



## Isparta Ovasında (GB-Türkiye) sulama suyu kalitesinin istatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi

### Assessment of irrigation water quality in Isparta Plain (SW- Turkey) using statistic and Geographic Information Systems

Selma Demer\*<sup>a</sup>  Kerem Hepdeniz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta.

<sup>b</sup> Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Burdur.

#### BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 23.02.2018

Kabul/Accepted: 15.05.2018

#### Anahtar Kelimeler:

Yeraltısuyu  
 Sulama suyu kalite parametreleri  
 Coğrafi Bilgi Sistemleri  
 Isparta Ovası

#### Keywords:

Groundwater  
 Irrigation water quality parameter  
 Geographic Information Systems  
 Isparta Plain

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(S. Demer) selmademer@sdu.edu.tr

DOI: 19.17211/tcd.397876

#### Atf/Citation:

Demer, S. ve Hepdeniz, K. (2018). Isparta Ovasında (GB-Türkiye) sulama suyu kalitesinin istatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (70), 109-122  
 DOI:19.17211/tcd.397876.

#### ÖZ / ABSTRACT

Bu çalışmada, Isparta Ovası'nda yeraltısularının tarımsal sulama için uygunluğu değerlendirilmiştir. Bu amaçla Isparta Ovası'nda sulama amacıyla kullanılan 21 adet yeraltısuyu kuyusundan örnek alınmıştır. Sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesinde EC, TDS değerleri ve SAR, % Na, SSP, RSC, MR, KI, PI, PS, TH gibi kimyasal indeks hesaplamaları yapılmıştır. Sulama suyu kriterlerine göre suların bir kısmı EC değerleri bakımından "izin verilebilir" sınıfta, ABD Tuzluluk diyagramı sınıflandırmasında yüksek tuzluluk/düşük sodyum sınıfı olan C3-S1 grubundadır. Diğer bir kısmı ise tuzluluk ve sodyum tehlikesi oluşturmadan tüm bitkiler için kullanılabilen, orta tuzlu C2-S1 grubu ve "iyi" sulama suları olarak sınıflandırılmaktadır. Tüm su örnekleri, TH değerlerine göre orta sertlikte suların çok sert sulara kadar değişen sertlik değerlerine sahiptir. Çalışma bölgesindeki sular, % Na ve SSP değerleri açısından "iyi" ile "mükemmel", SAR değeri açısından "mükemmel", PI değerleri açısından "iyi" kalitede özelliğe sahip sulama suları olarak belirlenmiştir. RSC, MR, KI, PS değerleri göz önünde bulundurulduğunda ise çalışma alanındaki suların tümünün sulama amacıyla kullanımı uygundur. Bununla birlikte, bu kimyasal indeks parametreleri sulama suyu kalite kriterleri temelinde Coğrafi Bilgi Sistemleri programında veri büyüklüklerine göre derecelendirilmiş semboller kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu değerlendirmelerde, bazı lokasyonlarda kimyasal indeks parametrelerinin farklılık gösterdiği ancak suların tümünün tarımsal amaçla kullanıma uygun niteliğe sahip yeraltısuları olduğu belirlenmiştir.

*In this study, the suitability of groundwater for agricultural irrigation in Isparta Plain was evaluated. For this purpose, samples were taken from 21 groundwater wells used for irrigation in agricultural areas in Isparta Plain. The EC, TDS values and chemical index calculations such as SAR, Na %, SSP, RSC, MR, KI, PI and PS were performed for the evaluation of irrigation water quality. According to the irrigation water criteria, the part of the water samples are in the "permissible" class for EC values and the high salinity/low sodium class, C3-S1 group, in the US Salinity diagram classification. The other part of the water samples are classified as the medium salinity C2-S1 group which can be used for all plants without the danger of salinity and sodium and as the "good" irrigation waters. All water samples have hardness values ranging from moderate water to very hard water according to TH values. The waters in the study region are determined as "good" to "excellent" in terms of Na % and SSP values, "excellent" in terms of SAR values, and "good" quality in terms of PI values for irrigation characteristics. All of the waters in the study area are suitable for irrigation purposes when considering the RSC, MR, KI, PS values. However, these chemical index parameters have been classified using scaled symbols according to the data sizes in the Geographic Information Systems program on the basis of irrigation water quality criteria. In these evaluations, it was determined that chemical index parameters have differed in some locations, but all of the waters are groundwater with suitable qualities for agricultural usage.*

## 1. Giriş

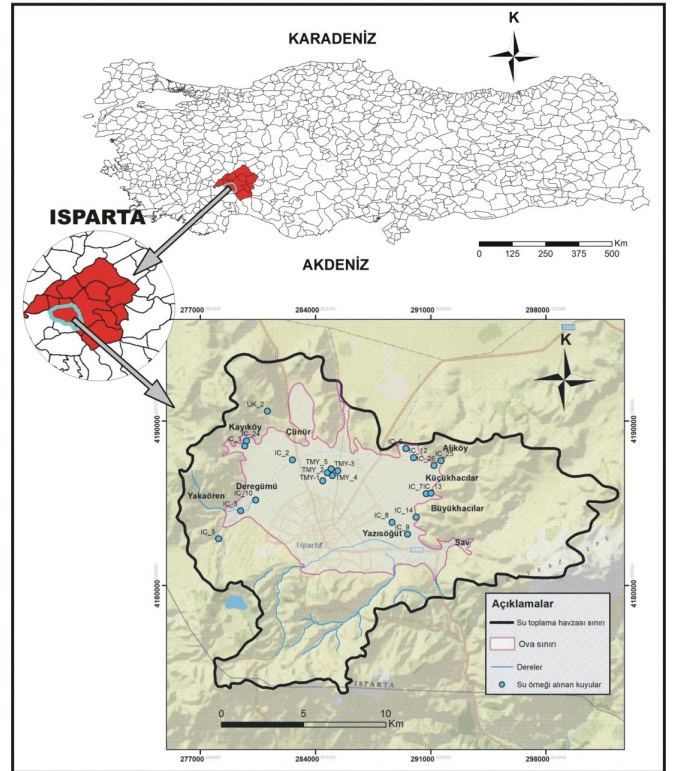
Yeraltısuyu kalitesi araştırmaları, suyun evsel, tarımsal ve endüstriyel amaçlar için uygunluğunu belirlemek için önemlidir. Uygun özelliklerde olmayan bir yeraltısuyu, insan sağlığını ve bitkilerin gelişimini olumsuz olarak etkileyebilir (Richards, 1954). Yeraltısularının içme ve sulama amaçlı kullanımını değerlendiren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Aghazadeh ve

Mogaddam, 2011; Ishaku vd., 2011; Srinivasamoorthy vd., 2014; Berhe vd., 2015; Al-Omran vd., 2017; Arslan, 2017). Sulama suyu kalitesinin belirlenmesinde elektriksel iletkenlik (EC: Electrical Conductivity), anyon ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), katyon ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) içeriği, grafik metotlar (Piper, ABD tuzluluk, Wilcox diyagramları gibi) ve çeşitli indisler [Sodyum Adsorbsiyon

Oranı (SAR: Sodium Adsorption Ratio), Artık Sodyum Karbonat (RSC: Residual Sodium Carbonate), sodyum yüzdesi (% Na: Sodium Percentage), Kelly indeksi (KI: Kelly Index), Magnezyum Oranı (MR: Magnesium Ratio), Permeabilite İndeksi (PI: Permeability Index), Toplam Sertlik (TH: Total Hardness), Potansiyel Tuzluluk (PS: Potential Salinity) gibi kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı yüzey ve yeraltı sularının sulama suyu olarak kullanımını değerlendirmede SAR, RSC, KI, PI, MR, PS ve % Na değerlerini kullanmışlardır (Arumugam ve Elangovan, 2009; Ishaku vd., 2012; Nag ve Ghosh, 2013; Wanda vd., 2013; Ağca, 2014; Narany vd., 2015; Vincy vd., 2015; Al-Omran vd., 2017). Sulama suyu kalite değerlendirmesi yapılırken, kalite indeksi parametrelerinin mekansal dağılımının haritalanması yararlı bir araç olarak önerilmiştir (Adhikary vd., 2012). Wanda vd. (2013) EC, % Na, KI, RSC, TDS, SAR ve PI parametrelerini kullanarak yeraltı suyunun sulamaya uygunluğunu değerlendirmişlerdir. Ağca (2014), Amik Ovası'nda yeraltı suyunun fizikokimyasal özelliklerinin mekansal değişkenliğini belirlemiş ve suların içme ve sulama için uygunluğunu araştırmıştır. Narany vd. (2015) İran Amol-Babol Ovası'nda yeraltı sularının sulama için uygunluğunu değerlendirmek için su kalitesi parametrelerini (EC, SAR, % Na, RSC, MR ve KI) ve jeostatistiksel yöntemleri kullanarak bu parametrelerin mekansal dağılımını belirlemişlerdir. Al-Omran vd. (2017), Suudi Arabistan Al-Kharj bölgesinde yaptıkları çalışmada, bölgedeki çoğu yeraltı suyunun yüksek tuzluluk nedeniyle içmeye uygun olmadığını, ancak bazı önlemler alınarak sulama amaçlı kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Arslan (2017), 1990 ve 2012 yıllarında alınan yeraltı suyu örneklerinin EC, SAR, RSC, KI, MR, % Na ve PS verilerini kullanarak yeraltı suyunun sulama suyu olarak uygunluğunu değerlendirmiştir.

Yeraltı suyu birçok ülkede hem kentsel hem de kırsal alanlarda su gereksinimini karşılayan ana kaynaktır. Isparta il merkezinde de evsel, endüstriyel ve tarımsal alanlardaki su ihtiyacını karşılamak için yeraltı sularından yararlanılmaktadır. Önemli bir tarım havzası görünümünde olup, su kaynakları ve su kalitesinin büyük öneme sahip olduğu Isparta Ovası'nın, ova alanı 88,76 km<sup>2</sup>, drenaj ağına bağlı olarak en yüksek kotlu noktalardan geçirilerek oluşturulan su toplama havzası 293,94 km<sup>2</sup>'dir (Şekil 1). 30° 28' 00"-30° 44' 30" doğu, 37° 41' 00"-37° 52' 00" kuzey koordinatlarında olan Isparta merkez ilçesi, Çünür mahallesi (daha önceden Çünür Köyü), Dereğümü Köyü, Kayıköy, Yakaören Köyü, Yazısöğüt Köyü, Alıköy, Büyük Hacılar Köyü, Küçük Hacılar Köyü ve Sav Kasabasını da içine almaktadır. Isparta Merkez ilçe nüfusu 2017 verilerine göre 230.011 olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2018). Çalışma alanı içinde bulunan merkeze bağlı köy ve belediyelerin nüfus bilgileri ise Tablo 1'de verilmiştir. Isparta Devlet Meteoroloji İstasyonu 1929-2016 yılları arasında aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış miktarı ortalama değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi en düşük sıcaklık Ocak ve Şubat aylarında, en yüksek sıcaklık ise Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmiştir (MGM, 2018).

Bu çalışmada, Mayıs-Ekim 2007 tarihlerinde Isparta Ovası'ndaki 21 adet yeraltı suyu kuyusundan alınan su örneklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla tarımsal sulamaya uygunluğu pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) ve toplam sertlik (TH), sodyum yüzdesi (% Na), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), kalıntı sodyum karbonat (RSC), permeabilite indeksi (PI), çözünebilir sodyum yüzdesi (SSP), magnezyum oranı (MR), Kelly oranı (KR), potansiyel tuzluluk (PS) gibi parametrelere göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, Mart



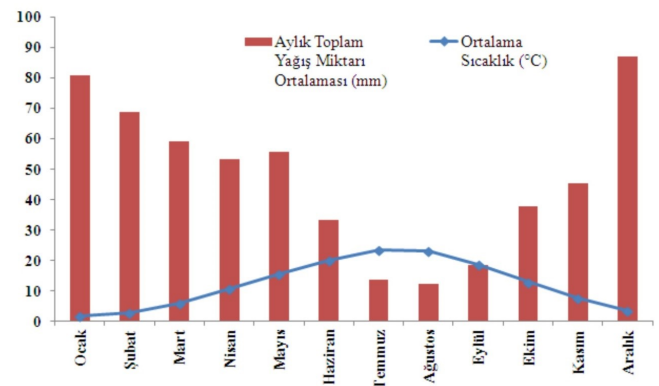
Şekil 1. Çalışma alanının yerbuldur haritası ve su örneği alınan kuyuların çalışma alanındaki dağılımları.

Figure 1. Location map of the study area and the distribution of the water sample wells.

Tablo 1. Isparta Merkez ilçesi'ne bağlı köy ve belediyelerin nüfus bilgileri (TÜİK, 2018).

Table 1. Population information of villages and municipalities Central District of Isparta (TÜİK, 2018).

Sıra no	Merkeze Bağlı Köy/Belediye adı	Nüfus
1	Çünür Mahallesi	13694
2	Dereğümü Köyü	2021
3	Kayıköy	707
4	Yakaören köyü	1787
5	Yazısöğüt köyü	470
6	Alıköy	1340
7	Büyük Hacılar Köyü	1118
8	Küçük Hacılar Köyü	1021
9	Sav Kasabası Belediyesi	3506



Şekil 2. Isparta Devlet Meteoroloji İstasyonu 1929-2016 yılları arası aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış miktarı ortalamasının grafiği..

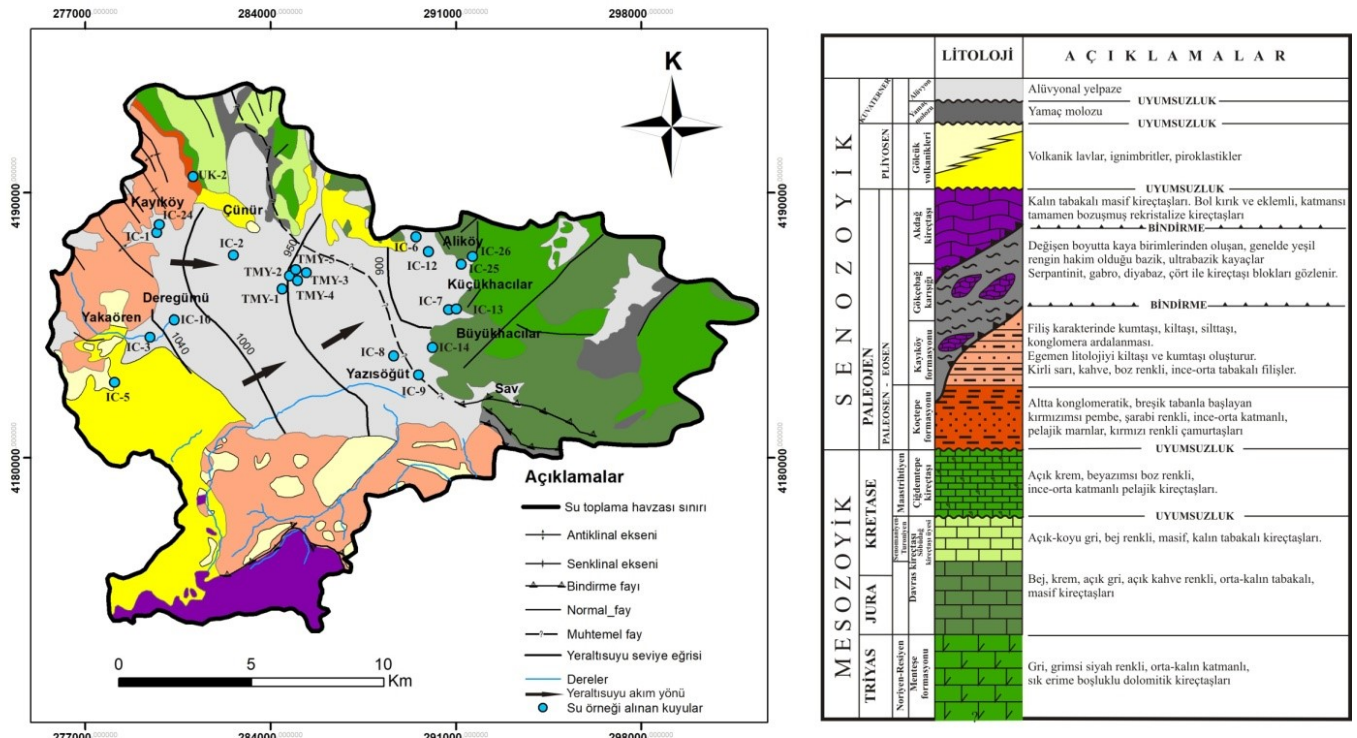
Figure 2. Diagram of monthly average temperature and monthly total rainfall average between 1929-2016 years according to Isparta State Meteorological Station.

2018'de çalışma alanı içinde seçilen 9 adet yeraltısuyu kuyusundan örnek alınarak, suların zaman içindeki değişimleri incelenmiştir.

Bölgede kireçtaşları ile temsil edilen Menteşe Formasyonu, Davraz Kireçtaşı ve Çiğdemtepe Kireçtaşı, filiş karakterinde litolojiye sahip olan Koçtepe Formasyonu ve Kayıköy Formasyonu otokton birimleri, Gökçebağ Karışığı ve Akdağ Kireçtaşı ise alloktan birimleri oluşturmaktadır. Tüm bu birimler Pliyo-Kuvaterner yaşlı Gölçük volkanikleri tarafından kesilmekte, Kuvaterner yaşlı piroklastik ürünler ve alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Piroklastikler, ignimbritler ve volkanik lavlardan oluşan Gölçük volkanikleri, Gölçük volkanizması ile şekillenmiştir. Gökçebağ Karışığı bazik-ultrabazik kayalar; Akdağ Kireçtaşı ise kalın tabakalı masif rekristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır (Karaman, 1990; Karaman vd., 1988; Yalçinkaya, 1989; Görmüş ve Özkul, 1995). Genel olarak filiş karakterinde gözlenen Kayıköy ve Koçtepe Formasyonları bünyelerinde bulundukları kilitaşı, silttaşı ve marn seviyelerinin akifer olabilme potansiyellerinin bulunmaması nedeniyle geçirimsiz birim özelliğindedir. Benzer şekilde serpantin, gabra, diyabaz, çört, radyolarit ve kireçtaşı bloklarının kuvvetli tektonizma ile karışması sonucu oluşan Gökçebağ karışığı da akifer özelliği taşımamaktadır. Çalışma alanında alüvyon, kireçtaşları ve volkanitler (özellikle tüfler) akifer özelliği taşıyan birimlerdir (İrleyici, 1993; Demir, 2008; Şekil 3). Isparta Ovası'nda yeraltısuyunun alındığı seviye genel olarak tuturulmamış kil, silt, kum, çakıl ve tüflerin oluşturduğu kırıntılı malzemelerden oluşan birim içinde kalmaktadır (Şekil 3). Ovanın doğu kesimlerinde yüzeyleyen kireçtaşlarının yakınında açılmış kuyularda ise (Aliköy, Küçükhacılar, Büyükhacılar civarı) 70 m civarında kireçtaşları kesilmiş olup yeraltısuyu kireçtaşlarından alınmaktadır (İrleyici, 1993; Karagüzel ve İrleyici, 1998).

## 2. Veri ve Yöntem

Bu çalışmada, 2006 ve 2007 yıllarında Isparta ili ve yakın çevresinde yapılan bir çalışmanın (Demir, 2008) Mayıs-Ekim 2007 dönemine ait analiz sonuçları kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal parametrelerin zamana bağlı değişimlerini kontrol etmek amacıyla Mart 2018'de çalışma alanı içinde seçilmiş 9 adet yeraltısuyu kuyusundan tekrar örnek alınmıştır. Yapılan değerlendirmelerde su kalitesi analiz verilerinden kalsiyum ( $Ca^{2+}$ ), magnezyum ( $Mg^{2+}$ ), sodyum ( $Na^+$ ), potasyum ( $K^+$ ), bikarbonat ( $HCO_3^-$ ), klorür ( $Cl^-$ ), sülfat ( $SO_4^{2-}$ ), nitrat ( $NO_3^-$ ), elektriksel iletkenlik (EC) ve pH parametreleri kullanılmıştır. Arazide örnek alımı, örneğin laboratuvara getirilmesi ve korunması standart metotlara (APHA-AWWA-WEF, 2005) uygun olarak yapılmıştır. Örnek alımında polipropilen örnek şişeleri kullanılmıştır. Katyon örneklerinin korunması amacıyla yüksek saflıkta  $HNO_3$  ilave edilerek pH<2 olması sağlanmış (Karataş vd., 2016), anyon analizi için alınan diğer örnek şişesine ise asit eklenmemiştir. Örnekler şişelendikten ve etiketlendikten sonra  $+4^{\circ}C$ 'de muhafaza edilecek laboratuvara getirilmiştir. Çalışma alanında alınan örneklerin hidrojeokimyasal analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Suların sıcaklık (T; Termometre-Testo-95-1), pH (pH metre-WTW pH 330i) ve elektriksel iletkenlik (EC; Elektriksel iletkenlik ölçer-WTW cond 330i) ölçümleri arazi çalışmaları sırasında taşınabilir cihazlarla,  $HCO_3^-$  ölçümleri titrasyon yöntemi (Merck-Aquamerck test kiti) ile yapılmıştır.  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  ve  $K^+$  ölçümleri laboratuvarında ICP-OES cihazı (Perkin Elmer ICP-OES 2100 DV) ile  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  ve  $NO_3^-$  ölçümleri ise spektrofotometre (Merck-Spectroquant Nova 60) ile yapılmıştır. Hidrojeokimyasal analiz konsantrasyonlarının gösterilmesinde mg/l yaygın olarak kullanılır. Ancak kimyasal analiz sonuçları değerlendirilirken iyonik yükü hesaba katmak için ekvalent cinsinden ifade edilir. Bir iyonun ekvalent ağırlığı,



Şekil 3. Çalışma alanının jeoloji haritası (Gutnic vd., 1979; Yalçinkaya vd., 1986; Yalçinkaya, 1989; Görmüş ve Özkul, 1995; Şenel, 1997; Poisson vd., 2003 ve Demir, 2008'den yararlanarak).

Figure 3. Geological map of the study area (from Gutnic vd., 1979; Yalçinkaya vd., 1986; Yalçinkaya, 1989; Görmüş ve Özkul, 1995; Şenel, 1997; Poisson vd., 2003; Demir, 2008).

moleküler ağırlığı iyon yüküne bölünerek elde edilir:

$$meq/l = \frac{mg/l \times iyonyükü}{moleküler ağırlık(g)}$$

Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi yapılırken mg/l birimi meq/l'ye çevrilmiştir. Analiz sonuçları için herhangi bir doğruluk ve kesinlik deneyleri yapılmamış olmakla beraber analiz edilen sulara ait yük-denge oranlarının %5'den az oluşu nedeniyle, sonuçlar güvenilir olarak kabul edilmiştir (Demir, 2008).

Yeraltısuyu hidrojeokimyasal analiz verilerinin tanımlayıcı istatistiksel analizleri MS Excel programı kullanılarak (ortalama, minimum, maksimum, ortanca, standart sapma, varyasyon katsayısı, çarpıklık ve basıklık) yapılmıştır. Sulama suları kimyasal indeks parametreleri hesaplanarak kalite kriterlerine göre Coğrafi Bilgi Sistemleri programında yeniden sınıflandırılmış ve elde edilen değerler büyüklüklerine göre derecelendirilmiş semboller kullanılarak gösterilmiştir. Su içindeki bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkisini belirlemek için ise korelasyon matrisi hazırlanmıştır.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Hidrojeokimyasal Verilerin İstatistiksel Değerlendirmesi

Çalışma alanından Mayıs ve Ekim 2007'de alınan örneklerin hidrojeokimyasal analizlerinin tanımlayıcı istatistiksel verileri Tablo 2 ve 3'de verilmiştir. Her iki dönemde de hesaplanan varyasyon katsayısı (CV) değerleri en yüksek parametre RSC (% 100,29 ve 101,40), en küçük parametre pH (% 2.53 ve 2.88)'tir (Tablo 2 ve 3). Genellikle  $CV < 10$  düşük değişkenlik,  $10 < CV < 100$  orta değişkenlik,  $CV > 100$  yüksek değişkenliği gösterir (Zhou vd., 2012; Ağca, 2014). Bu sınıflamaya göre suların pH değeri düşük değişkenlik, RSC değeri yüksek değişkenlik, diğer parametreler ise orta derecede değişkenlik göstermektedir. Düşük CV değerleri, parametrelerin homojen dağıldığını gösterirken, yüksek CV değerleri, homojen olmayan dağılımı gösterir (Ağca, 2014). Örneğin, her iki dönemde de pH'nın ortalama değeri, ortanca değerine oldukça yakındır. Diğer bir deyişle, pH aralığı diğer parametrelerin aralığından kadar geniş değildir.

Her iki dönem analiz sonuçları göz önüne alındığında katyonlar arasında  $K^+$  iyonu en küçük konsantrasyona (ortalama: 6.30 ve 7.05 mg/l),  $Ca^{2+}$  iyonu en yüksek konsantrasyona (ortalama: 106.75 ve 110.82 mg/l) sahiptir. Major katyon dizilimi  $Ca > Mg > Na > K$  şeklindedir. Anyonlar arasında ise  $HCO_3^-$  iyonu en yüksek değerde (ortalama: 364.74 ve 372.19 mg/l),  $Cl^-$  iyonu en küçük değerdedir (ortalama: 9.00 ve 9.10 mg/l). Major anyon dizilimi ise  $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$  olarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki suların major anyon ve katyonları Piper (1944) diyagramına yerleştirilmiştir (Şekil 4). Piper diyagramı, suyun iyonik bileşimine dayalı olarak farklı kaynaklardan gelen su türlerini sınıflandırmak için kullanılır. Hidrojeokimyasal gelişimlerine göre bölgedeki sular (1)  $Ca-HCO_3$  tip sular, (2)  $Ca-Mg-HCO_3$  tip sular ve (3)  $Ca-Na-HCO_3$  tip sular olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Yeraltısuyunun hidrojeokimyasal özellikleri, su ve akifer litolojisi arasında meydana gelen hidrojeokimyasal süreçlere (buharlaşma, ayrışma, çökeltme, iyon değişim prosesleri gibi) bağlıdır (Cederstorm, 1946; Appelo, 1996). Çalışma alanında kireçtaşlarını kesen kuyular (IC-6, IC-24, IC-25, ÜK-2 gibi)  $Ca-$

$Mg-HCO_3$  karakterine sahiptir. Ova içerisinde açılan kuyular ise genel olarak  $Ca-HCO_3$  tip sular iken, kesilen kalın tüf seviyeleri nedeniyle bazı kuyular  $Ca-Na-HCO_3$  özelliği sunmaktadır. Na'ca zengin silikat mineralleri (feldispat, plajyoklas gibi) yeraltısuyuna Na katkısı sağlarken, karbonat mineralleri Ca ve Mg artışına neden olmaktadır.

**Tablo 2.** Çalışma alanındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri ve sulama suyu parametrelerinin tanımlayıcı istatistiksel verileri (n=21) (Mayıs 2007).

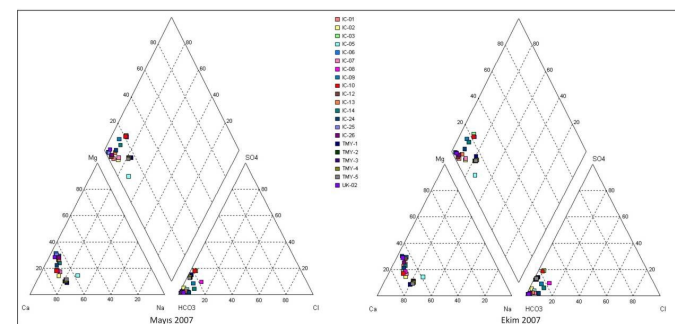
**Table 2.** Descriptive statistical data of hydrogeochemical features and irrigation water parameters of groundwaters in the study area (n=21) (May 2007).

Parametre	Maksimum	Minimum	Ortalama	Ortanca	Standart sapma (SD)	Varyasyon katsayısı (CV)	Çarpıklık	Basıklık
pH	7.68	6.85	7.43	7.45	0.21	2.88	-1.26	1.51
EC ( $\mu S/cm$ )	885.00	293.00	615.29	582.00	135.24	21.98	-0.21	0.56
TDS (mg/l)	566.40	187.52	393.78	372.48	86.55	21.98	-0.21	0.56
$Na^+$ (mg/l)	34.56	8.14	21.85	20.96	8.73	39.98	0.02	-1.32
$K^+$ (mg/l)	12.09	1.97	7.05	5.93	3.50	49.67	-0.07	-1.52
$Mg^{2+}$ (mg/l)	45.20	5.67	20.75	22.81	10.79	51.99	0.35	-0.46
$Ca^{2+}$ (mg/l)	162.40	37.18	110.82	115.70	30.38	27.42	-0.27	0.50
$HCO_3^-$ (mg/l)	530.70	158.60	372.19	353.80	99.37	26.70	-0.08	-0.47
$Cl^-$ (mg/l)	34.00	3.80	9.00	4.70	7.67	85.26	2.08	4.73
$SO_4^{2-}$ (mg/l)	86.00	5.00	23.81	12.00	23.63	99.23	1.34	1.42
$NO_3^-$ (mg/l)	57.00	4.40	18.86	12.30	14.91	79.08	1.53	1.58
TH (mg/l $CaCO_3$ )	591.51	116.18	362.08	371.94	111.72	30.85	-0.12	-0.09
% Na	31.33	4.36	14.74	12.95	7.82	53.02	0.61	-0.70
SAR (meq/l)	0.92	0.17	0.53	0.50	0.26	48.07	0.32	-1.27
RSC (meq/l)	0.28	-3.75	-1.15	-0.57	1.16	-101.40	-1.02	-0.11
PI (meq/l)	78.05	28.14	44.00	40.87	11.47	26.06	1.33	2.44
SSP (%)	26.96	3.76	12.42	10.24	6.62	53.30	0.69	-0.54
MR (%)	32.37	11.38	22.48	20.55	6.99	31.08	-0.12	-1.39
KR (meq/l)	0.39	0.04	0.15	0.12	0.10	63.64	0.95	0.02
PS (meq/l)	1.33	0.16	0.51	0.50	0.35	70.11	1.22	0.78

**Tablo 3.** Çalışma alanındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri ve sulama suyu parametrelerinin tanımlayıcı istatistiksel verileri (n=21) (Ekim 2007).

**Table 3.** Descriptive statistical data of hydrogeochemical features and irrigation water parameters of groundwaters in the study area (n=21) (October 2007).

Parametre	Maksimum	Minimum	Ortalama	Ortanca	Standart sapma (SD)	Varyasyon katsayısı (CV)	Çarpıklık	Basıklık
pH	7.68	6.94	7.40	7.43	0.19	2.53	-0.95	0.79
EC ( $\mu S/cm$ )	871.00	297.00	616.57	591.00	135.25	21.94	-0.37	0.44
TDS (mg/l)	557.44	190.08	394.61	378.24	86.56	21.94	-0.37	0.44
$Na^+$ (mg/l)	32.42	7.12	20.32	19.43	8.46	41.61	0.09	-1.36
$K^+$ (mg/l)	11.45	1.83	6.30	5.08	3.64	57.79	0.11	-1.74
$Mg^{2+}$ (mg/l)	41.05	6.08	19.42	20.67	10.25	52.75	0.39	-0.70
$Ca^{2+}$ (mg/l)	154.00	41.23	106.75	105.75	27.95	26.18	-0.20	0.15
$HCO_3^-$ (mg/l)	524.60	150.40	364.74	341.60	95.62	26.22	0.00	-0.09
$Cl^-$ (mg/l)	35.00	3.00	9.10	4.80	8.21	90.14	1.98	3.98
$SO_4^{2-}$ (mg/l)	85.00	5.00	23.76	17.00	23.47	98.77	1.28	1.26
$NO_3^-$ (mg/l)	54.10	4.40	17.30	11.00	13.68	79.09	1.32	1.01
TH (mg/l $CaCO_3$ )	553.46	127.98	346.50	349.38	104.42	30.14	-0.04	-0.47
% Na	29.39	3.69	14.28	12.39	7.87	55.08	0.55	-1.02
SAR (meq/l)	0.89	0.14	0.51	0.47	0.26	50.35	0.38	-1.30
RSC (meq/l)	0.15	-3.17	-1.05	-0.52	1.06	-100.29	-0.97	-0.38
PI (meq/l)	71.71	28.61	44.65	39.78	10.91	24.44	0.83	0.15
SSP (%)	25.80	3.20	12.11	9.82	6.61	54.54	0.64	-0.79
MR (%)	31.48	10.71	21.92	20.67	6.89	31.44	-0.10	-1.27
KR (meq/l)	0.37	0.03	0.15	0.11	0.10	64.40	0.84	-0.50
PS (meq/l)	1.35	0.17	0.50	0.48	0.36	72.34	1.17	0.49



**Şekil 4.** Çalışma alanındaki yeraltısularının Piper (1944) diyagramı.  
**Figure 4.** Piper (1944) diagram of groundwaters in the study area.

Ayrışma proseslerinde en etkili faktörlerden biri olan su, kayalık yapıda hem fiziksel hem de kimyasal olarak değişimlere neden olur. Bu ayrışma proseslerinde tuz ve karbonat türleri gibi bazı maddeler yıkanırken, yeni mineraller ve bileşikler oluş-



metrelerdir. Bu çalışmada sulama için su kalitesinin değerlendirilmesinde bu kimyasal indeks hesaplamalarına bağlı olarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Bu parametrelere ait hesaplamalar Tablo 5 ve 6'de ve kriterler Tablo 7'de sunulmuştur.

**Hidrojen iyonu aktivitesi (pH):** pH, suyun asidik ya da alkali olduğunu gösteren parametredir. Sulama suyunun pH değeri, asit yağmurları ve çeşitli kirleticileri de içeren birçok parametrenin bir fonksiyonu olarak değişebilir. pH değeri karbonat dengesini, ağır metal içeriğini ve azot bileşenlerinin nispi oranını etkiler ve bu da toprak kalitesini ve bitki büyümesini etkiler. Asitli sular, kalsiyum, magnezyum ve alüminyum bitkiler tarafından yeterince absorbe edilemez. Bazı sular ise, bitkilerin çeşitli metal ve besin maddeleri alımı için daha iyi bir ortam sağlar. Ancak bazı sular, suyun fiziksel yapısını etkileyen kalsiyum karbonat birikiminden sorumludur (Şimşek ve Gündüz, 2007). Ayers ve Westcot (1985) sulama suları için pH değerinin 6.5-8.4 arasında olduğunu belirtmişlerdir. Suların  $CO_3^{2-}$ 'ün bulunmaması da pH'nın esas olarak  $HCO_3^-$  hidrolizi ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Zhou vd., 2012). Çalışma alanındaki yeraltı sularının her iki dönemdeki pH değerleri 6.85 ile 7.68 arasında değişmekte olup, ortalama 7.41 değerine sahip zayıf alkali özellikte sulardır (Tablo 5 ve 6). Buna göre çalışma alanındaki yeraltı suları, pH değerlerine göre sulama amacıyla kullanıma uygun sulardır (Tablo 7).

**Elektriksel iletkenlik (EC):** Sulama suyu kalitesini belirleyen parametrelerden biri olan EC, suyun elektriği iletme derecesinin bir ölçüsüdür. Suyun elektriksel iletkenlik birimi  $\mu S/cm$  ( $=\mu mho/cm$ )'dir. EC, suyun çözünmüş madde içeriğine bağlı olarak artar. Tuzlu su, elektriği saf sudan daha çok iletir. Bu nedenle EC, tuzluluk ölçümünde yaygın olarak kullanılır (Richards, 1954). Çalışma alanındaki suların EC değerleri, Mayıs dönemi için 293-885  $\mu S/cm$  (ortalama: 615,29  $\mu S/cm$ ) arasında, Ekim dönemi için 297-871  $\mu S/cm$  (ortalama: 616,57  $\mu S/cm$ ) arasındadır (Tablo 5 ve 6). Wilcox (1955)'e göre IC-3, IC-8 ve IC-10 nolu örnekler "izin verilebilir" sınıfa girerken, diğer örnekler ise "iyi özellikte" sulama suları olarak sınıflandırılmaktadır (Tablo 7).

**Toplam çözünmüş madde miktarı (TDS):** Major iyonlardan gelen aşırı miktarda tuz olduğunda, bitkilerin ozmotik faaliyetlerini etkileyerek yeterli havalanmasına engel olmaktadır (Obiefuna ve Sheriff, 2011). TDS, Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanır (Catrol, 1962; Freeze ve Cherry, 1979):

$$TDS = 0.64EC \text{ (mg/l)} \quad (1)$$

Çalışma alanındaki suların tümü  $<1000$  mg/l TDS değerleri nedeniyle (Tablo 5 ve 6) tatlı su özelliğinde sular olarak sınıflandırılmaktadır (Tablo 7).

**Toplam sertlik (TH):** Sertlik, suların evsel, tarımsal ve endüstriyel kullanımında önemli bir kalite özelliğidir. Suların sertliği, içerisinde çözünmüş halde bulunan kalsiyum ve magnezyumun iyonlarından ileri gelir (Varol vd., 2005; Boysan ve Şengörür, 2009). Bu yüzden toplam sertlik Ca ve Mg iyon konsantrasyonlarının toplamı olarak tanımlanmaktadır. Sulardaki sertlik Alman, Fransız, Amerikan ve İngiliz sertlik dereceleriyle ölçülür. Ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olan sertlik derecesi Fransız sertlik derecesidir. 1 litre suda, 10 mg  $CaCO_3$ 'e eşdeğer kalsiyum ve magnezyum içeren suların sertliği 1 Fransız Sertlik Derecesi (1 Fr°) olarak tanımlanır (Eroğlu, 1984; Aydın ve Sezen 1995; Symons vd., 2000). Burada TH, Eşitlik 2 (Sawyer ve

McCarthy, 1967; Todd, 1980) kullanılarak mg/l  $CaCO_3$  olarak hesaplama yapılmıştır:

$$TH = 2.497Ca + 4.115Mg \text{ (mg/l } CaCO_3) \quad (2)$$

Çalışma alanındaki örneklerin TH değerleri 116.18 ile 591.51 mg/l  $CaCO_3$  arasında olup (ortalama: 354.29 mg/l  $CaCO_3$ ) orta sertlikte suların çok sert sulara kadar değişen sertlik değerlerine sahiptir (Tablo 5 ve 6). IC-5 örnek noktası "orta sertlikte su", IC-7, IC-13, TMY-1, TMY-2, TMY-3, TMY-4 ve TMY-5 örnek noktaları "sert su" ve diğer örnek noktaları ise "çok sert su" olarak sınıflandırılmaktadır (Tablo 7). Sulama suyu kalitesi açısından sert sular tercih edilir. Sert su yumuşak toprak, yumuşak su ise sert toprak oluşturmaktadır (Sağlam ve Adiloğlu 1997). Sert suların bitkiler için sorun oluşturmadığı genel olarak doğru kabul edilmektedir (Şimşek vd., 2017). Dolayısıyla, çalışma alanındaki suların TH değerleri bakımından sulama suyu olarak kullanımlarında sakınca yoktur.

**Sodyum yüzdesi (% Na):** % Na, suların tarımsal sulama için uygunluğunun belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Wilcox, 1955). Sulama suyundaki yüksek Na, kil parçacıkları tarafından absorbe edilerek Mg ve Ca iyonları ile yer değiştirir. Sudaki Na ile topraktaki Ca ve Mg'un yer değiştirme prosesi, geçirgenliği azaltır (Todd, 1980; Collins ve Jenkins 1996; Saleh vd., 1999). % Na değeri Eşitlik 3 ile hesaplanır (Wilcox, 1955; Todd, 1960):

$$\%Na = \frac{Na^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100 \quad (3)$$

Burada tüm iyonik konsantrasyonlar meq/l'dir. % Na değeri bakımından IC-5, TMY-1, TMY-2, TMY-3, TMY-4, TMY-5 nolu örnekler iyi (% 22.97-31.33), diğer örnekler ise mükemmel sulama suyu özelliğine sahip sular (% 3.69-16.31) olarak belirlenmiştir (Tablo 5-6 ve 7).

**Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR):** Toprak ve bitki üzerindeki etkileri nedeniyle Na, sulama suyu için önemli bir faktördür (Richards 1954). Na+ yüksekliği geçirgenliği azaltarak toprağın işlenmesini zorlaştırmakta, bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Todd, 1980; Todd ve Mays 2005; Berhe vd., 2015). Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), alkali/sodyum tehlikesini ölçtüğü için, yeraltı suyunun sulama suyu amacıyla kullanımının uygunluğunu belirleyen önemli bir parametredir (Subrahmani vd., 2005). SAR değeri aşağıdaki Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanır (Richards, 1954):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (4)$$

Formülde tüm iyonik konsantrasyonlar meq/l'dir. Çalışma alanında suların SAR değeri 0.14-0.92 arasında değerler vermiştir (Tablo 5 ve 6). Richards (1954) tarafından yapılan sınıflamaya göre (Tablo 7) bölgedeki sular SAR değeri bakımından çok iyi özellikte sulama suyu sınıfındadır. Sulama suyunun ABD Tuzluluk diyagramı (Richards, 1954) sınıflandırmasına dayanılarak, yeraltı suları için tuzluluk tehlikesi yüksek ile orta derece arasında sınıflandırılmıştır (Şekil 5). Su örneklerinin çoğu C2-S1 grubuna ait olup, orta tuzlu, tuzluluk tehlikesi içermeden ve sodyum tehlikesi oluşturmadan tüm bitkiler için kullanılabilen sular olarak sınıflandırılmıştır. IC-3, IC-8 ve IC-10 nolu sulama suları ise, yüksek tuzluluk/düşük sodyum sınıfı olan C3-S1 grubundadır. Yüksek tuzluluk sınıfında (C3) olan sular, düşük permeabilite ve yetersiz drenaj koşullarına sahip topraklarda,

**Tablo 5.** Çalışma alanındaki yeraltısularının sulama suyu kalite indisleri (Mayıs 2007).**Table 5.** Irrigation water quality indices of groundwater in the study area (May 2007).

Örnek no	pH	EC (µS/cm)	TDS (mg/l)	TH (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	% Na	SAR (meq/l)	RSC (meq/l)	PI (%)	SSP (%)	MR (%)	KR (meq/l)	PS (meq/l)
IC-1	7.01	720	460.80	419.36	11.62	0.46	-0.18	40.87	10.03	26.48	0.11	0.22
IC-2	7.26	665	425.60	355.98	16.31	0.62	-0.22	45.83	13.77	16.68	0.16	0.30
IC-3	7.33	885	566.40	456.93	12.95	0.50	-1.33	37.88	10.24	20.55	0.12	1.28
IC-5	7.41	293	187.52	116.18	31.33	0.85	0.28	78.05	26.96	20.10	0.39	0.18
IC-6	6.85	745	476.80	450.39	4.36	0.17	-0.31	35.30	3.76	32.37	0.04	0.16
IC-7	7.58	556	355.84	273.33	16.20	0.52	-0.36	49.36	13.28	20.05	0.16	0.38
IC-8	7.45	805	515.20	492.61	14.15	0.59	-3.75	33.90	11.46	20.17	0.13	1.33
IC-9	7.63	688	440.32	421.41	8.39	0.30	-2.13	34.62	6.77	31.46	0.07	0.82
IC-10	7.44	772	494.08	486.05	12.98	0.53	-2.92	34.65	10.40	20.18	0.12	1.04
IC-12	7.65	660	422.40	430.21	8.31	0.35	-0.42	38.45	7.73	28.56	0.08	0.18
IC-13	7.68	427	273.28	242.11	10.67	0.31	-0.94	46.20	8.97	27.72	0.10	0.24
IC-14	7.64	582	372.48	324.03	11.98	0.41	-1.38	41.46	9.92	26.43	0.11	0.70
IC-24	7.58	573	366.72	420.83	9.44	0.40	-2.61	34.91	8.75	24.30	0.10	0.50
IC-25	7.27	702	449.28	591.51	5.47	0.24	-3.33	28.14	4.58	31.46	0.05	0.18
IC-26	7.41	503	321.92	371.94	8.96	0.31	-1.81	37.03	7.40	30.39	0.08	0.17
TMY-1	7.58	505	323.20	240.68	26.05	0.92	-0.31	56.92	22.03	11.38	0.30	0.53
TMY-2	7.50	533	341.12	283.63	22.97	0.85	-0.48	52.19	19.33	12.50	0.25	0.55
TMY-3	7.52	552	353.28	269.99	23.89	0.87	-0.43	53.53	20.05	14.18	0.26	0.51
TMY-4	7.51	546	349.44	273.52	24.44	0.91	-0.57	53.32	20.78	13.01	0.27	0.51
TMY-5	7.42	581	371.84	269.07	24.35	0.89	-0.12	55.61	20.45	14.54	0.27	0.54
UK-2	7.20	628	401.92	413.99	4.80	0.18	-0.81	35.85	4.22	29.62	0.04	0.31

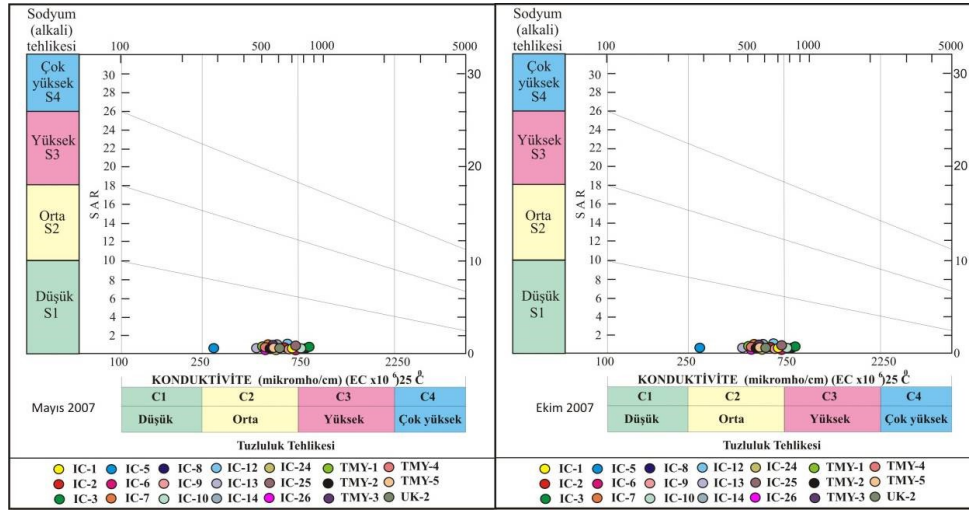
**Tablo 6.** Çalışma alanındaki yeraltısularının sulama suyu kalite indisleri (Ekim 2007).**Table 6.** Irrigation water quality indices of groundwater in the study area (October 2007).

Örnek no	pH	EC (µS/cm)	TDS (mg/l)	TH (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	% Na	SAR (meq/l)	RSC (meq/l)	PI (%)	SSP (%)	MR (%)	KR (meq/l)	PS (meq/l)
IC-1	7.11	723	462.72	428.57	9.44	0.38	-0.27	39.19	8.28	24.74	0.09	0.19
IC-2	7.31	660	422.40	327.19	15.83	0.58	-0.23	46.88	13.41	16.90	0.16	0.31
IC-3	7.27	871	557.44	442.47	12.39	0.47	-1.75	37.17	9.82	20.67	0.11	1.27
IC-5	7.37	297	190.08	127.98	29.39	0.83	0.15	71.71	25.80	19.57	0.37	0.18
IC-6	6.94	743	475.52	465.54	3.69	0.14	-0.71	33.72	3.20	31.30	0.03	0.17
IC-7	7.62	555	355.20	276.04	15.54	0.51	-0.52	48.42	12.94	19.19	0.15	0.37
IC-8	7.50	799	511.36	452.89	14.07	0.56	-3.15	35.33	11.29	20.67	0.13	1.35
IC-9	7.52	677	433.28	401.13	8.14	0.30	-2.02	35.31	6.77	31.48	0.07	0.84
IC-10	7.39	774	495.36	458.42	13.02	0.53	-2.76	35.53	10.69	18.90	0.12	1.05
IC-12	7.43	690	441.60	432.58	7.32	0.31	-0.35	37.87	6.80	30.22	0.07	0.17
IC-13	7.68	396	253.44	233.86	9.95	0.30	-0.68	47.87	8.80	26.48	0.10	0.23
IC-14	7.57	589	376.96	310.47	11.07	0.37	-1.21	42.13	9.38	25.37	0.11	0.81
IC-24	7.43	591	378.24	364.60	9.58	0.38	-2.29	36.95	8.99	23.34	0.10	0.55
IC-25	7.30	700	448.00	553.46	4.84	0.21	-3.17	28.61	4.30	30.53	0.05	0.19
IC-26	7.39	514	328.96	349.38	8.32	0.29	-1.38	38.59	7.03	27.31	0.08	0.20
TMY-1	7.50	503	321.92	269.87	23.08	0.82	-0.70	52.17	19.30	10.71	0.25	0.52
TMY-2	7.49	540	345.60	255.89	24.02	0.85	-0.48	57.50	20.08	14.19	0.26	0.48
TMY-3	7.62	549	351.36	248.01	25.10	0.88	-0.24	57.78	20.91	13.82	0.28	0.49
TMY-4	7.51	545	348.80	249.48	25.16	0.89	-0.01	57.00	21.17	13.03	0.28	0.51
TMY-5	7.42	578	369.92	250.27	24.84	0.88	-0.40	58.08	20.85	11.61	0.28	0.51
UK-2	7.08	654	418.56	378.33	5.14	0.18	-0.24	39.78	4.50	30.22	0.05	0.19

**Tablo 7.** Sulama suyu kriterlerinin sınıflaması.**Table 7.** Classification of irrigation water criteria.

Parametre	Aralıklar	Su sınıfı	Parametre	Aralıklar	Su sınıfı
pH <sup>1</sup>	6,5-8,4	Uygun	RSC (meq/l) <sup>8</sup>	<1,25	Güvenli
				1,25-1,75	Normal
EC (µS/cm) <sup>2</sup>	<250	Mükemmel	PI (%) <sup>9</sup>	<25	Sınıf III-Uygun değil
	250-750	İyi		25-75	Sınıf II-İyi
	750-2250	İzin verilebilir		>75	Sınıf I-Mükemmel
	2250-5000	Şüpheli			
TDS (mg/l) <sup>3,4</sup>	>5000	Uygun değil	MR (%) <sup>10,11</sup>	<50	Uygun
	<1.000			>50	Uygun değil
	1.000-	Tatlı su			
	10.000-	Acı su			
TH (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) <sup>5,6</sup>	10.000-	Tuzlu su	KR (meq/l) <sup>12</sup>	<1	Uygun
	100.000	Aşırı tuzlu su		1-2	Sınırdaki uygun
	>100.000			>2	Uygun değil
	<75	Yumuşak			
% Na <sup>2,7</sup>	75-150	Orta sert	PS (meq/l) <sup>13</sup>	<5	Mükemmel
	150-300	Sert		5-10	İyiden zararlıya doğru
	>300	Çok sert		>10	Uygun değil
	<20	Mükemmel			
SAR (meq/l) <sup>8</sup>	20-40	İyi	SSP (%) <sup>7</sup>	0-20	Mükemmel
	40-60	İzin verilebilir		20-40	İyi
	60-80	Şüpheli		40-60	İzin verilebilir
	>80	Uygun değil		60-80	Şüpheli
	<10	Mükemmel	>80	Uygun değil	
	10-18	İyi			
	18-26	Şüpheli			
	>26	Uygun değil			

<sup>1</sup> Ayers ve Westcot, 1985; <sup>2</sup> Wilcox, 1955; <sup>3</sup> Catrol, 1962; <sup>4</sup> Freeze ve Cherry, 1979; <sup>5</sup> Sawyer ve McCarty, 1967; <sup>6</sup> Todd, 1980; <sup>7</sup> Todd, 1960; <sup>8</sup> Richards, 1954; <sup>9</sup> Doneen, 1964; <sup>10</sup> Szabolcs ve Darab, 1964; <sup>11</sup> Raghunath, 1987; <sup>12</sup> Kelly, 1963; <sup>13</sup> Doneen, 1962



Şekil 5. Çalışma alanındaki yeraltısularının ABD tuzluluk diyagramı (Richards, 1954).

Figure 5. US Salinity diagram of groundwaters in the study area (Richards, 1954).

sulama suyu olarak kullanılamaz. Elverişli drenaj koşullarında bile, tuzluluk kontrolü için özel uygulamalar gerekir ve tuza orta dereceden iyi dereceye kadar dayanıklı bitkiler seçilmelidir (Richards, 1954; Ağca, 2014).

**Kalıntı sodyum karbonat (RSC):** RSC, sulama suyundaki karbonat ve bikarbonatın su kalitesi üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılmaktadır. Yeraltısularındaki karbonat ve bikarbonat değerlerinin, kalsiyum ve magnezyumdan daha fazla olması, yeraltısuyunun sulama için uygunluğunu etkiler. RSC, Eşitlik 5 ile hesaplanır (Eaton, 1950; Ragunath, 1987; Aghazadeh ve Moghaddam, 2010):

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (5)$$

Burada tüm iyonik konsantrasyonlar meq/l'dir. Suların RSC değerleri (Tablo 5 ve 6) <1.25 meq/l olup, bu suların sulama için uygun olduğunu göstermektedir (Tablo 7). Bunun yanında bazı yeraltısularında + RSC değerlerinin olması, ortamda sodyum ile birleşip kalıcı sodyum karbonat oluşturabilecek miktarda karbonat ve bikarbonat bulunduğunu ve bu oluşumun da sodyum zararı yaratabilecek bir risk faktörü olduğunu gösterir. Yüksek RSC, toprakta sodikleşmeye yani tuzluluğun artmasına neden olduğu için sulama suyunda istenmez. (-) RSC değeri ise, herhangi bir Na<sup>+</sup> zararı olasılığının olmadığını gösterir (Eaton, 1950; Satyanarayanan vd., 2007).

**Permeabilite indeksi (PI):** Bu indeks, toprağın fiziksel özelliklerine su kalitesinin olası etkisini belirlemek için kullanılır. PI, iyonların meq/l değerleri kullanılarak Eşitlik 6'daki formül ile hesaplanır (Doneen, 1964):

$$PI = \frac{Na^+ \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad (6)$$

Çalışma alanında bulunan IC-5 nolu örneğin PI değeri Mayıs dönemi için % 78.05 olup mükemmel sulama suyu (>%75-I. sınıf) özelliğinde iken, Ekim dönemi için % 71.71 olup iyi kalitede (% 25-75-II. sınıf) sulama suyu olarak sınıflandırılmıştır. Diğer suların PI değerleri her iki dönemde % 28.14-% 58.08 arasındadır ve iyi kalitede (II. sınıf - % 25-75) sulama suyu özelliğindedir (Tablo 5-6 ve 7).

**Çözünabilir sodyum yüzdesi (SSP):** Çözünabilir sodyum, toprak geçirgenliği açısından sulama suyunun sınıflandırılmasında önemlidir (Nagaraju vd., 2006). SSP, SAR gibi sulama suyunun

sodyum tehlikesini belirlemede yardımcıdır. SSP, Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanır (Todd, 1960):

$$SSP = \frac{Na^+ + K^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100 \quad (7)$$

Burada tüm iyonlar meq/l olarak ifade edilir. Sulama suyunda yüksek Na<sup>+</sup> konsantrasyonu olduğunda, Na<sup>+</sup> kil partikülleri tarafından absorbe edilir ve Mg<sup>2+</sup> ve Ca<sup>2+</sup> iyonları ile yer değiştirir. Sudaki Na<sup>+</sup> ve topraktaki Ca<sup>2+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> değişim prosesi, geçirgenliği azaltır ve zayıf iç drenaja sahip toprağa neden olur (Saleh vd., 1999; Collins ve Jenkins, 1996). SSP değerinin % 60'dan büyük olması, sodyum birikimine ve böylece toprağın fiziksel özelliklerinin bozulmasına neden olur. Sulama suyundaki bu tür yüksek SSP, bitki büyümesini durdurabilir ve toprak geçirgenliğini azaltır (Joshi vd., 2009). Çalışma alanındaki suların SSP değerleri iyi ile mükemmel (% 3.20-26.96 arasında) sulama suyu sınıfında olup, sulama amacıyla kullanımı uygun sulardır (Tablo 5-6 ve 7).

**Magnezyum Oranı (MR):** Sudaki yüksek magnezyum oranı toprağı tuzlandırmakta, bitki büyümesini ve verimini olumsuz etkilemektedir (Joshi vd., 2009; Venugopal vd., 2009). MR, Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanır (Szabolcs ve Darab 1964; Ragunath, 1987):

$$MR = \frac{Mg^{2+}}{Mg^{2+} + Ca^{2+}} \times 100 \quad (8)$$

Yukarıdaki formülden iyonların meq/l biriminden hesaplanan magnezyum oranı (MR) % 50'den az ise, su güvenli ve sulama için uygundur (Szabolcs ve Darab 1964; Tablo 6). Çalışma alanındaki suların tümünün MR değerleri, <%50 olup (% 10.71-32.37), sulama amacıyla kullanımı uygun sulardır (Tablo 5-6 ve 7).

**Kelley Oranı (KR):** Kelley oranı, sodyum (Na<sup>+</sup>) ölçümüne karşı kalsiyum (Ca<sup>2+</sup>) ve magnezyum (Mg<sup>2+</sup>) oranı olarak ifade edilir. Kelly oranının 1'den büyük değeri, sudaki aşırı sodyumu gösterir. Bu nedenle, Kelly oranı 1'den az olan su, sulama için uygun kabul edilir. KR, Eşitlik 9 kullanılarak hesaplanır (Kelley, 1963):

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (9)$$

Burada tüm iyonik konsantrasyonlar meq/l'dir. Çalışma alanının



daki sular, KR değerleri bakımından (0.03-0.39 meq/l) sulamaya uygun sulardır (Tablo 5-6 ve 7).

**Potansiyel Tuzluluk (PS):** Cl ve SO<sub>4</sub>'a bağlı olarak oluşacak yüksek tuz konsantrasyonu tehlikesini belirler. PS, Eşitlik 10 kullanılarak hesaplanır (Doneen, 1962):

$$PS = CT + 1/2SO_4^{2-} \quad (10)$$

Burada tüm iyonlar meq/l olarak ifade edilir. Bölgedeki suların PS değerleri 0.16-1.35 meq/l arasında olup sulama amaçlı kullanıma uygun sulardır (Tablo 5-6 ve 7).

Hidrojeokimyasal parametrelerin zamana bağlı değişimlerini kontrol etmek amacıyla Mart 2018'de çalışma alanı içinde seçilmiş 9 adet yeraltısuyu kuyusundan tekrar örnek alınmış, hidrojeokimyasal analizleri yapılarak, sulama suyu kimyasal indeks parametreleri hesaplanmıştır (Tablo 8). Tablo 8'de Mayıs-Ekim 2007 ölçümleri ve Mart 2018'de ölçülen değerler karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

### 3.3. Yeraltısuyu Tarımsal Su Kalitesinin CBS ile Değerlendirilmesi

Bölgedeki yeraltısularının tarımsal su kalitesinin değerlendirilmesinde elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) ile toplam sertlik (TH), sodyum yüzdesi (% Na), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), kalıntı sodyum karbonat (RSC), permeabilite indeksi (PI), çözünebilir sodyum yüzdesi (SSP), magnezyum oranı (MR), Kelly oranı (KR), potansiyel tuzluluk (PS) gibi kimyasal indeks hesaplamaları kullanılmıştır. Mayıs-Ekim 2007 ve Mart 2018 tarihlerine ait örneklerin hesaplanan kimyasal indeks parametrelerini karşılaştırmak için grafikler hazırlanmıştır (Şekil 6 ve 7). Şekil 6 ve 7'de görüldüğü gibi, 2007 yılından 2018 yılına kadar geçen süre içerisinde sulama suyu kalite parametrelerinde değişimlerin olmadığı görülmektedir. Ayrıca, kimyasal indeks parametreleri, sulama suyu kalite kriterlerine göre Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında yeniden sınıflandırılmıştır. Mayıs ve Ekim 2007 dönemleri arasında farklı değerler veren parametreler, büyüklüklerine göre derecelendirilmiş semboller kullanılarak gösterilmiştir (Şekil 8a-j). Mayıs ve Ekim 2007 dönemlerinde çalışma alanının batı kesiminde iki lokasyonda (IC-3 ve IC-10) ve doğu kesimde bir lokasyonda (IC-8) EC değerleri 750 µS/cm'nin üzerinde olup, sulama suyu kriterlerine göre (Tablo 7) sulama için "izin verilebilir" sınırlar içindedir (Şekil 8a, b). Diğer lokasyonlarda ise 250-750 µS/cm arasında değerler vermekte ve "iyi kalitede" sulama suyu özelliğindedir. Dolayısıyla tüm sular EC değerleri bakımından tarımsal kullanım için uygun kriterlere sahiptir. Suların TDS değerleri <1000 mg/l olduğu için sulamaya uygun tatlı sular sınıfındadır (Tablo 7). TH değerleri bakımından bölgedeki yeraltısuları "orta sert, sert, çok sert" olarak 3 grupta toplanmaktadır (Şekil 8c, d; Tablo 7). Sulardaki Ca, Mg ve HCO<sub>3</sub> konsantrasyonunun daha yüksek olduğu lokasyonlarda Şekil 8c ve 8d'de görüldüğü gibi TH değeri de daha yüksek değerlere sahiptir. Yeraltısularının % Na değerleri, sulardaki Na yüksekliğine bağlı olarak artış göstermektedir. Her iki dönemde de diğer sulara göre daha yüksek % Na değerine sahip sular (IC-5, TMY-1, TMY-2, TMY-3, TMY-4 ve TMY-5) Piper diyagramına göre de Ca-Na-HCO<sub>3</sub> tip sular olarak sınıflandırılmıştır. Bu suların % Na değerleri % 22.97-31.33 arasında olup sulama için "iyi kalitede" sular sınıfındadır (Şekil 8 e, f; Tablo 7). Diğer sular ise "mükemmel" sulama suyu özelliğine sahip sulardır. Suların hem Mayıs hem de Ekim dönemi için SAR değerleri <10, RSC değerleri

<1.25 olup sulama amaçlı kullanıma uygundur (Tablo 7). Çalışma alanında PI değerleri her iki dönemde "iyi kalitede" (II. sınıf - % 25-75) sulama suyu özelliğindedir. Sadece Mayıs dönemi için IC-5 nolu örneğin PI değeri "mükemmel" sulama suyu (>%75-I. sınıf) özelliği göstermiştir (Şekil 8 g, h; Tablo 7). Çalışma alanındaki yeraltısularının SSP değerleri "iyi ile mükemmel" sulama suyu sınıfında olup, tarımsal kullanıma uygundur (Şekil 8i, j; Tablo 7). Çalışma alanındaki suların tümünün MR değerleri, <%50 olup sulama amacıyla kullanımı uygun sulardır (Tablo 7). KR ve PS indeksleri bakımından da tüm sular tarımsal amaçlı kullanıma uygun sulardır (Tablo 7).

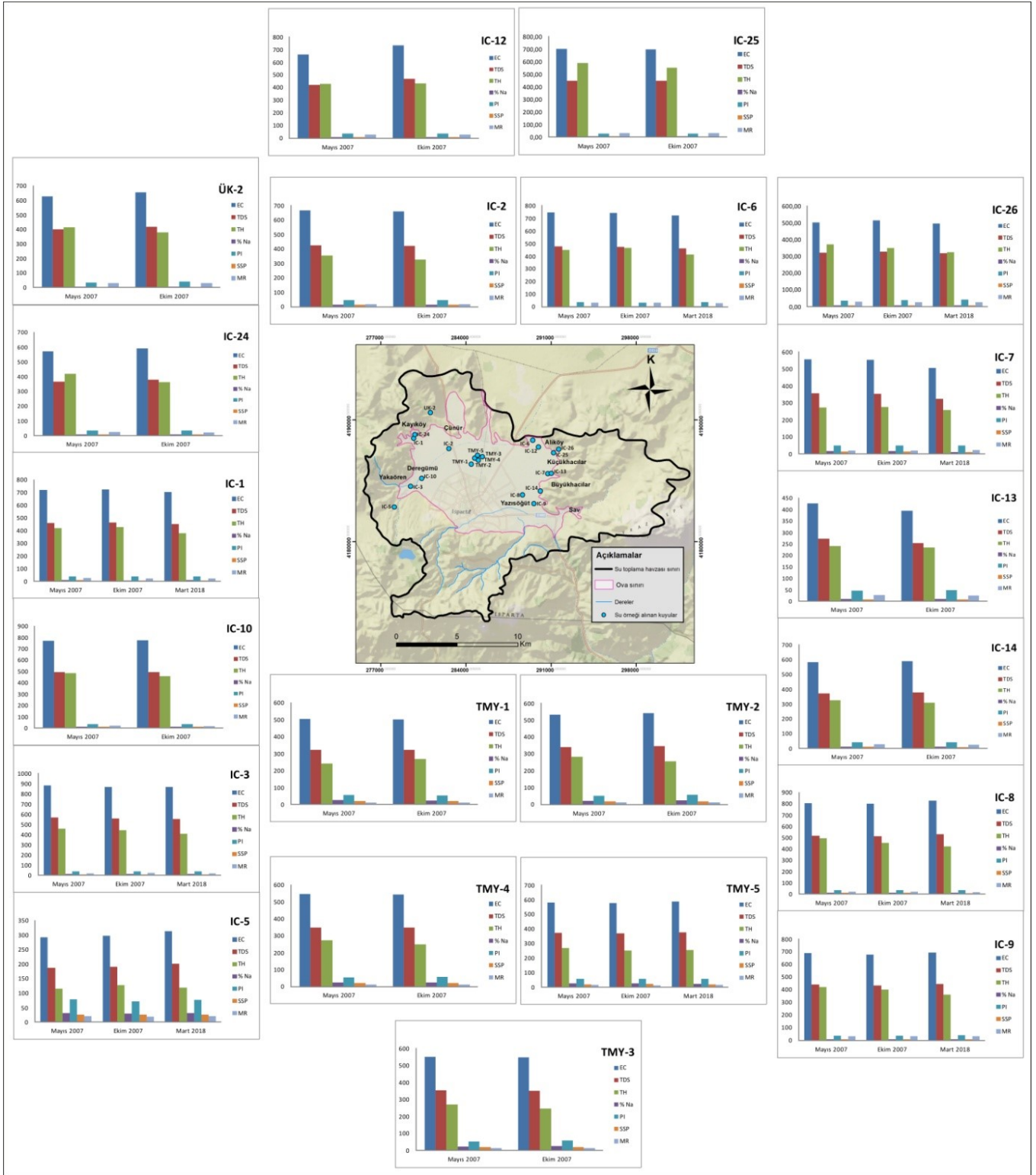
## 4. Sonuç

Bu çalışmada Isparta Ovası'ndaki yeraltısularının tarımsal sulamaya uygunluğu değerlendirilmiştir. Bu yeraltısularının sulama suyu olarak kullanımının değerlendirilmesinde EC, TDS değerleri ve SAR, % Na, RSC, SSP, MR, KI, PI, PS, TH gibi kimyasal indeks hesaplamalarına bağlı olarak değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde çalışma alanındaki yeraltısularının Mayıs-Ekim 2007 dönemine ait analiz verileri incelenmiş, parametrelerin zamana bağlı değişimlerini kontrol etmek amacıyla seçilen 9 adet lokasyonun Mart 2018'de yapılan analizleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Aradan geçen 11 yıllık süre içerisinde ölçüm yapılan ve hesaplanan parametrelerin sulama suyu kriterleri bakımından uygun koşullarda olduğu görülmüştür.

Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde suların pH değerleri düşük değişkenlik, RSC değerleri yüksek değişkenlik, diğer parametreler ise orta derecede değişkenlik göstermektedir. Bu durum suların kısmen homojen bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. IC-3, IC-8 ve IC-10 nolu örnekler EC değerleri bakımından "izin verilebilir" sınıfta, ABD Tuzluluk diyagramı sınıflandırmasında yüksek tuzluluk/düşük sodyum sınıfı olan C3-S1 grubundadır. C3-S1 tip sular sulama suyu olarak kullanılmayacağı için, tuza dayanıklı bitkilerin seçilmesi, düzenli yıkama ve özel toprak işleme programlarının uygulanması gerekir. Diğer örnekler ise orta tuzlu, tuzluluk tehlikesi içermeden ve sodyum tehlikesi oluşturmadan tüm bitkiler için kullanılabilen C2-S1 sular olarak ve "iyi özellikte" sulama suları olarak sınıflandırılmaktadır. Çalışma alanındaki suların tümü <1000 mg/l TDS değerleri nedeniyle "tatlı su" özelliğinde sular olarak sınıflandırılmıştır. TH değerlerine göre alınan su örnekleri orta sertlikte suların çok sert sulara kadar değişen aralıkta değerler vermektedir. IC-5 örnek noktası "orta sertlikte su", IC-7, IC-13, TMY-1, TMY-2, TMY-3, TMY-4 ve TMY-5 örnek noktaları "sert su" ve diğer örnek noktaları ise "çok sert su" olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanındaki sular % Na ve SSP değerleri bakımından "iyi" ile "mükemmel" sulama suyu özelliğine sahip sular, SAR değeri bakımından "çok iyi özellikte", PI değerleri bakımından genel olarak "iyi kalitede" sulama suyu özelliğine sahip sulardır. RSC, MR, KI, PS değerleri bakımından ise çalışma alanındaki suların tümünün sulama amacıyla kullanımı uygundur. Yapılan değerlendirmelerde, bazı lokasyonlarda kimyasal indeks parametreleri farklılık göstermesine karşın suların tümü tarımsal amaçla kullanıma uygun niteliğe sahip sulardır. Çalışma alanında yeraltısularından aynı zamanda içme suyu amaçlı olarak da yararlanılmaktadır. Bu nedenle tarımsal faaliyetler nedeniyle ortaya çıkacak olumsuz etkiler hem içme hem de tarımsal kullanımı etkileyeceği için gelecekte su kaynakları açısından problem yaşanmaması adına gerekli hassasiyetin devam

**Tablo 8.** Çalışma alanındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri ve sulama suyu parametrelerinin 2007 ve 2018 yıllarına ait ölçümlerin karşılaştırılması.  
**Table 8.** Hydrogeochemical properties of groundwater in the study area and comparison of irrigation water parameters between 2007 and 2018 years.

Sıra no	Örnek no	Tarih	pH	EC (µS/cm)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	TDS (mg/l)	TH (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	% Na	SAR (meq/l)	RSC (meq/l)	PI (meq/l)	SSP (%)	MR (%)	KR (meq/l)	PS (meq/l)
1	IC-1	Mayıs 2007	7.01	720.00	21.87	5.88	26.97	123.50	500.20	4.50	9.00	7.70	460.80	419.36	11.62	0.46	-0.18	40.87	10.03	26.48	0.11	0.22
		Ekim 2007	7.11	723.00	18.01	4.29	25.75	129.20	506.30	4.80	5.00	8.20	462.72	428.57	9.44	0.38	-0.27	39.19	8.28	24.74	0.09	0.19
		Mart 2018	7.07	705.00	18.59	3.24	25.34	125.71	503.25	4.15	10.68	10.47	451.20	380.49	10.49	0.41	-0.11	40.15	8.74	24.95	0.10	0.23
2	IC-3	Mayıs 2007	7.33	885.00	24.70	11.11	22.81	145.40	475.80	13.70	86.00	57.00	566.40	456.93	12.95	0.50	-1.33	37.88	10.24	20.55	0.12	1.28
		Ekim 2007	7.27	871.00	22.80	10.14	22.21	140.60	433.10	13.60	85.00	35.50	557.44	442.47	12.39	0.47	-1.75	37.17	9.82	20.67	0.11	1.27
		Mart 2018	7.23	869.00	21.81	8.78	19.72	131.00	445.30	10.73	89.92	26.60	556.16	408.00	12.57	0.47	-0.86	40.07	10.16	19.89	0.12	1.24
3	IC-5	Mayıs 2007	7.41	293.00	20.96	5.77	5.67	37.18	158.60	4.40	5.00	9.50	187.52	116.18	31.33	0.85	0.28	78.05	26.96	20.10	0.39	0.18
		Ekim 2007	7.37	297.00	21.49	5.08	6.08	41.23	150.40	4.40	5.00	9.00	190.08	127.98	29.39	0.83	0.15	71.71	25.80	19.57	0.37	0.18
		Mart 2018	7.55	314.00	21.21	5.55	6.10	37.58	164.70	3.39	12.03	4.92	200.96	118.86	30.93	0.85	0.32	77.75	26.80	21.11	0.39	0.22
4	IC-6	Mayıs 2007	6.85	745.00	8.14	2.19	35.42	122.00	530.70	3.80	5.00	4.40	476.80	450.39	4.36	0.17	-0.31	35.30	3.76	32.37	0.04	0.16
		Ekim 2007	6.94	743.00	7.12	1.83	35.40	128.10	524.60	4.20	5.00	4.40	475.52	485.54	3.69	0.14	-0.71	33.72	3.20	31.30	0.03	0.17
		Mart 2018	7.20	722.00	8.66	2.13	27.80	120.41	527.65	4.74	16.13	2.24	462.08	414.82	4.94	0.18	-0.35	38.25	4.32	27.57	0.05	0.30
5	IC-7	Mayıs 2007	7.58	556.00	19.90	7.45	13.31	87.53	311.10	11.80	5.00	27.30	355.84	273.33	16.20	0.52	-0.36	49.36	13.28	20.05	0.16	0.38
		Ekim 2007	7.62	555.00	19.43	6.65	12.87	89.34	305.00	11.30	5.00	34.50	355.20	276.04	15.54	0.51	-0.52	48.42	12.94	19.19	0.15	0.37
		Mart 2018	7.73	506.00	13.12	4.25	14.27	80.12	298.90	8.21	10.44	16.09	323.84	258.62	11.61	0.35	-0.27	48.48	9.75	22.70	0.11	0.34
6	IC-8	Mayıs 2007	7.45	805.00	30.21	12.09	24.14	157.50	372.10	34.00	36.00	52.50	515.20	492.61	14.15	0.59	-3.75	33.90	11.46	20.17	0.13	1.33
		Ekim 2007	7.50	799.00	27.34	11.45	22.74	143.90	359.90	35.00	35.00	54.10	511.36	452.89	14.07	0.56	-3.15	35.33	11.29	20.67	0.13	1.35
		Mart 2018	7.54	829.00	22.48	8.44	17.74	140.60	396.50	29.86	42.71	59.31	530.56	423.81	12.34	0.47	-1.98	37.31	10.11	17.22	0.12	1.29
7	IC-9	Mayıs 2007	7.63	688.00	14.31	5.81	32.20	115.70	384.30	17.80	30.00	28.90	440.32	421.41	8.39	0.30	-2.13	34.62	6.77	31.46	0.07	0.82
		Ekim 2007	7.52	677.00	13.59	4.66	30.67	110.10	366.00	18.50	31.00	26.30	433.28	401.13	8.14	0.30	-2.02	35.31	6.77	31.48	0.07	0.84
		Mart 2018	7.73	693.00	14.42	4.34	28.58	96.92	378.20	16.69	25.77	24.32	443.52	359.42	9.31	0.33	-0.99	39.88	7.91	32.72	0.09	0.74
8	IC-26	Mayıs 2007	7.41	503.00	13.90	4.96	27.46	103.70	343.30	4.30	5.00	7.80	321.92	371.94	8.96	0.31	-1.81	37.03	7.40	30.39	0.08	0.17
		Ekim 2007	7.39	514.00	12.31	3.84	23.18	101.72	341.60	5.20	5.00	5.50	328.96	349.38	8.32	0.29	-1.38	38.59	7.03	27.31	0.08	0.20
		Mart 2018	7.54	496.00	9.74	2.95	19.56	98.17	353.80	4.35	9.52	4.29	317.44	325.42	7.12	0.23	-0.71	40.85	6.05	24.73	0.07	0.22
9	TMY-5	Mayıs 2007	7.42	581.00	33.43	10.83	9.50	92.10	335.50	4.60	39.00	10.30	371.84	269.07	24.35	0.89	-0.12	55.61	20.45	14.54	0.27	0.54
		Ekim 2007	7.42	578.00	31.90	10.38	7.06	88.60	329.40	3.40	40.00	10.20	369.92	250.27	24.84	0.88	-0.40	58.08	20.85	11.61	0.28	0.51
		Mart 2018	7.38	589.00	29.25	8.62	8.97	86.96	329.40	4.50	42.88	7.59	376.96	253.88	22.72	0.80	-0.32	56.63	19.36	14.54	0.25	0.57



Şekil 6. Çalışma alanındaki yeraltısularının EC, TDS, TH, % Na, PI, SSP ve MR sulama suyu kriterlerinin karşılaştırması (Mayıs-Ekim 2007 ve Mart 2018).

Figure 6. Comparisons of EC, TDS, TH, Na %, PI, SSP and MR irrigation water criteria of groundwaters in study area (May-October 2007 and March 2018).

etmesi önem taşımaktadır.

## Kaynakça

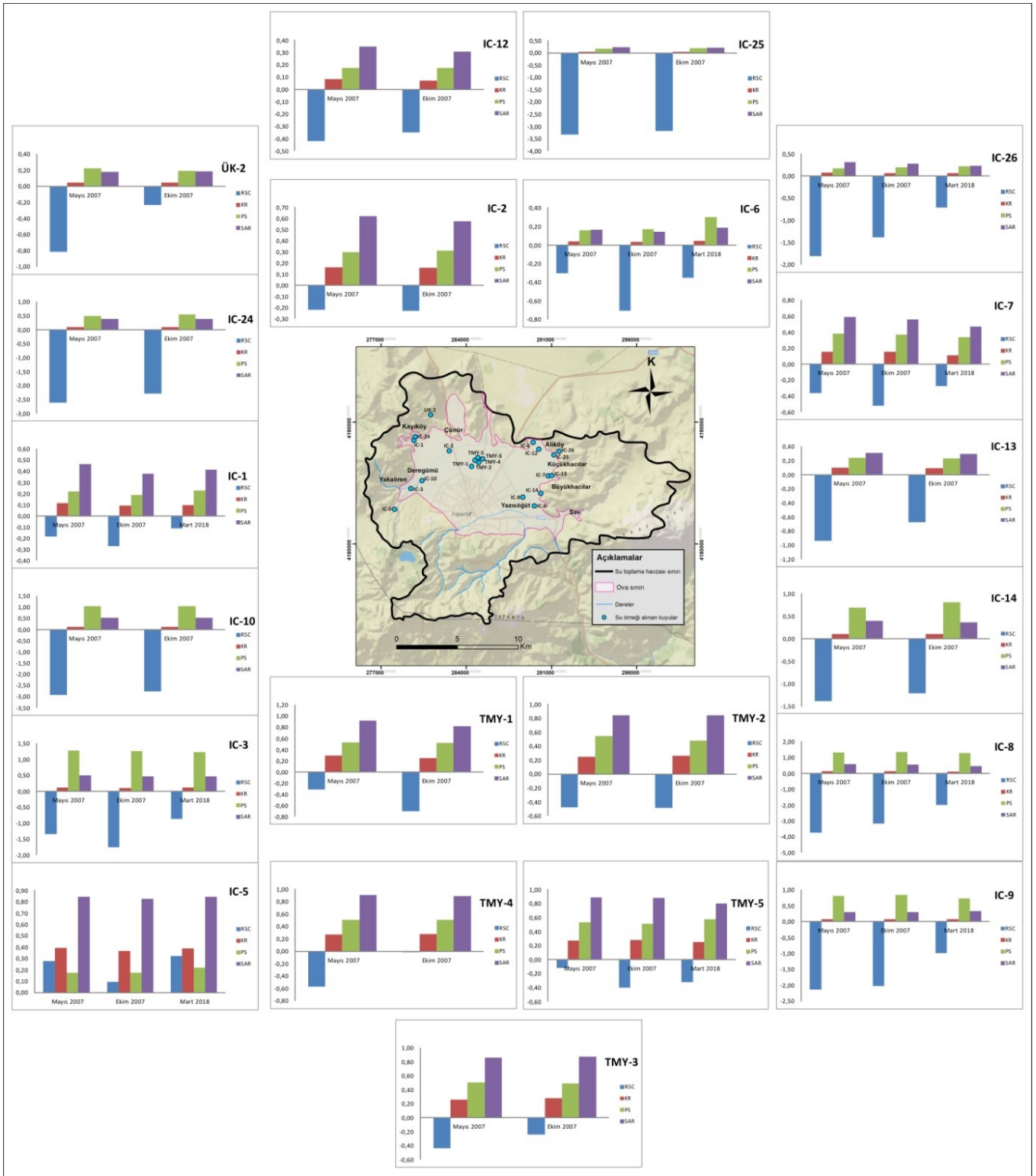
- Adhikary, P., Dash, C., Chandrasekharan, H., Rajput, T. ve Dubey, S. (2012). Evaluation of Groundwater Quality for Irrigation and Drinking Using GIS and Geostatistics in a Peri-Urban Area of Delhi, India. *Arabian Journal of Geoscience* 5: 1423-1434, doi:10.1007/s12517-011-0330-7.
- Aghazadeh, N. ve Mogaddam, A.A. (2010). Assessment of Groundwater Quality and Its Suitability for Drinking and Agricultural Uses in

the Oshnavieh Area Northwest of Iran. *Journal of Environmental Protection* 1: 1, 30-40, doi: 10.4236/jep.2010.11005.

Aghazadeh, N. ve Mogaddam, A.A. (2011). Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Harzandat Aquifer, Northwest of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* 176: 1-4, 183-195, doi.org/10.1007/s10661-010-1575-4.

Ağca, N. (2014). Spatial Variability of Groundwater Quality and Its Suitability for Drinking and Irrigation in the Amik Plain (South Turkey). *Environmental Earth Science* 72: 4115-4130, doi: 10.1007/s12665-014-3305-7.

Al-Ahmadi, M. E. (2013). Hydrochemical Characterization of Groundwater in Wadi Sayyah, Western Saudi Arabia. *Applied Water Sci-*



Şekil 7. Çalışma alanındaki yeraltısularının RSC, KR, PS ve SAR sulama suyu kriterlerinin karşılaştırması (Mayıs-Ekim 2007 ve Mart 2018).

Figure 7. Comparisons of RSC, KR, PS and SAR irrigation water criteria for groundwaters in study area (May-October 2007 and March 2018).

ence 3: 721-732, doi: 10.1007/s13201-013-0118-x.

Al-Omran, A.M., Aly, A. A., Al-Wabel, M.I., Al-Shayaa, M.S., Sallam, A.S. ve Nadeem, M. E. (2017). Geostatistical Methods in Evaluating Spatial Variability of Groundwater Quality in Al-Kharj Region, Saudi Arabia. *Applied Water Science* 7: 7, 4013-4023, doi: 10.1007/s13201-017-0552-2.

APHA-AWWA-WEF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed. American Public Health Association, Washington, D.C.

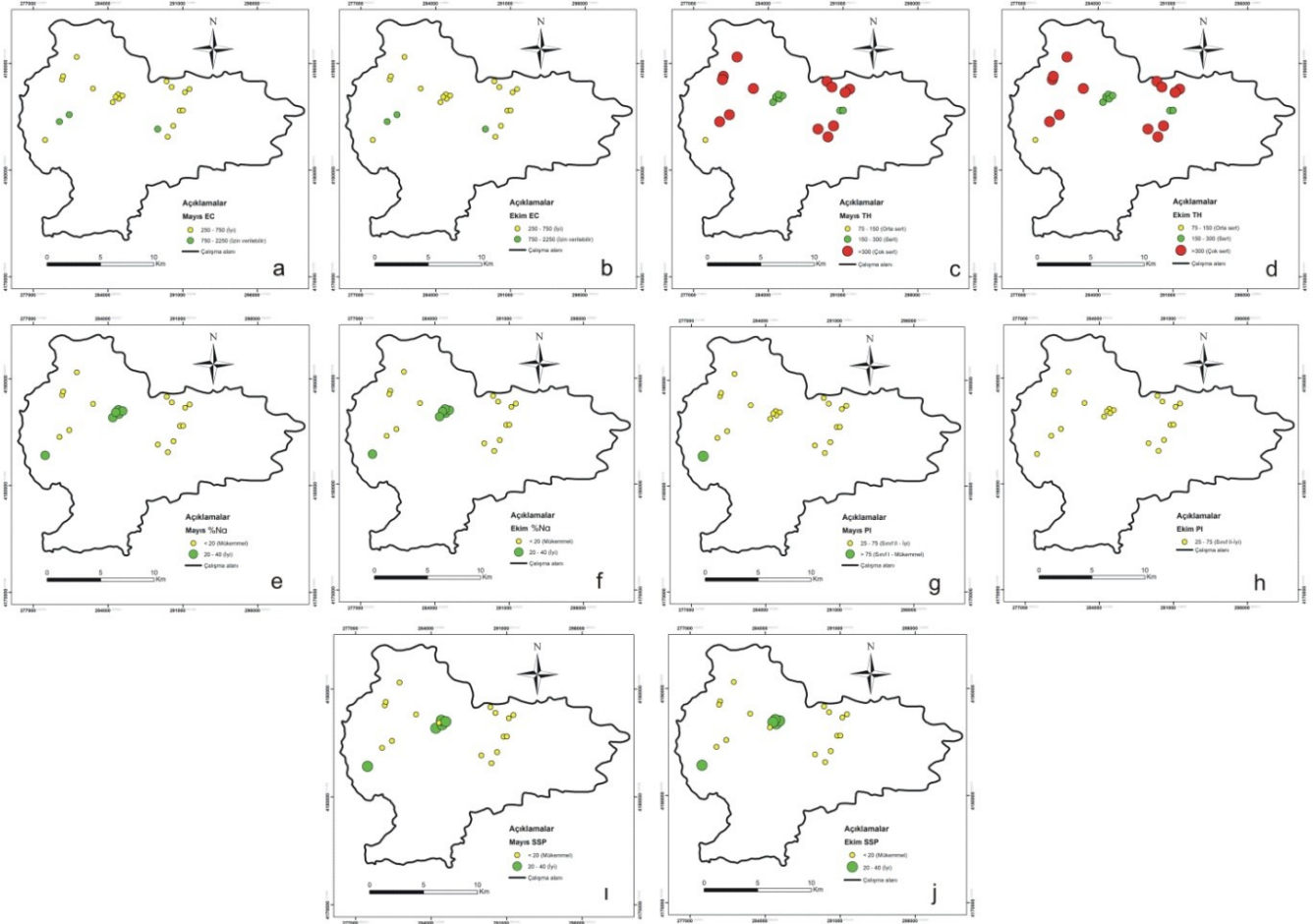
Appelo, C. A. J. (1996). Multicomponent ion exchange and chromatography in natural systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 34 (1), 193-227.

Arslan, H. (2017). Determination of Temporal and Spatial Variability of Groundwater Irrigation Quality Using Geostatistical Techniques on the Coastal Aquifer of Çarşamba Plain, Turkey, from 1990 to 2012. *Environmental Earth Science* 76: 38, doi: 10.1007/s12665-016-6375-x.

Arumugam, K. ve Elangovan, K. (2009). Hydrochemical Characteristics and Groundwater Quality Assessment in Tirupur Region, Coimbatore District, Tamil Nadu, India. *Environmental Geology* 58: 1509-1520, doi.org/10.1007/s00254-008-1652-y.

Atalay, İ. (2011). *Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası*. Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir, 512 s.

Aydın, A. ve Sezen, Y. (1995). *Toprak Kimyası Laboratuvar Kitabı*. Ata-



Şekil 8. Çalışma alanındaki yeraltısularının Mayıs ve Ekim 2007 dönemlerine ait EC (a, b), TH (c, d), % Na (e, f), PI (g, h) ve SSP (i, j) kriterlerinin CBS ortamında sınıflandırılması.

Figure 8. Classification of EC (a, b), TH (c, d), % Na (e, f), PI (g, h) and SSP (i, j) criteria for the May and October 2007 periods of groundwater in the study area using GIS.

türk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları no: 174, Erzurum.

Ayers, R.S. ve Westcot, D.W. (1985). Water Quality for Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO Irrigation and Drainage Paper 29: Rev. 1.

Boysan, F. ve Şengörür, B. (2009). Su Sertliğinin İnsan Sağlığı İçin Önemi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 13 (1): 7-10.

Berhe, B.A., Çelik, M. ve Dokuz, U.E. (2015). Kütahya Ovası'ndaki Yüzeysel ve Yeraltısularının Sulama Suyu Kalitesi Açısından İncelenmesi, *Türkiye. MTA Dergisi* 150: 147-163.

Catroll, D. (1962). Rain Water as a Chemical Agent of Geological Process: a View USGS. *Water Supply* 1533, 18-20.

Cederstorm, D. J. (1946). Genesis of Groundwater in the Coastal Plain of Virginia. *Economic Geology* 41, 218-245.

Collins, R. ve Jenkins, A. (1996). The Impact of Agricultural Land Use on Stream Chemistry in the Middle Hills of the Himalayas, Nepal. *Journal of Hydrology* 185: 71-86, doi.org/10.1016/0022-1694(95)03008-5.

Demir, S. (2008). Isparta ve Yakın Çevresi Yeraltısularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal İncelenmesi ve İçme Suyu Kalitesinin İzlenmesi. Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

Doneen, L.D. (1962). The Influence of Crop and Soil on Percolating Water. *Proceedings of the Biennial Conference on Groundwater Recharge*: 156-163.

Doneen, L.D. (1964). Notes on Water Quality in Agriculture. Published as a water science and engineering, paper 4001 Department of Water Science and Engineering University of California, Davis.

Eaton, F.M. (1950). Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Science* 69: 123-133.

Ekmekçi, E., Apan, M. ve Kara, T. (2005). Tuzluluğun Bitki Gelişimine

Etkisi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 20 (3): 118-125.

Eroğlu, V. (1984). *Su Tasfiyesi*, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.

Freeze, R.A. ve Cherry, J.A. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall, New Jersey: 604 p.

Görmüş, M. ve Özkul, M. (1995). Gönen-Atabey (Isparta) ve Ağlasun (Burdur) Arasındaki Bölgenin Stratigrafisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 1: 43-64, Isparta.

Gutnic, M., Monod, O., Poisson, A. ve Dumont, J.F. (1979). Geologie Des Taurides Occidentales (Turquie). *Mémoires de la Société géologique de France* 137: 1-112.

Haloı, N. ve Sarma, H. P. (2012). Heavy Metal Contaminations in the Groundwater of Brahmaputra Flood Plain: an Assessment of Water Quality in Barpeta District, Assam (India). *Environmental Monitoring Assessment* 184: 10, 6229-6237.

İrleyici, A. (1993). Isparta Ovası Hidrojeolojisi ve Yeraltısuları ile İlgili Çevre Sorunları. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

Ishaku, J.M., Ahmed, A.S. ve Abubakar, M.A. (2011). Assessment of Groundwater Quality Using Chemical Indices and GIS Mapping in Jada Area, Northeastern Nigeria. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering* 1: 1, 35-60.

Ishaku, J.M., Ahmed, A.S. ve Abubakar, M.A. (2012). Assessment of Groundwater Quality Using Water Quality Index and GIS in Jada, Northeastern Nigeria. *International Research Journal of Geology and Mining (IRJGM)* 2: 3, 54-61.

Joshi, D.M., Kumar, A. ve Agrawal, N. (2009). Assessment of the Irrigation Water Quality of River Ganga in Haridwar District India. *Journal of Chemistry* 2: 2, 285-292.

Kamrani, S., Rezaei, M., Amiri, V. ve Saberinasr, A. (2016). Investigating

- the Efficiency of Information Entropy and Fuzzy Theories to Classification of Groundwater Samples for Drinking Purposes: Lenjanat Plain, Central Iran. *Environmental Earth Science* 75: 1370, doi/10.1007/s12665-016-6185-1.
- Karagüzel, R. ve İrlayıcı, A. (1998). Groundwater Pollution in the Isparta Plain, Turkey. *Environmental Geology* 34: 4, 303-308.
- Karaman, M.E. (1990). Isparta Güneyinin Temel Jeolojik Özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 33: 57-67, Ankara.
- Karaman, M.E., Meriç, E. ve Tansel, İ. (1988). Çünür (Isparta) Dolaylarında Kretase-Tersiyer Geçışı. *Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi* 4: 80-100, Isparta.
- Karataş, A., Sungur, Ş. ve Yılmaz, V. (2016). Physico-Chemical Features of Mineral Waters Found in Hatay Ophiolites and Their Relationships with Fault Characteristics. *Turkish Studies* 11: 665-684.
- Kelley, W.P. (1963). Use of Saline Irrigation Water. *Soil Science* 95: 6, 385-391.
- Manish, K., Ramanathan, A., Rao, M.S. ve Kumar, B. (2006). Identification and Evaluation of Hydrogeochemical Processes in the Groundwater Environment of Delhi, India. *Environmental Geology* 50: 1025-1039.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) (2018). <<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISPARTA>>. Son erişim: 20 Mart 2018.
- Nag, S.K. ve Ghosh, P. (2013). Variation in Groundwater Levels and Water Quality in Chhatna Block, Bankura District, West Bengal-A GIS Approach. *Journal of Geological Society of India* 81: 261-280.
- Nagaraju, A., Suresh, S., Killham, K. ve Hudson-Edwards, K. (2006). Hydrogeochemistry of Waters of Mangampeta Barite Mining Area, Cuddapah Basin, Andhra Pradesh, India. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 30: 203-219.
- Narany, T.S., Ramli, M.F., Aris, A.Z., Sulaiman, W.N.A. ve Fakharian, K. (2015). Groundwater Irrigation Quality Mapping Using Geostatistical Techniques in Amol-Babol Plain, Iran. *Arabian Journal of Geoscience* 8: 2, 961-976.
- Obiefuna, G. I. ve Sheriff, A. (2011). Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3: 2, 131-141.
- Piper, A.M. (1944). Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions American Geophysical Union* 25: 6, 914-928.
- Poisson, A., Yağmurlu, F., Bozcu, M. ve Şentürk, M. (2003). New Insights on the Tectonic Setting and Evolution Around the Apex of the Isparta Angle (SW Turkey). *Geological Journal* 38: 257-282.
- Raghunath, H.M. (1987). *Groundwater* (2nd ed.), Wiley Eastern Ltd, New Delhi, 563p.
- Rao, G.T., Rao, V.V.S.G., Sarma, V.S., Dhakate, R., Surinaidu, L., Mahesh, J. ve Ramesh, G. (2012). Hydrogeochemical Parameters for Assessment of Groundwater Quality in a River Sub-basin. *International Journal of Environmental Science and Technology* 9: 2, 297-310, doi.org/10.1007/s13762-012-0024-z.
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Soil Science* 78: 2, 154.
- Sağlam, M. T. ve Adiloğlu, A. (1997). *Su Kalitesi* (genişletilmiş 2. baskı). Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Yayın no: 230, Ders Kitabı No: 27, Tekirdağ.
- Saleh, A., Al-Ruwaihi, F. ve Shehata, M. (1999). Hydrogeochemical Processes Operating Within the Main Aquifers of Kuwait. *Journal of Arid Environments* 42: 3, 195-209.
- Satyanarayanan, M., Balaram, V., Al Hussin, M.S., Al Jemali, M.A.R., Rao, T.G., Mathur, R., Dasaram, B. ve Ramesh, S.L. (2007). Assessment of Groundwater Quality in a Structurally Deformed Granitic Terrain in Hyderabad, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 131: 117-127, doi:10.1007/s10661-006-9461-9.
- Sawyer, G.N. ve McMcarty, D.L. (1967). *Chemistry of Sanitary Engineers*. (2nd ed.), McGraw Hill, New York, 518p.
- Srinivasamoorthy, K., Gopinath, M., Chidambaram, S., Vasanthavigar, M. ve Sarma, V.S. (2014). Hydrochemical Characterization and Quality Appraisal of Groundwater from Pungar Sub-basin, Tamilnadu, India. *Journal of King Saud University-Science* 26: 37-52, dx.doi.org/10.1016/j.jksus.2013.08.001.
- Subrahmani, T., Elango, L. ve Damodarswamy, S.R. (2005). Groundwater Quality and Its Suitability for Drinking and Agricultural Use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Geology* 47: 1099-1110, doi:10.1007/s00254-005-1243-0.
- Symons, J. M., Bradley, L.C. ve Cleveland, T.C. (2000). *The Drinking Water Dictionary*. American Water Works Association, Mc Graw Hill, 195p.
- Szabolcs, I. ve Darab, C. (1964). The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content of Soils. In: Szabolcs I (ed) *Proceedings of 8th International Congress Soil Science Sodics Soils ISSS*, Trans, II, 802-812.
- Şenel, M. (1997). 1:250 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Isparta paftası. MTA yayınları, No: 4, 47 s., Ankara.
- Şimsek, C. ve Gündüz, O. (2007). IWQ Index: A GIS-Integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality. *Environmental Monitoring and Assessment* 128: 277-300, doi: 10.1007/s10661-006-9312-8.
- Şimşek, G., Çanlı, M., Karadavut, U., Yazıcı, M. E. ve Soğancı, K. (2017). Sulama Yapılan Alanların Bazı Su Parametreleri Açısından Ayırma (Discriminant) Analizi Kullanılarak İncelenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 4 (3): 339-346.
- Thorne, D.W. ve Peterson, H.B. (1954). *Irrigated soils*. Constable and Company Limited, London.
- Todd, D.K. (1960). Salt Water Intrusion of Coastal Aquifers in the United States. *International Association Scientific Hydrology* (Gentbrugge Belgium) 52: 452-461.
- Todd, D.K. (1980). *Groundwater Hydrology* (2nd ed.). John Wiley and Sons, 535p.
- Todd, D.K. ve Mays, L.W. (2005). *Groundwater Hydrology* (3rd ed.), Wiley, Hoboken, 656p.
- TUİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2018. <<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>>. Son erişim: 20 Mart 2018.
- Varol, F., Bellitürk, K. ve Sağlam, M. T. (2005). Tekirdağ İli Sulama Sulalarının Özellikleri. *Tarım Bilimleri Dergisi* 11, 4, DOI: 10.1501/Tarimbil\_0000000554.
- Venugopal, T., Giridharan, L., Jayaprakash, M. ve Periakali, P. (2009). Environmental Impact Assessment and Seasonal Variation Study of the Groundwater in the Vicinity of River Adyar, Chennai, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 149: 81-97.
- Vincy, M.V., Brilliant, R. ve Pradeepkumar, A.P. (2015). Hydrochemical Characterization and Quality Assessment of Groundwater for Drinking and Irrigation Purposes: a Case Study of Meenachil River Basin, Western Ghats, Kerala, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 4217, doi: 10.1007/s10661-014-4217-4.
- Wanda, E.M.M., Gulula, L.C. ve Phiri, A. (2013). Hydrochemical assessment of groundwater used for irrigation in Rumphu and Karonga districts, Northern Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth* 66: 51-59, doi: 10.1016/j.pce.2013.09.001.
- WHO, 2003. *Total dissolved solids in Drinking-water*. World Health Organization Guidelines for Drinking-water Quality, Geneva.
- Wilcox, L.V. (1955). *Classification and Use of Irrigation Waters*. USDA Circular No. 969, 19 p.
- Yalçınkaya, S. (1989). Isparta-Ağlasun (Burdur) Dolaylarının Jeolojisi. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Yalçınkaya, S., Ergin, A., Afşar, Ö. P., Taner, K. ve Dalkılıç, H. (1986). Batı Torosların Jeolojisi-Isparta Projesi Raporu, *MTA Genel Müdürlüğü raporları* (yayınlanmamış), MTA Rapor no 7898, 131s., Ankara.
- Zhou, Z., Zhang G., Yan, M. ve Wang, J. (2012). Spatial Variability of the Shallow Groundwater Level and Its Chemistry Characteristics in the Low Plain Around the Bohai Sea, North China. *Environmental Monitoring and Assessment* 184: 3697-3710.