördür. Yağışın az olduğu bölgelerde tarımsal üretimde yeraltı sularının yoğun kullanımı, suyun tuzluluğunu artırarak ürün çeşitliliğini sınırlayabilmektedir. Bu nedenle bitkisel üretimde sulama suyunun kalitesinin tespit edilmesi büyük önem taşır. Suyun kalitesi, içindeki çözünmüş tuzların miktarı ve bileşimi ile belirlenir. Sulama suyunun değerlendirilmesinde tuzluluk (EC), pH, kalsiyum (Ca^{2+}), sodyum (Na^+), magnezyum (Mg^{2+}), potasyum (K^+), karbonat (CO_3^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-), bor (B), klor (Cl) ve sülfat (SO_4^{2-}) gibi parametreler ölçülerek belirlenir. Ölçülen bu parametrelerden sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), çözünebilir sodyum yüzdesi (ÇSY), toplam çözünmüş katılar (TÇK), toplam sertlik (TS), bakiye sodyum karbonat (RSC), magnezyum oranı (MO), Kelly indeksi (KI), geçirgenlik indeksi (GI) ve potansiyel tuzluluk (PT) gibi kimyasal indeksler hesaplanır. Bu parametreler, sulama suyunun tarımsal kullanım açısından uygunluğunu değerlendirmede temel göstergelerdir (Ayers & Westcot, 1985). Kalitesi düşük sulama sularının kullanımı, toprak agregat yapısında bozulmalara, pH ve EC değerlerinde artışa, B ve Cl gibi toksik elementlerin birikmesine yol açabilir. Sonuç olarak topraklarda çoraklaşma, bitki gelişiminde gerileme ve hatta duraklama görülebilir. Bu nedenle tarımsal alanlarda sulama yapılmadan önce mevcut sulama suyunun laboratuvar analizleri ile uygunluğu belirlenmeli ve yalnızca sulamaya elverişli olduğu tespit edilen sular güvenle kullanılmalıdır.

Çeşitli bölgelerde yürütülen çalışmalar, Türkiye'nin farklı tarım alanlarında kullanılan yer altı sulama sularının kalite özelliklerinin bölgesel koşullara bağlı olarak önemli değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Örneğin Konya Ereğli'de İvriz Sağ Sahil Sulama Birliğine ait kuyu sularının pH'sı 7.05-7.56 ve EC 820-4103 $\mu S/cm$ arasında değişmiş ve suların C₃-C₄ sınıfında olduğu belirlenmiştir (Okumuş, 2011). Çanakkale Biga Ovası'nda kuyuların EC açısından yarısının C₁, yarısının C₂ sınıfında olduğu; Na açısından 7 kuyunun ve B açısından 1 kuyunun 3. sınıf değer taşıdığı bildirilmiştir (Topçu, 2016). Konya Sarayönü Gözlu Tarım İşletmesi'nde sulama sularının pH'sı 6.08-7.45, EC 1071-1989 $\mu S/cm$ olup sulama sularının C₃ sınıfında yer aldığı ve ilerleyen dönemlerde tuzluluk riskinin artabileceği öngörülmüştür (Alpözen, 2017). Isparta Ovası'nda yapılan çalışmalarda 21 kuyudan alınan suların bir kısmı C₃S₁, diğer kısmı C₂S₁ sınıfında bulunmuş; Na, SAR, RSC, MO ve diğer parametreler yönünden sorun saptanmamıştır (Demir & Hepdeniz, 2018). Çorum Ovası'nda EC değerlerinin 490-2970 $\mu S/cm$ aralığında olduğu; suların C₃S₁, C₃S₂ ve C₄S₁ sınıflarında yer aldığı; bazı bölgelerde tuzluluk, geçirgenlik ve su tipi bakımından (Ca-HCO₃, Na-Cl, Ca-Mg-Cl) sulama açısından sorun oluşturabilecek özellikler gösterdiği bildirilmiştir (Kıy, 2019). Muğla Dalaman'da sulama suyunun EC değerleri mevsim içinde C₂'den C₄'e kadar değişmiş; SO₄²⁻ değerleri sezon ilerledikçe artmış ve özellikle Kapıkargın mevkiinde tuzluluk sorununun belirginleştiği belirtilmiştir (Altın, 2019). Antalya il merkezi ve Kumluca seralarında suların pH'sının 6.84-8.13, EC'nin 315-1698 $\mu S/cm$ arasında değiştiği; sulamaların çoğunlukla C₂S₁ ve C₃S₁ sınıfında olduğu ve yalnızca bazı dönemlerde Cl yönünden problem görüldüğü rapor edilmiştir (Doğan, 2019). Konya Çumra'da ise EC 235-1305 $\mu S/cm$, pH 6.74-8.43 aralığında olup suların Na yönünden sorunsuz, EC yönünden ise C₂S₁-C₃S₁ seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir (Hasırcı, 2021). Bu bulgular, yer altı sulama sularında tuzluluk seviyelerinin bölgesel jeoloji, su kullanımı ve iklim koşullarına bağlı olarak değiştiğini ve birçok bölgede uzun vadeli tuzluluk riskinin önemli bir unsur olduğunu göstermektedir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan da görüldüğü gibi birçok bölgesel çalışma yapılmış olup Karaman ilinde böyle bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada Karaman ilinde sulama amaçlı kullanılan yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının kimyasal bileşimlerini belirlenerek, sulama suyu kalitesini etkileyen başlıca parametreler (EC, SAR, RSC, B, ÇSY, KI, PT vb.) bölgesel ölçekte değerlendirilmiştir.

Kurak ve yarı kurak iklim koşullarında artan yeraltı suyu kullanımı, tuzluluk ve sodiklik risklerini beraberinde getirdiğinden, bu çalışma Karaman ili için hem mevcut durumu ortaya koymak hem de sürdürülebilir su yönetimi stratejilerine bilimsel dayanak sağlamayı amaçlamaktadır.

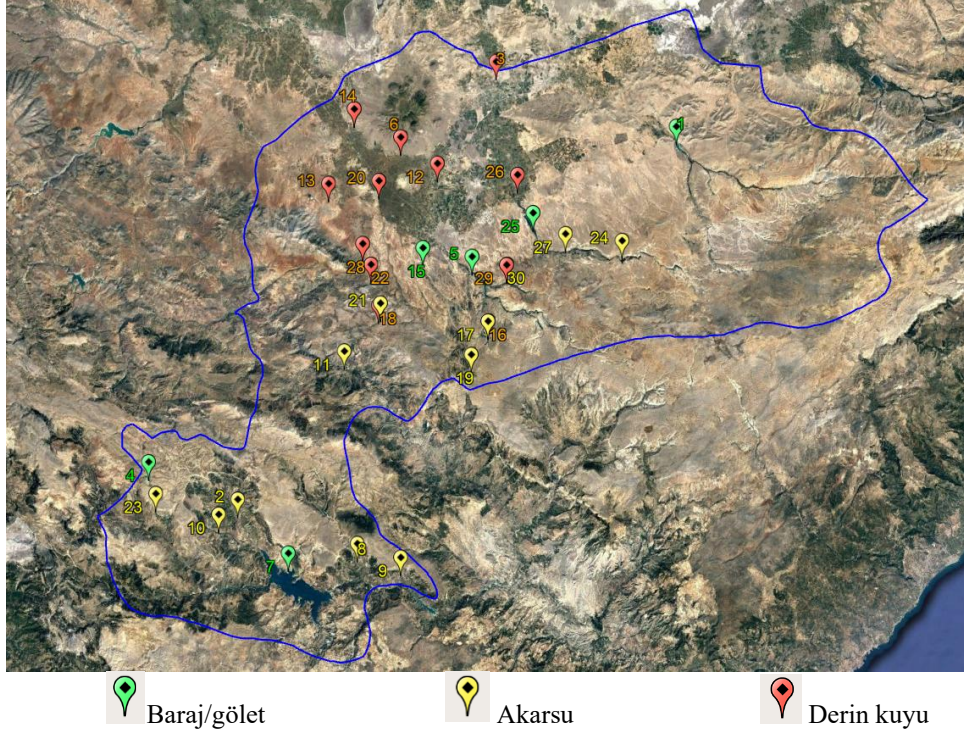
2. Materyal ve Yöntem

İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Karaman ili, güneyde Mersin ve Antalya illeri, diğer yönlerde ise Konya ili ile komşudur. İlin yüzölçümü 8.850 km² olup, denizden yüksekliği yaklaşık 1.030 m'dir. Karaman ili, 6 ilçeye, 5 kasabaya ve 158 köye sahiptir. Karasal iklimin hakim olduğu bölgede yıllık ortalama yağış miktarı 240-360 mm arasında değişmektedir. Toplam alanın %38'i tarım arazileri, %22'si çayır ve meralardan oluşmaktadır. Yaklaşık 330.000 ha alanda tarımsal üretim yapılmakta olup, bitkisel üretim alanlarının %80'ini tarla bitkileri, %5'ini nadas, %10'unu meyvecilik, %5'ini ise sebzeçilik oluşturmaktadır. Sulanabilir tarım arazisinin %70'i sulama potansiyeline sahip olmasına rağmen, fiilen sulanan alan yaklaşık 142.000 ha'dır. 2002 yılında sulanan tarım alanlarının yalnızca %11'inde basınçlı sulama sistemi bulunurken, bu oran 2023 yılı itibarıyla %95'e yükselmiştir. İlde sulama amaçlı başlıca barajlar Gödet (158 milyon m³), İbrala (134 milyon m³), Ayrancı (31 milyon m³) ve Deliçay (26 milyon m³) barajlarıdır. Başlıca akarsular ise Göksu, İbrala Deresi, Gödet Deresi, Çevlik Deresi ve Ermenek Çayıdır. Karaman'da kullanılabilir yer altı suyu miktarı yıllık yaklaşık 244 milyon m³ olarak hesaplanmıştır. Bu su kaynakları ile kooperatifler yaklaşık 34.000 ha alanı, şahıslar ise 7.850 ha alanı sulamaktadır (Anonim, 2023).

Çalışma, Karaman ilinin farklı bölgelerinden yer altı ve yer üstü sulama sularını temsil eden 30 adet su örneği üzerinde yürütülmüştür (Şekil 1 ve 2). Toplanan örneklerin 12'si akarsulardan, 6'sı baraj veya göletlerden ve 12'si derin kuyulardan alınmıştır (Çizelge 1). Su örnekleri, yaz döneminde derin kuyulardan pompa bir süre çalıştırdıktan sonra; baraj ve göletlerden suyun çıkış noktalarından, akarsulardan ise durgun olmayan akıntı bölgelerinden plastik şişelere alınmış, her örnek uygun şekilde etiketlenmiş (örneklerin alındığı noktanın koordinatları, konumu ve tarih) ve gerekli analizlerin yapılması için laboratuvara getirilmiştir.



Şekil 1. Karaman ilinin Türkiye haritası üzerindeki konumu.



Şekil 2. Karaman ilinden su örneklerinin alındığı noktaların harita üzerindeki görünümü.

Çizelge 1. Karaman ilinde su örneklerinin alındığı su kaynaklarına ait bilgiler.

Örnek No.	İlçe	Köy/Mevki	Su Kaynağı	Koordinat
1	Ayrancı	Merkez	Baraj/gölet	N37°20'1.6"E33°43'29.88"
2	Başayla	Serper	Akarsu	N36°41'47.58"E32°46'2.37"
3	Merkez	Burunoba	Derin kuyu	N37°26'58.78"E33°20'3.7"
4	Sarıveliler	Çevlik	Baraj/gölet	N36°45'42.06"E32°34'30.31"
5	Merkez	Dereköy	Baraj/gölet	N37°6'47.14"E33°16'39.67"
6	Merkez	Eminler	Derin kuyu	N37°19'14.17"E33°7'30.43"
7	Ermenek	Merkez	Baraj/gölet	N36°36'10.93"E32°52'32.3"
8	Ermenek	Çamlıca	Akarsu	N36°37'8.08"E33°1'27.84"
9	Ermenek	Evsin	Akarsu	N36°35'40.32"E33°7'3.69"
10	Ermenek	Tepebaşı	Akarsu	N36°40'14.37"E32°43'33.23"
11	Ermenek	Göksu nehri	Akarsu	N36°57'5.83"E32°59'57.88"
12	Merkez	Göztepe	Derin kuyu	N37°16'28.3"E33°12'15.81"
13	Kazımkarabekir	Merkez	Derin kuyu	N37°14'28.48"E32°58'3.87"
14	Merkez	Kisecik	Derin kuyu	N37°22'11.29"E33°1'28.52"
15	Merkez	Kurtderesi	Baraj/gölet	N37°7'44.07"E33°10'16.97"
16	Merkez	Lale	Derin kuyu	N37°0'4.83"E33°18'42.17"
17	Merkez	Lale	Akarsu	N37°0'4.45"E33°18'38.72"
18	Merkez	Madenşehir	Derin kuyu	N37°1'50.39"E33°4'26.56"
19	Merkez	Medreselik	Akarsu	N36°56'37.97"E33°16'25.89"
20	Merkez	Mesudiye	Derin kuyu	N37°14'43.79"E33°4'37.4"
21	Merkez	Narlıdere	Akarsu	N37°2'2.01"E33°4'42.32"
22	Merkez	Pınarbaşı	Derin kuyu	N37°6'3.59"E33°3'30.42"
23	Sarıveliler	Merkez	Akarsu	N36°42'24.45"E32°35'24.81"
24	Merkez	Taşkale	Akarsu	N37°8'15.56"E33°36'11.88"
25	Merkez	Yeşildere	Baraj/gölet	N37°11'14.99"E33°24'39.26"
26	Merkez	Yeşildere	Derin kuyu	N37°15'13.33"E33°22'41.24"
27	Merkez	Yeşildere	Akarsu	N37°9'2.46"E33°28'50.4"
28	Merkez	Yollarbaşı	Derin kuyu	N37°8'12.98"E33°2'27.34"
29	Merkez	Zengen	Derin kuyu	N37°5'53.15"E33°21'8.36"
30	Merkez	Zengen	Akarsu	N37°5'55.96"E33°21'10.12"

Toplanan su örneklerinde EC, pH, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, K⁺, CO₃²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, B ve SO₄²⁻ ölçümleri yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına dayanarak TÇK, TS, SAR, RSC, ÇSY, KI, GI, MO ve PT gibi sulama suyu kalitesini değerlendirmede kullanılan kimyasal indeksler hesaplanmıştır.

Karbonat, HCO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄²⁻ iyonlarının analizleri, ABD Tuzluluk Laboratuvarı'nın belirlediği esaslara göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre, CO₃²⁻ ve HCO₃⁻ iyonları sülfürik asit (H₂SO₄) ile, Cl⁻ iyonu ise gümüş nitrat (AgNO₃) ile titrasyon yöntemiyle belirlenmiştir. Sülfat iyonu ise baryum sülfat (BaSO₄) şeklinde çöktürülerek analiz edilmiştir (Richards, 1954). Kalsiyum, Na⁺, Mg²⁺, K⁺ ve B iyon konsantrasyonları ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry) cihazı ile ölçülmüştür. pH değeri pH metre ile, EC ise iletkenlik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Alkalilik (A), CO₃²⁻ ve HCO₃⁻ iyonlarının meq/L cinsinden toplamı olarak kabul edilmiştir (Locke, 2009). Toplam çözünmüş katılar, TS, SAR, ÇSY, RSC, KI, GI, MO ve PT hesaplamaları 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 nolu eşitliklere göre yapılmıştır. Söz konusu eşitliklerde iyonların konsantrasyonları TÇK ve TS için mg/L olarak, SAR, ÇSY, RSC, KI, GI, MO ve PT için ise meq/L cinsinden alınmıştır.

$$TÇK(mg/L) = 0.64 * EC(\mu S/cm) \quad (\text{Rawat ve ark., 2018}) \quad (1)$$

$$TS(mg/L CaCO_3) = (2.5 * Ca^{2+}) * (4.12 * Mg^{2+}) \quad (\text{Brunton, 2011}) \quad (2)$$

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (\text{Richards, 1954}) \quad (3)$$

$$\text{ÇYS}(\%) = \frac{Na^+}{Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+} * 100 \quad (\text{Ramesh \& Elango, 2012}) \quad (4)$$

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (\text{Rawat ve ark., 2018}) \quad (5)$$

$$KI = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (\text{Ramesh \& Elango, 2012}) \quad (6)$$

$$GI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+} * 100 \quad (\text{Rawat ve ark., 2018}) \quad (7)$$

$$MO(\%) = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} * 100 \quad (\text{Alobaidy ve ark., 2010}) \quad (8)$$

$$PT = Cl^- + 0.5 * SO_4^{2-} \quad (\text{Rawat ve ark., 2018}) \quad (9)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanından toplanan 30 adet su örneklerinin sulama suyu kimyasal analiz parametreleri Çizelge 2'de, hesaplanan sulama suyu kalite indeksleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. Karaman ilinde farklı lokasyon ve su kaynaklarından alınan sulama sularının kimyasal analiz parametreleri.

Örnek No	EC	pH	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	CO ₃ ²⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	B (mg/L)
1	327	7.29	4.79	2.34	0.72	0.27	0.00	3.24	0.67	4.21	0.14
2	599	7.57	5.02	3.74	0.35	0.02	0.00	6.60	1.20	1.33	0.12
3	1008	6.90	9.54	4.08	1.33	0.22	0.00	9.08	1.80	4.29	0.32
4	206	7.68	4.06	1.13	0.25	0.02	0.00	2.44	0.40	2.62	0.15
5	334	7.58	3.77	1.55	0.23	0.00	0.00	2.84	0.57	2.14	0.17
6	896	7.05	8.43	3.52	1.45	0.35	0.00	9.52	0.80	3.43	0.18
7	266	7.67	3.81	1.69	0.35	0.03	0.00	2.64	0.59	2.65	0.19
8	254	7.83	4.59	1.25	0.4	0.05	0.08	2.76	0.71	2.74	0.19
9	360	7.50	4.75	0.80	0.09	0.00	0.00	3.94	0.82	0.88	0.11
10	694	7.17	5.43	3.59	0.36	0.04	0.00	7.52	1.06	0.84	0.14
11	642	7.33	4.89	3.18	0.69	0.02	0.00	6.58	1.31	0.89	0.28
12	485	7.29	9.02	2.75	0.91	0.76	0.00	4.42	1.00	8.02	0.33

Çizelge 2. Karaman ilinde farklı lokasyon ve su kaynaklarından alınan sulama sularının kimyasal analiz parametreleri (devamı).

13	666	7.14	7.10	2.67	0.78	0.14	0.00	5.84	0.98	3.87	0.28
14	704	7.32	14.64	5.82	2.62	1.92	0.00	5.96	0.94	18.10	1.27
15	299	7.31	4.78	2.04	0.57	0.46	0.00	2.42	0.96	4.47	0.15
16	348	7.11	11.16	2.83	1.1	1.31	0.00	3.64	0.55	12.21	0.69
17	432	7.76	5.85	1.48	0.33	0.02	0.16	4.20	0.62	2.70	0.18
18	187	7.84	5.59	1.86	0.78	0.54	0.20	1.96	0.51	6.10	0.24
19	307	7.52	4.45	1.15	0.14	0.00	0.00	3.34	0.71	1.69	0.13
20	662	7.08	7.00	2.53	0.61	0.03	0.00	6.52	0.60	3.05	0.23
21	668	7.43	6.44	1.59	0.29	0.00	0.00	5.88	0.72	1.72	0.13
22	531	6.99	7.09	1.88	0.62	0.22	0.00	5.84	0.56	3.41	0.09
23	293	7.47	4.28	0.66	0.07	0.00	0.00	3.26	0.80	0.95	0.10
24	352	7.49	4.86	0.91	0.11	0.00	0.00	3.80	0.78	1.30	0.11
25	255	7.40	3.34	1.66	0.21	0.01	0.00	2.62	0.52	2.08	0.15
26	538	7.31	5.76	2.47	0.27	0.01	0.00	5.12	0.76	2.63	0.15
27	613	7.28	6.00	2.51	0.63	0.07	0.00	5.42	1.01	2.78	0.25
28	292	7.61	5.35	2.25	0.83	0.17	0.00	3.22	0.56	4.82	0.21
29	720	7.35	11.05	3.60	1.12	1.01	0.00	7.68	1.20	7.90	0.44
30	516	7.06	5.83	2.06	0.36	0.02	0.00	5.08	0.68	2.51	0.17
Min.	187	6.90	3.34	0.66	0.07	0.00	0.00	1.96	0.40	0.84	0.09
Mak.	1008	7.84	14.64	5.82	2.62	1.92	0.20	9.52	1.80	18.10	1.27
Ort.	481	7.38	6.29	2.32	0.62	0.26	0.01	4.78	0.81	3.88	0.24

B: bor; Ca²⁺: Kalsiyum; Cl⁻: Klor; CO₃²⁻: Karbonat; EC: Elektriksel İletkenlik; HCO₃⁻: Bikarbonat; K⁺: Potasyum; Mg²⁺: Magnezyum; Na⁺: Sodyum; SO₄²⁻: Sülfat

Çizelge 3. Karaman ilinde farklı lokasyon ve su kaynaklarından alınan sulama sularının hesaplanan kalite indeksleri.

Örnek No	Sınıfı	A (meq/L)	TÇK (mg/L)	TS (mg/L)	SAR	RSC	ÇSY (%)	MO (%)	KI	GI	PT (meq/L)
1	C ₂ S ₁	3.24	209	355	0.38	-3.89	8.87	33	0.10	31	2.78
2	C ₂ S ₁	6.60	383	436	0.17	-2.16	3.83	43	0.04	32	1.87
3	C ₂ S ₁	9.08	645	679	0.51	-4.54	8.77	30	0.10	29	3.95
4	C ₂ S ₁	2.44	132	259	0.16	-2.75	4.58	22	0.05	33	1.71
5	C ₂ S ₁	2.84	214	265	0.14	-2.48	4.14	29	0.04	35	1.64
6	C ₂ S ₁	9.52	573	596	0.59	-2.43	10.55	29	0.12	33	2.52
7	C ₂ S ₁	2.64	170	274	0.21	-2.86	5.95	31	0.06	34	1.92
8	C ₂ S ₁	2.84	163	291	0.23	-3.00	6.36	21	0.07	33	2.08
9	C ₂ S ₁	3.94	230	277	0.05	-1.61	1.60	14	0.02	37	1.26
10	C ₂ S ₁	7.52	444	449	0.17	-1.50	3.82	40	0.04	33	1.48
11	C ₂ S ₁	6.58	411	402	0.34	-1.49	7.86	39	0.09	37	1.76
12	C ₂ S ₁	4.42	310	587	0.38	-7.35	6.77	23	0.08	22	5.01
13	C ₂ S ₁	5.84	426	487	0.35	-3.93	7.30	27	0.08	30	2.92
14	C ₂ S ₁	5.96	451	1020	0.82	-14.50	10.48	28	0.13	20	9.99
15	C ₂ S ₁	2.42	191	340	0.31	-4.40	7.26	30	0.08	27	3.20
16	C ₂ S ₁	3.64	223	698	0.42	-10.35	6.71	20	0.08	18	6.66
17	C ₂ S ₁	4.36	276	366	0.17	-2.97	4.30	20	0.05	31	1.97
18	C ₁ S ₁	2.16	120	371	0.40	-5.29	8.89	25	0.10	25	3.56
19	C ₂ S ₁	3.34	196	279	0.08	-2.26	2.44	21	0.03	34	1.56
20	C ₂ S ₁	6.52	424	475	0.28	-3.01	6.00	27	0.06	31	2.13
21	C ₂ S ₁	5.88	428	401	0.14	-2.15	3.49	20	0.04	33	1.58
22	C ₂ S ₁	5.84	340	447	0.29	-3.13	6.32	21	0.07	31	2.27
23	C ₂ S ₁	3.26	188	247	0.04	-1.68	1.40	13	0.01	37	1.28
24	C ₂ S ₁	3.80	225	288	0.06	-1.97	1.87	16	0.02	35	1.43
25	C ₂ S ₁	2.62	163	249	0.13	-2.38	4.02	33	0.04	35	1.56
26	C ₂ S ₁	5.12	344	410	0.13	-3.11	3.17	30	0.03	30	2.08
27	C ₂ S ₁	5.42	392	424	0.31	-3.09	6.84	29	0.07	32	2.40
28	C ₂ S ₁	3.22	187	379	0.43	-4.38	9.65	30	0.11	31	2.97
29	C ₂ S ₁	7.68	461	730	0.41	-6.97	6.67	25	0.08	23	5.15
30	C ₂ S ₁	5.08	330	393	0.18	-2.81	4.35	26	0.05	32	1.94
Min.		2.16	120	247	0.04	-14.50	1.40	13	0.01	18	1.26
Mak.		9.52	645	1020	0.82	-1.49	10.55	43	0.13	37	9.99
Ort.		4.79	308	429	0.28	-3.81	5.81	27	0.06	31	2.75

A: alkalilik; RSC: bakiye sodyum karbonat; ÇSY: Çözünmüş sodyum yüzdesi; GI: Geçirgenlik İndeksi; KI: Kelly indeksi; MO: Magnezyum oranı; PT: Potansiyel tuzluluk; SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı; TÇK: Toplam çözünmüş katılar; TS: Toplam sertlik

3.1. Elektriksel İletkenlik (EC)

EC değeri 0-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan sular C_1 (çok düşük tuzluluk), 250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olanlar C_2 (düşük tuzluluk), 750-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arası C_3 (orta düzeyde tuzluluk), 2000-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olanlar C_4 (yüksek tuzluluk) ve 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ üzeri ise C_5 (çok yüksek tuzluluk) olarak tanımlanmaktadır (Richards, 1954). Bu sınıflamaya göre incelenen örneklerin %6.7'si C_1 , %86.6'sı C_2 ve %6.7'si C_3 kategorisinde yer almaktadır. Özellikle 3 ve 6 numaralı su örneklerinde diğerlerine kıyasla daha belirgin bir tuzluluk riski gözlenmiştir (Çizelge 2).

Burunoba'dan alınan 3 numaralı örnekte EC değeri 1008 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülürken, aynı bölgeye yakın konumda bulunan Madenşehir'deki (18 numaralı örnek) kuyudan alınan suyun EC değeri yalnızca 187 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak kaydedilmiştir (Çizelge 2). Bu farklılık, sulama suyu kalitesinin lokal düzeyde büyük değişiklikler gösterebileceğini ve üreticilerin kendi su kaynaklarını ayrı ayrı değerlendirmeleri gerektiğini ortaya koymaktadır. Uzun vadeli sulama uygulamalarında toprakta tuz birikiminin önüne geçmek amacıyla, genellikle C_1 ve C_2 sınıfındaki sulama sularının tercih edilmesi önerilmektedir. Çalışma kapsamında alınan örneklerin yaklaşık %93,3'ü, EC açısından tarımsal sulamada güvenle kullanılabilir niteliktedir. Geriye kalan %6,7'lik kısmın ise dikkatle ele alınması gerekmektedir.

Karaman iline yakın bölgelerde yürütülen çalışmalar incelendiğinde, Konya Ereğli'de sulama sularının C_3 - C_4 sınıfında olduğu (Okumuş, 2011), Konya Sarayönü Gözllü Tarım İşletmesi'nde C_3 sınıfında yer aldığı (Alpözen, 2017) ve Konya Çumra'da ise C_2S_1 - C_3S_1 seviyelerinde bulunduğu belirlenmiştir (Hasırcı, 2021). Bu sonuçlar, yer altı sulama sularındaki tuzluluk düzeylerinin bölgesel jeolojik yapı, su kullanım biçimleri ve iklim koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Yakın bölgelerin sulama sularına göre Karaman ilinin su kalitesi oldukça iyi seviyede bulunmuştur. Meyve ağaçları, sebzeler ve tarla bitkilerine göre tuzluluğa daha hassas olduklarından (Kotuby-Amacher ve ark., 2000) bölgede yoğun yetiştiriciliği yapılan elma üretiminde özellikle yeni tesis edilecek bahçelerde bazı bölgelerde suların EC değeri göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2. pH

Sulama suyunun pH değeri, suyun asidik ya da bazik özellikte olduğunu belirler. Bu bağlamda pH 7.0'ın altındaki değerler asidik, 7.0 olan nötr ve üzerindeki değerler bazik olarak değerlendirilir (Bozdağ, 2015). pH, yalnızca suyun kimyasal yapısını değil, aynı zamanda topraktaki birçok kimyasal reaksiyonu ve diğer parametrelerin davranışlarını da etkilemektedir. pH aralığı 6.0 ile 8.0 arasındaki sular, sulama suyu açısından ideal sınırlar içerisinde yer almaktadır. Ancak bu aralığın dışına çıkan pH seviyeleri, sulamaya bağlı tarımsal üretimde birtakım müdahaleleri ve düzeltici uygulamaları gerekli kılabilir (Bortolini ve ark., 2018). Karaman ilinin farklı noktalarından alınan su örnekleri pH değerlerine göre %6,7'si asidik özellik gösterirken, %6,7'ü bazik karakter taşımaktadır (Çizelge 2). Tüm sular sulama suyu kalitesi açısından ideal pH aralığında bulunmuştur.

Suyun pH seviyesi, özellikle bitki besin elementlerinin çözünürlüğünü ve bitkiler tarafından alınımını doğrudan etkileyen önemli bir göstergedir. Örneğin, aşırı asidik sulara (pH <6.0), demir, mangan, çinko gibi mikro elementlerin çözünürlüğü artarken, bu durum toksisite sorunlarına neden olabilir. Öte yandan, pH değeri 8.0'ın üzerine çıktığında ise fosfor, demir ve bazı mikro besinlerin bitki tarafından alınabilirliği azalır ve besin eksiklikleri ortaya çıkabilir (Chen & Barak, 1982). Bu nedenle, sulama suyunun pH değeri sadece su kalitesi açısından değil, aynı zamanda toprak verimliliği ve bitki gelişimi açısından da dikkatle değerlendirilmelidir.

3.3. Klor (Cl)

Sulama suyundaki Cl^- , <2 meq/L'nin altında olduğunda genellikle tüm bitkiler için güvenilir olduğu, 2.1-4.0 meq/L arasında olduğunda hassas bitkilerde zararlanma meydana getirdiği, 4.1-10 meq/L arasında olduğunda orta derece hassas bitkilerde zarar meydana getirdiğini, >10 meq/L olduğunda şiddetli problemlere neden olduğu bildirilmiştir (Pascale ve ark., 2013). Çoğu tek yıllık bitki ve kısa ömürlü çok yıllık bitkiler Cl^- 'a orta ila yüksek düzeyde tolerans gösterir. Ağaçlar, asmalar ve odunsu süs bitkileri ise Cl^- 'a duyarlıdır. Tüm örneklerde ölçülen Cl^- konsantrasyonları 2 meq/L'nin altında bulunmuş olup, bu değerler bitkisel üretim açısından herhangi bir toksik etki oluşturabilecek

seviyede değildir. Başka bir ifadeyle, incelenen tüm sular Cl⁻ içeriği bakımından güvenli sınırlar içerisinde değerlendirilmiştir. Çalışma alanından alınan tüm örnekler 1. sınıf sulama suyu kategorisine girmekte ve bitkisel üretim açısından herhangi bir sınırlama söz konusu değildir.

3.4. Bor (B)

Sulama suyundaki B konsantrasyonu <0,5 mg/L olduğunda tüm bitkilerde güvenle kullanılabilir iken 0,5-1,0 mg/L olduğunda çoğu ürün için kabul edilebilirken; hassas mahsullerde zarar riski oluşturabilir. Bu değerler 1,0-2,0 mg/L arasında olduğunda yarı toleranslı ürünler için kabul edilebilir düzeyler olurken; hassas mahsullerde ise genellikle bitki canlılığında azalmalara neden olabilir. Bu değerler >2,0 mg/L olduğunda sadece toleranslı bitkiler için uygundur. Ayrıca kireç bakımından zengin topraklarda yetiştirilen bitkiler, kireçsiz topraklarda yetiştirilen bitkilere göre daha fazla B toleransı gösterebilir (Pascale ve ark., 2013). Araştırma sahasından alınan sulama suyu örneklerinde B konsantrasyonları büyük oranda düşük seviyelerde bulunmuştur. İncelenen örneklerin %96,7'sinde B düzeyi 1 mg/L'nin altında ölçülmüş, yalnızca bir örnekte (%96,7; 14 numaralı örnek) bu eşik değer aşılmış ve 1,27 mg/L olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Bu değer, özellikle meyve ağaçları gibi B duyarlılığı yüksek bitkiler açısından toksik etki oluşturabilecek düzeydedir. Bu değerlendirmeye göre, Karaman ilinden alınan su örneklerinin bir örnek dışında (14 numaralı örnek) diğer sular B konsantrasyonu açısından birinci sınıf sulama suyu niteliğindedir.

3.5. Alkalilik (A)

Suyun pH değişimine karşı koyma kapasitesi olarak tanımlanan alkalilik (A), sudaki karbonat (CO₃²⁻) ve bikarbonat (HCO₃⁻) iyonlarının toplam miktarına bağlıdır ve genellikle HCO₃⁻ cinsinden ifade edilir (Locke, 2009). Çalışma alanından alınan su örneklerinde alkalilik değerleri 2.16 ile 9.52 meq/L arasında değişmiştir (Çizelge 3). Fertigasyon, sulama ile birlikte gübrelemenin aynı anda uygulanmasını sağlayan bir yöntem olup bu sistemlerde hedeflenen pH değeri genellikle 6.5 civarındadır. Etkili bir gübreleme için pH değerinin 6.5'in üzerinde olması durumunda düşürülmesi gerekir. Bu amaçla damla sulama kullanılan alanlarda sülfürik, nitrik ve fosforik asit en yaygın tercih edilen asitlerdir. Ancak yalnızca pH değeri, gerekli asit miktarının hesaplanması için yeterli bir kriter değildir. Başlangıç pH'sı düşük fakat A değeri yüksek olan bir suyun pH'sını belli bir değere düşürmek için gerekli olan asit miktarı başlangıç pH'sı yüksek fakat A değeri düşük bir suya göre daha fazla olabilir (Arguscontrols, 2009). Örneğin araştırma alanından alınan su örneklerinden pH'sı 6.90 olan 3 numaralı örnekte A değeri 9.08 meq/Liken, pH'sı 7.84 olan 18 numaralı örnekte 2.16 meq/L olarak ölçülmüştür (Çizelge 3). 3 nolu örneğin pH'sını düşürmek için gerekli asit miktarı 18 nolu örneğe göre 4 kat daha fazla olmaktadır.

3.6. Toplam Çözünmüş Katılar (TÇK)

TÇK, sulara çözülmüş halde bulunan mineral, tuz, metal, katyon ve anyonların toplamını ifade eder. EC, sudaki çözülmüş inorganik iyonlardan kaynaklanmakta olup, aynı zamanda TÇK düzeyinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Gholami & Srikantaswamy, 2009). TÇK değerine göre suların kalitesi; iyi (<450 mg/L), orta (450-2000 mg/L) ve tehlikeli (>2000 mg/L) şeklinde sınıflandırılmakta ve 450 mg/L'den daha düşük değerlere sahip sular tarımsal sulama için uygun kabul edilmektedir (Rawat ve ark., 2018). İncelenen 30 örneğin 26'sında (%86,7) TÇK değeri <450 mg/L iken, yalnızca 4 örnekte (%13,3) >450 mg/L olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Bu verilere göre Karaman ilinden alınan su örneklerinin yaklaşık %90'ı sulama suyu kalitesi bakımından iyi özelliktedir.

3.7. Toplam Sertlik (TS)

Sertlik genellikle kalsiyum karbonat (CaCO₃) eşdeğeri üzerinden ifade edilir. Suyun toplam sertliği, esas olarak Ca ve Mg'dan oluşan iki değerli katyonlardan kaynaklanır ve eşdeğer kalsiyum karbonat olarak ifade edilir. 1 mg/L Ca toplam sertlik eşdeğeri 2,5 mg/L iken, 1 mg/L Mg 4,12 mg/L'ye eşittir. Nemli iklim bölgelerinde sertlik ve alkalilik değerleri genellikle birbirine yakın olurken, kurak alanlarda sertlik düzeyleri çoğunlukla daha yüksek bulunur. Biyolojik açıdan değerlendirildiğinde, alkalilik çoğu zaman sertlikten daha kritik bir özellik olmasına karşın, içme ve sulama suyu

kullanımında sertlik pratik açıdan daha önemli kabul edilmektedir. Özellikle yüksek Ca^{2+} ve Mg^{2+} içeren sulara, alkaliliğin de yüksek olması durumunda, suyun ısıtılması ya da pH değerinin artmasıyla kireç çökmesi meydana gelmektedir (Boyd, 2015). Çalışma alanında incelenen sulama sularının TS değerleri $CaCO_3$ cinsinden 247-1020 mg/L arasında olup, ortalama 429 mg/L olarak tespit edilmiştir (Çizelge 3). Sulama suyundaki TS <50 mg/L olduğunda yumuşak, 50-75 mg/L arasında olduğunda orta derecede yumuşak, 75-150 arasında olduğunda hafif sert, 150-300 mg/L olduğunda sert ve >300 mg/L olduğunda çok sert sular olarak sınıflandırılmaktadır (Brunton, 2011). Çalışma alanından alınan suların TS değerleri değerlendirildiğinde, 10 örnek (%33) “sert” sınıfında, 20 örnek (%67) “çok sert” sınıfında yer almıştır. Schiavon & Moore (2021), sertliğe neden olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının aynı zamanda bitki besin elementi olduğunu, sulama suyu için ideal sertlik aralığının 50-150 mg/L olduğunu vurgulamıştır. Bu açıklamaya göre incelenen tüm sular ideal sertlik değerinin üzerinde olmuştur. Sulama sularında 300 mg/L'nin üzerindeki sertlik düzeyleri “çok sert” olarak değerlendirilmekte ve bu durumda hem yaprak yüzeyinde yanıklıklar hem de sulama sistemlerinde tıkanmalar görülebilmektedir. Xiao ve ark. (2023), sulama sularında yüksek Ca içeriği olduğunda fosfat iyonları (PO_4^{3-}) ile çözünmeyen bileşikler oluştuğunu ve bunun damla sulama sistemlerinde tıkanıklıklara yol açtığını bildirmiştir. Ayrıca bu etkinin, kullanılan fosforlu gübre türlerine bağlı olarak farklılık gösterebildiği belirtilmiştir.

3.8. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

SAR, sulardaki Na^+ iyonlarının Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarına göre oranını ifade eder. Richards (1954)'in sınıflandırmasına göre SAR <10 olan sular “mükemmel”, 10-18 arası “iyi”, 18-26 arası “şüpheli” ve >26 değerine sahip sular “uygun değil” olarak tanımlanmaktadır. Bu değerlere göre, Karaman bölgesinden alınan tüm örneklerin (%100) SAR değeri 10'un altında bulunmuş (Çizelge 3) ve dolayısıyla “mükemmel” sınıfta değerlendirilmiştir. SAR değeri yalnızca iyonik bileşim açısından değil, aynı zamanda sulama suyunun toprakta süzülme hızını belirlemesi bakımından da önemlidir. Bu nedenle düşük SAR değerleri sulama açısından daha avantajlıdır. Sulara Na^+ iyonunun fazlalığı, tarımsal açıdan önemli bir kalite göstergesi olup, aşırı sodyum varlığı toprak geçirgenliğini azaltarak alkali toprak koşullarının oluşmasına yol açabilmektedir (Alobaidy ve ark., 2010). Toprak bünyesinin de bu süreçte belirleyici bir faktör olduğu (Suarez ve ark., 2006) tarafından ortaya konmuştur. Yaptıkları çalışmada tınlı topraklarda SAR değeri 2 olduğunda geçirgenlik sorunlarının başladığı, killi topraklarda ise benzer problemlerin SAR değeri 4'e ulaştığında ortaya çıktığını bildirmişlerdir.

3.9. Bakiye Sodyum Karbonat (RSC)

RSC değeri, sulardaki CO_3^{2-} ve HCO_3^- toplamının Ca^{2+} ve Mg^{2+} toplamını aşması durumunda artış göstermekte ve bu durum suyun kalitesini düşürmektedir. CO_3^{2-} ve HCO_3^- düzeyleri yüksek olduğunda, bu iyonlar Ca^{2+} ve Mg^{2+} ile reaksiyona girerek çökeltir (kireç) oluşturur. Böyle bir durumda ÇSY ve SAR değerlerinde artış meydana gelir (Zhang, 2017). İncelenen sulama suyu örneklerinde RSC değerleri alınan 30 adet örneğin tamamında negatif değerler elde edilmiştir (Çizelge 3). RSC değeri 5'in üzerinde olan sular, bitki gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle sulama için uygun görülmemektedir. Genel değerlendirmelere göre, 2.5'in üzerindeki RSC değerleri tarımsal kullanım açısından riskli kabul edilirken, 1.25'in altındaki değerler güvenli kabul edilmektedir (Rawat ve ark., 2018). Buna göre, çalışma alanındaki tüm örneklerin RSC değerleri 1.25'in altında olduğundan, sulama açısından herhangi bir sorun taşımadığı ve “mükemmel” sınıfta değerlendirildiği belirlenmiştir.

3.10. Çözünmüş Sodyum Yüzdesi (ÇSY)

ÇSY, yalnızca sulama sularının değil aynı zamanda toprakların sınıflandırılmasında da önemli bir parametredir. Na^+ iyonları CO_3^{2-} ile birleşerek alkali, Cl^- ile birleşerek ise tuzlu toprakların oluşumuna yol açar. Sulara Na^+ düzeyi yükseldiğinde, bu iyonlar değişim reaksiyonlarıyla Ca^{2+} ve Mg^{2+} 'u ortamdan uzaklaştırarak kil yüzeylerine bağlanır. Bunun sonucunda toprakta suyun hareket kabiliyeti azalır; hava ve su dolaşımı kısıtlanır. Kuruma sonrası ise bu tür topraklar sertleşme eğilimi gösterir (Barker ve ark., 2023). Bu nedenle “yumuşak sular sert toprak, sert sular ise yumuşak toprak” oluşturur ifadesi kullanılmaktadır. Sulama suları ÇSY değerine göre beş sınıfta değerlendirilmektedir: <%20 “mükemmel” (1. sınıf), %20-40 “iyi” (2. sınıf), %40-60 “izin verilebilir” (3. sınıf), %60-80

“şüpheli” (4. sınıf) ve $> \%80$ “uygun olmayan” (5. sınıf) (Ramesh & Elango, 2012). Karaman ilinde incelenen sulama suyu örneklerinde ÇSY değerleri $\%1.40$ (23 numaralı örnek) ile $\%10,55$ (6 numaralı örnek) arasında değişmektedir (Çizelge 3). Alınan 30 adet sulama suyu örneğinin tamamı ($\%100$) ÇSY $< \%20$ olup, “mükemmel” sınıfına girmektedir.

3.11. Magnezyum oranı (MO)

Tarımsal sularda su kalitesini belirlemede kullanılan önemli göstergelerden biri de MO değeridir. Yeraltı sularında Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları genellikle denge halindedir. Bu iki katyon, toprağın parçalanması ve agregat oluşum süreçlerinde kritik rol oynamaktadır. Ancak sularda Mg^{2+} derişiminin aşırı yüksek olması, toprakların alkalileşmesine neden olarak toprak yapısını bozarak ve ürün verimliliğini olumsuz yönde etkiler (Rawat ve ark., 2018). MO değerinin $\%50$ 'nin üzerinde olduğu sular tarımsal kullanım için elverişli kabul edilmemektedir (Alobaidy ve ark., 2010). Çalışma alanından alınan sulama sularında MO değerleri $\%13$ ile $\%43$ arasında değişim göstermiş olup (Çizelge 3), tüm örnekler ($\%100$) sulama amacıyla kullanıma uygun sular olarak sınıflandırılmıştır.

3.12. Kelly İndeksi (KI)

KI, Na^+ iyonunun Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarına oranına dayalı olarak geliştirilmiş bir parametre olup, sulama sularının kalite değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. KI değerinin 1'in üzerinde olması, suda aşırı Na^+ birikimine işaret etmekte ve böyle durumlarda alkali tehlikesi nedeniyle suyun sulama için uygun olmadığı kabul edilmektedir. Buna karşılık, $KI \leq 1$ olan sular güvenli bulunarak tarımsal kullanım için önerilmektedir (Ramesh & Elango, 2012). İncelenen sulama suyu örnekleri KI değerlerine göre tüm örneklerin ($\%100$) “tavsiye edilir” sınıfta yer aldığı (Çizelge 3) ve güvenle sulamada kullanılabileceği belirlenmiştir.

3.13. Geçirgenlik İndeksi (GI)

GI, sulama sularının tarımsal kullanım açısından değerlendirilmesinde kullanılan önemli parametrelerden biridir. Topraktaki suyun hareketliliği, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ve HCO_3^- iyonlarının etkisiyle değişmekte, özellikle tuzluluğu yüksek sulama sularının uzun süreli kullanımı geçirgenliği olumsuz yönde etkileyebilmektedir. GI değerleri üç sınıfta değerlendirilmektedir: Sınıf I ($> \%75$) “uygun”, Sınıf II ($\%25-75$) “iyi”, Sınıf III ($< \%25$) ise “uygun değil” olarak tanımlanmaktadır. Sulama amaçlı kullanımda genellikle Sınıf I ve II'de yer alan sular tercih edilmektedir (Rawat ve ark., 2018). Karaman ilinden alınan sulama sularının GI değerleri 30 su örneğinde 26 adet örnek ($\%86,6$) Sınıf II'de yer almış ve sulama açısından herhangi bir sorun oluşturmadığı belirlenmiştir. Buna karşın, 12, 14, 16 ve 29 numaralı dört adet örnek ($\%13,4$) ise Sınıf III'de değerlendirilmiş (Çizelge 3) ve bu nedenle sulama için uygun bulunmamıştır.

3.14. Potansiyel Tuzluluk (PT)

Tarımsal sulama sularının sınıflandırılmasında kullanılan önemli parametrelerden biri olan PT, sulama suyunun yalnızca çözülmüş tuz konsantrasyonuna bağlı olmadığını, düşük çözünürlüklü tuzların toprağa çökerek birikebileceğini ve yüksek çözünürlüklü tuzların ise toprağın EC seviyesini artırdığını ifade eder (Ogunfowokan ve ark., 2013). PT değeri 3 meq/L'nin altında olan sular sulama için uygun kabul edilmektedir (Rawat ve ark., 2018). İncelenen 30 adet örnekten 7'si yani $\%23,3$ 'ü (3, 12, 14, 15, 16, 18 ve 29 numaralı örnekler) sınır değerin (> 3 meq/L) üzerinde bulunmuştur. Kalan 23 adet örnek ($\%76,7$) ise 3 meq/L'nin altında ölçülmüş ve bu nedenle PT açısından herhangi bir sorun teşkil etmediği belirlenmiştir (Çizelge 3).

4. Sonuç

Bu çalışma bölge su kalitesine ilişkin ilk sistematik değerlendirmedir. Elde edilen sonuçlar, Karaman ilinde sürdürülebilir su yönetimi ve gübreleme stratejilerinin geliştirilmesi açısından temel veri sağlamaktadır. Bu sonuçlar, sulama yönetiminde dikkat edilmesi gereken parametreleri ortaya

koymaktadır. Karaman ilinde incelenen 30 adet sulama suyu örneğinde, pH değerlerinin büyük çoğunluğu bazik olmasına rağmen sulama açısından ideal aralıkta bulunmuştur. EC değeri açısından yalnızca iki su kaynağı hariç diğerlerinde tuz tehlikesi saptanmamıştır. TÇK ve GI yönünden yaklaşık büyük çoğunluğu uygun sulama suyu sınıfında iken, TS açısından tüm su kaynakları *sert* ve *çok sert* su sınıfında yer almıştır. SAR, RSC, ÇSY, KI, Cl⁻ ve MO değerleri ise normal aralıkta bulunmuştur. Bununla birlikte yalnızca bir örnekte B düzeyi, B'a hassas bitkiler için potansiyel toksik seviyededir. PT açısından örneklerin yaklaşık %80'inde sorun gözlenmemiştir.

Genel olarak, sulama sularındaki en önemli sorun TS olmuştur. Bu öncelikli sorunları, TÇK ve GI, ardından EC ve B izlemiştir. pH değerleri kritik seviyede olmasa da daha etkili bir gübreleme ve sulama sistemi ömrünün uzatılması için fertigasyonda pH'ın 6.5'e düşürülmesi gerekmektedir. Uygulanacak asit miktarını belirlemede suyun alkalilik değeri temel kriterdir. Bu nedenle her üretici sulama suyunda hedef pH'a ulaşmak için ön testler yapmalıdır.

Sert ve çok sert sular, pestisitler ve besin elementleri ile reaksiyona girerek etkinliği azaltabileceğinden, bu özellikteki suların yapraktan uygulamalarda kullanımı önerilmemektedir. Toprakta yapılan gübrelemede ise özellikle fosforlu gübrelerin kullanımında dikkat edilmelidir. EC değerine göre, bazı su kaynaklarında potansiyel tuzluluk (PT) sorunları ortaya çıkabilir; düşük çözünürlüklü tuzlar zamanla problem yaratabileceği için drenajı yetersiz alanlarda dikkatli olunmalıdır. Ayrıca, birbirine yakın alanlarda su kalitesi önemli ölçüde farklılık gösterebileceğinden, her üreticinin kendi su kaynağının kalite özelliklerini bilmesi, bilinçli tarım uygulamaları açısından kritik öneme sahiptir. Elde edilen sonuçlar, Karaman ilinde sürdürülebilir su yönetimi ve gübreleme stratejilerinin geliştirilmesi açısından temel veri sağlamaktadır

Teşekkür / Destekleyen Kuruluş

Bu çalışmayı 07-YL-23 numaralı proje ile destekleyen Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kongre ve/veya Tez Beyanı

Bu çalışma, Hamza GENCER'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Yazarların Katkı Oranı Beyanı (Zorunlu)

Hamza GENCER: Kaynak/Malzeme/Alet Temini, Araştırma, Taslak Yazımı, Gözden Geçirme ve Düzenleme.

Kadir UÇGUN: Kuram/Teori Oluşturma, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Analizi, Özgün Taslak Yazımı, Gözden Geçirme ve Düzenleme, Denetim/Gözlem/Danışmanlık.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı (Zorunlu)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında araştırma ve yayın etiğine uyduklarını beyan eder(ler): [YÖK Bilimsel Araştırma ve Etik Yönetmeliği \(yok.gov.tr\)](http://yok.gov.tr), [Helsinki Deklarasyonu](#), [Committee on Publication Ethics \(COPE\)](#), [WAME](#).

Etik Kurul Beyanı

Bu makalenin yazarları çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

Yapay Zeka Kullanımı

Dergimiz, akademik ve bilimsel literatürde üretici yapay zeka kullanımı ve bilimsel araştırma yazılarında yapay zeka yazarlığının belirtilmesi konusunda Committee on Publication Ethics (COPE) tarafından belirlenen tavsiyelere uymaktadır.

Yazar(lar), bu makalenin yazımında, görsellerin, grafiklerin, tabloların ya da bunlara karşılık gelen başlıkların oluşturulmasında herhangi bir tür üretken yapay zeka kullanmadıklarını beyan eder(ler).

Kaynakça

- Alobaidy, A. H. M. J., Al-Sameraiy, M. A., Kadhem, A. J., & Majeed, A. A. (2010). Evaluation of treated municipal wastewater quality for irrigation. *Journal of Environmental Protection*, 1(3), 216–225. <https://doi.org/10.4236/jep.2010.13026>
- Alpözen, C. M. (2017). Konya-Sarayönü Gözlü Tarım İşletmesi Müdürlüğüne ait sulu ziraat alanlarındaki su kaynaklarının sulama suyu kalitesi yönünden değerlendirilmesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü Konya, Türkiye*.
- Altın, R., & Sönmez, S. (2020). Muğla-Dalaman yöresi sulama sularının sulama suyu kalitelerinin belirlenmesi ve mevsimsel değişiminin incelenmesi. *Derim*, 37(1), 18-26. <https://doi.org/10.16882/derim.2020.613100>
- Anonim. (2023). *Tarımsal Yapı ve Çalışmalar*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Karaman İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. <https://karaman.tarimorman.gov.tr>
- Arguscontrols. (2009). *Argus Nutrient Dosing Handbook*. Argus Control Systems Limited.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage paper No. 29. Rev I*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Barker, B., Cardon, G., Yost, M., Stock, M., Creech, E., & Gale, J. (2023). *Managing Saline and Sodic Soils and Irrigation Water*. Utah State University Extension. https://extension.usu.edu/irrigation/research/managing-saline-odicsoils?utm_source
- Bortolini, L., Maucieri, C., & Borin, M. (2018). A tool for the evaluation of irrigation water quality in the arid and semi-arid regions. *Agronomy*, 8(2), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy8020023>
- Boyd, C. E. (2015). Total Hardness. In *Water Quality* (pp. 179–187). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4_9
- Bozdağ, A. (2015). Combining AHP with GIS for assessment of irrigation water quality in Çumra irrigation district (Konya), Central Anatolia, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 73(12), 8217–8236. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3972-4>
- Brunton, V. (2011). *Irrigation water quality*. NSW Department of Primary Industries. <https://doi.org/10.1017/9781009049610.007>
- Chen, Y., & Barak, P. (1982). Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Advances in Agronomy*, 35, 217–240.
- Demir, S., & Hepdeniz, K. (2018). Isparta Ovasında (GB-Türkiye) sulama suyu kalitesinin istatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 70(70), 109–122. <https://doi.org/10.17211/tcd.397876>
- Doğan, S. E. (2019). *Antalya Merkez ve Kumluca ilçesinde sera sulama suyu kalitesinin mevsimsel değişiminin belirlenmesi ve damla sulama ile gübreleme üzerine etkilerinin değerlendirilmesi*. Akdeniz Üniversitesi.
- Gholami, S., & Srikantaswamy, S. (2009). Analysis of agricultural impact on the Cauvery River water around KRS Dam. *World Applied Sciences Journal*, 6(8), 1157–1169.
- Hasırcı, O. S. (2021). Konya ili Çumra ilçesinde yeraltı su kaynaklarının sulama suyu kalitelerinin değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi.
- Kıy, M. Ş. (2019). *Çorum ili ovasaray bölgesinin yeraltısuyu kalitesinin kullanılabilirliğinin belirlenmesi*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Kotuby-Amacher, J., Koenig, R., & Kitchen, B. (2000). Salinity and plant tolerance. Utah State University Electronic Publishing. Erişim Tarihi: 30.01.2024. https://digitalcommons.usu.edu/extension_histall/43
- Locke, D. B. (2009). *Alkalinity: An important parameter in assessing water chemistry*. Maine Geologic Facts and Localities. https://digitalmaine.com/mgs_publications/431

- Ogunfowokan, A. O., Obisanya, J. F., & Ogunkoya, O. O. (2013). Salinity and sodium hazards of three streams of different agricultural land use systems in Ile-Ife, Nigeria. *Applied Water Science*, 3(1), 19–28. <https://doi.org/10.1007/s13201-012-0053-2>
- Okumuş, Ş. (2011). *Konya-Ereğli ivriz sağ sahil sulama birliğine ait yer altı su kaynaklarının sulama suyu kalitesi yönünden değerlendirilmesi*. Selçuk Üniversitesi.
- Pascale, S. D., Orsini, F., & Alberto, P. (2013). Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas. In *FAO Plant Production and Protection Paper No. 217* (pp. 169–204).
- Ramesh, K., & Elango, L. (2012). Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(6), 3887–3899. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2231-3>
- Rawat, K. S., Singh, S. K., & Gautam, S. K. (2018). Assessment of groundwater quality for irrigation use: a peninsular case study. *Applied Water Science*, 8(8), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0866-8>
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Soil and Water Conservation Research Branch, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.
- Schiavon, M., & Moore, K. K. (2021). How to properly read your irrigation water analysis for turf and landscape: ENH1352/EP616, 12/2021. *EDIS*, 2021(6), 1–3. <https://doi.org/10.32473/edis-ep616-2021>
- Suarez, D. L., Wood, J. D., & Lesch, S. M. (2006). Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agricultural Water Management*, 86(1–2), 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.07.010>
- Topçu, E. (2016). *Çanakkale – Biga ovası yeraltı su kalitesinin sulama suyu açısından değerlendirilmesi*. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.
- Xiao, Y., Ma, C., Li, M., Zhangzhong, L., Song, P., & Li, Y. (2023). Interaction and adaptation of phosphorus fertilizer and calcium ion in drip irrigation systems: the perspective of emitter clogging. *Agricultural Water Management*, 282(March), 108269. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108269>
- Zhang, H. (2017). *Classification of Irrigation Water Quality*. Oklahoma State University-Division of Agricultural Sciences and Natural Resources-Cooperative Extension Service. <http://dc.library.okstate.edu/cdm/singleitem/collection/AgCoop/id/667/rec/361>