

# Jeotermal Kaynakların Tarımsal Sulama Suyu Kirliliği ve Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Harun TORUNLAR<sup>1,\*</sup> Murat Güven TUĞAÇ<sup>1</sup> Dilek Kaya Özdoğan<sup>2</sup> Gamze Depel<sup>2</sup> Nevzat Dereköy<sup>2</sup><sup>1</sup>Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara,<sup>2</sup>Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara

\*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail): htorunlar@hotmail.com

Geliş tarihi (Received): 11.10.2017

Kabul tarihi (Accepted): 16.07.2019

DOI: 10.21657/topraksu.654783

## Öz

Bu çalışmada; Ankara ili Ayaş ilçesinde bulunan jeotermal kaynakların kullanımlarından sonra ortaya çıkan jeotermal atık suların, bölgede tarımsal amaçlı sulama suyu olarak kullanılan İlhan çayına deşarji sonrasında bu sulara yarattığı kirlenme ve kalitesinin değişmesi ile yetiştirilen tarımsal ürünler üzerinde oluşturduğu kirlenme potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Jeotermal sular, dere suları, jeotermal deşarj suları, yeraltı suları ve içme sularından alınan su örneklerine ait analiz değerleri, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde belirtilen eşik değerler olmak üzere çeşitli uluslararası standartlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Buğday, domates, şekerpancarı, havuç ve yonca'dan oluşan bitki örneklerine ait analiz değerleri ise, Biyokonsantrasyon indeks değerlerine göre değerlendirilmiştir.

Sulama sezonu öncesi ve sonrası olmak üzere iki dönem halinde alınan su örneklerinde ağır metal ve iz elementlerden Arsenik (As); 26.93-234.57  $\mu\text{g L}^{-1}$ , Molibden (Mo); 17.3-67.4  $\mu\text{g L}^{-1}$ , Bor (B); 2.58-8.74  $\text{mg l}^{-1}$  olarak, su kalite parametrelerinden Ec; 3120-7970  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , pH; 8.6-9.3, klorür (Cl); 40.64-1140.47  $\text{mg l}^{-1}$ , sülfat ( $\text{SO}_4$ ); 675.34-5622.91  $\text{mg L}^{-1}$ , ve toplam tuz konsantrasyonu 1210.24-5676,8  $\text{mg l}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Bitkilerin farklı aksamlarından alınan örnekler için, makro-mikro besin elementleri ile ağır metal ve iz elementler açısından kirlenme potansiyelini ortaya koyan Biyokonsantrasyon indeks değerleri hesaplanmıştır. Değerlendirilmeler neticesinde çalışma alanındaki sulama sularının V. Sınıf (zararlı) su kalitesinde olduğu ve sulama suyu kullanılabilirlik oranı olarak % 33.3'lük bir orana sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler :** Bitki, jeotermal kaynaklar, kirlilik, sulama suları

## Assessing Impact of Geothermal Resources on Quality and Pollution of Agricultural Irrigation Waters

### Abstract

Wastewaters derived from the use of geothermals occurring in Ayaş county (Ankara) where these are later discharged to İlhan stream, which is used for irrigation. Pollution potential of the geothermal wastewaters on local agricultural products and pollution with impact on the water quality of the stream after the discharge was the main subject of this project.

Analyses carried out on the water samples representing geothermal waters, streamwaters, geothermal discharge waters, ground waters and drinking waters were assessed according to the threshold values stated by Technical Principles Statement of Water Pollution Control Regulation and to various international standards. Analyses data of wheat, tomatoes, sugar beet, carrot, and clover samples were evaluated with respect to the bioconcentration index values.

In the water samples collected in two phases, before and after the irrigation season, heavy metal and trace elements including arsenic (As); 26.93-234.57  $\mu\text{g L}^{-1}$ , molibdenum (Mo); 17.3-67.4  $\mu\text{g L}^{-1}$ , boron (B); 2.58-8.74  $\text{mg l}^{-1}$  were measured along with water quality parameters including Ec; 3120-7970  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , pH; 8.6-9.3, chloride (Cl); 40.64-1140.47  $\text{mg l}^{-1}$ , sulfate (SO<sub>4</sub>); 675.34-5622.91  $\text{mg L}^{-1}$  and total salt concentration 1210.24-5676,8  $\text{mg l}^{-1}$ . For the samples taken from various parts of the plants, bioconcentration index values revealing pollution potential with respect to the macro-micro nutrition elements with heavy metal and trace elements were calculated. As a result of evaluations of the subject area waters, these are classified as V. Class (unsafe) water quality and it is concluded that their usability rate as irrigation water is 33.3%.

**Keywords:** Plant, geothermal resources, pollution, irrigation waters

## GİRİŞ

Günümüzde ülkelerin gelişmesi ve sürdürülebilir kalkınması üzerinde doğal kaynakların bilinçli ve kontrollü bir şekilde kullanılmasının etkisi büyüktür. Doğal kaynaklar hızla tükenirken, üretim ve tüketimden kaynaklı atıkların yeterli önlemler alınmadan doğaya bırakılması genel çerçevede çevre kirliliğinin oluşmasına ortam sağlamaktadır. Fosilyakıtlara göre çevreye zararlı etkilerinin az olması alternatif enerji kaynaklarından biri olan jeotermal kaynakların önemini ve değerini arttırmaktadır. Fakat bu kaynakların kullanımı ve kullanımı sonrası çevreye bırakılması aşamasında bazı problemlerin yaşandığı görülmektedir. Jeotermal sular kullanıldıktan sonra bir bölümü yeniden yer altına enjekte edilmekte (reenjeksiyon), ancak önemli bir kısmı da doğal su yolları ile sulama, içme vb. amaçla kullanılan sulara karışmaktadır. Bu yüzden jeotermal sular, bu suların kalitesinin bozulmasına hatta kullanılamaz hale gelmesine sebep olabilmektedir (Eroğlu, 2008). Kullanıldıktan sonra doğada nehir veya başka yüzey sularına bırakılan atık jeotermal sular bünyelerindeki element çeşitliliğinden dolayı içme ve sulama suları, tarım yapılan topraklar, bitki, insan ve hayvan sağlığı açısından büyük risk oluşturmaktadır. Özellikle tarımsal sulamada kullanılamayacak bol miktarda element içeriğine sahip bu termal suların tarım alanlarına zarar vermesinin önlenmesi için bu suların kullanıldıktan sonra ortamdaki uzaklaştırılması gerekir (Eşder, 1981). Alternatif enerji kaynaklarından biri olan jeotermal kaynakların bilinçsizce kullanımları ile birlikte çevre bilincinin gelişmesiyle toprak, su ve bitkilerde yarattığı ağır metal ve iz element

kirliliği üzerinde yoğun araştırmalar yapılmış ve bu parametrelerin çevre üzerindeki etkileri ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Birkle ve Merkel (2000), yapmış oldukları çalışmalarında, 1994 Kasım ile 1996 Mayıs dönemleri arasında, Meksika'da Los Azufres jeotermal sahasının içindeki ve etrafındaki yüzey sularının ve sığ akiferlerin kirlendiğini tespit etmişlerdir. Jeotermal saha içinde olduğu gibi 10 km'ye varan mesafelerde de iz element derişimlerinde, özellikle Fe, Mn, F, B ve As'te sürekli yüksek artışlar gözlemlenmişlerdir. B ve As için sırasıyla 125 ve 8  $\text{mg L}^{-1}$  maksimum değerleri tespit etmişlerdir. Hipersalin jeotermal tuzlu suların boşalımının civarındaki toprakların tuzlanmasına, nehir suyunun civar bölgelerde içme ve sulama amaçlı kullanımı, toksit elementlerin insan besin zincirinde birikime neden olduğunu ve halkın sağlığını tehlikeye attığını tespit etmişlerdir.

Camgöz vd. (2010), İzmir, Seferihisar bölgesinde termal suların gözlemlendiği dört istasyonda aylık periyotlarda su örneklerinden radon aktivite konsantrasyonlarını ve kimyasal içeriklerini istatistiksel olarak incelemişlerdir. Ölçüm yapılan istasyonlarda canlılar için riskli düzeyde değişebilen radon aktivite konsantrasyonları tespit edilmiş, sulama suyu bakımından çalışma alanındaki bütün jeotermal suların C<sub>4</sub>S<sub>4</sub> sınıfında çok yüksek tuzlu ve sodyumlu sular sınıfında yer aldığını ve bu suların hiç bir şekilde içme ve tarımsal amaçlı sulamada kullanılamayacağını tespit etmişlerdir.

Tarım arazileri üzerinde çeşitli kirlenme unsurlarına bağlı olarak oluşan risklere dikkat çekmek ve risklerden bu alanları korumak amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma; Ankara ili Ayaş ilçesinde bulunan jeotermal kaynakların kullanımlarından sonra ortaya çıkan jeotermal atık suların bölgede tarımsal amaçlı sulama suyu olarak kullanılan İlhan çayına deşarjı sonrasında, bu sulara yarattığı kirlenme ve kalitesinin değişmesi ile yetiştirilen tarımsal ürünler üzerinde oluşturduğu kirlenme potansiyelinin belirlenmesini amaçlamıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Çalışma alanı

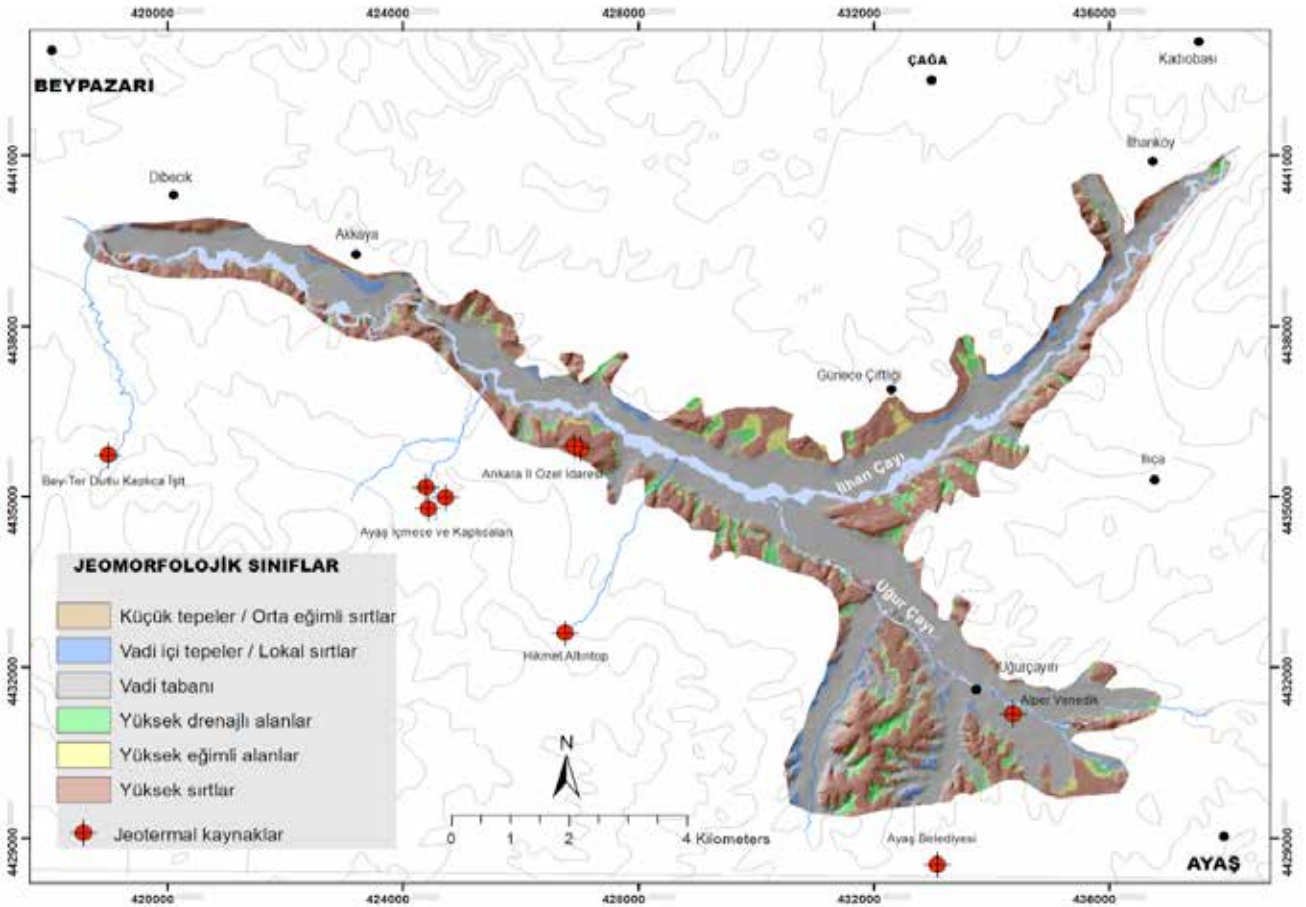
Çalışma alanı; Ankara iline ait Ayaş ilçesinin Akkaya, İlhan köy ve Uğurçayırı köyleri arasında bulunan İlhan ve Uğur çayları tarafından sulanan yaklaşık 4645 hektar (ha) alana sahip sulu tarım arazilerinden oluşmaktadır. Alan 529-780 metre (m) yükseklikleri arasında kod farkına sahip olup, hakim olan jeomorfolojik birimler vadi tabanı, vadi

içi lokal sırtlar, yüksek eğimli ve drenajlı alanlar ile yüksek sırtlardan oluşmaktadır (Şekil 1).

Çalışma alanında; sıcaklıkları 43,51 ve 51,5 C° arasında olan üç adet Çobanhamamı mevkinde bulunan Ayaş içmece ve kaplıcaları, 58 ve 58,5 C° lerde iki adet il özel idaresine ait jeotermal kaynak, 26,65, 31 ve 34 C° lerde üç adet Ayaş belediyesi ve özel sektöre ait jeotermal kaynak bulunmaktadır.

### İklim verileri

Bir bölgenin iklim koşulları tarımsal faaliyetlerin sürdürülmesinde sulamaya duyulan gereksinimi etkilemektedir. Alanının büyük çoğunluğunun sulu tarım olarak kullanıldığı çalışma alanından uygun dönemlerde su örnekleri alınabilmesi için proje alanının sulama durumunu yansıtan yağış- potansiyel buharlaşma değişimi verisinin elde edilmesinde iklim verileri materyal olarak kullanılmıştır. Bunun için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin



Şekil 1. Çalışma alanı  
Figure 1. Study area

edilen Ayaş ve çevre istasyonlarından 1975-2012 yılları arasında ölçülen yağış, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, rüzgar hızı, güneşlenme süresi ve nispi nem parametrelerinden oluşan uzun yıllar aylık iklim verilerinden faydalanılmıştır.

### Su ve bitki örnekleri

Çalışma alanı içerisinde araziden toplanan su ve bitki örnekleri ile bu örnekler için analiz değerleri, çalışmada kullanılan en önemli materyallerden birini oluşturmuştur. Sulardaki mevsimsel değişimlerin etkisinin araştırılması için çalışma bölgesinin tarımsal sulama sezonları dikkate alınmış ve buna göre su örnekleri 2014 yılı sulama sezonu sonrası ile 2015 yılı sulama sezonu öncesi ve sulama sezonu sonrası olmak üzere üç dönem halinde alınmıştır. Alınan su örnekleri için laboratuvarda yapılan analiz türleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Bitki örneklemeleri için, çalışma alanının ürün desenini temsilen yöre için ekonomik öneme sahip, en çok yetiştirilen ve tüketilen beş temel ürün (buğday, domates, havuç, şeker pancarı ve yonca) seçilmiştir. Bitkilerin farklı aksamlarından alınan örnekler için yapılan analiz türleri Çizelge 2’de verilmiştir.

### YÖNTEM

#### Su örneklerinin alınması

Su örneklerinin alınma zamanını belirleyebilmek için sulardaki mevsimsel değişimlerin etkisi göz önüne alınarak, öncelikle çalışma alanının tarımsal sulama sezonu belirlenmiştir. Bu sezonu belirlerken çalışma alanının su bilançosu, iklim verileri kullanılarak elde edilmiştir (Çizelge 3). 1975-2012 yıllarını kapsayan uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık, yağış ve potansiyel buharlaşma verileri üretilmiş, potansiyel buharlaşma verisinin üretilmesinde FAO Penman – Monteith metodu kullanılmıştır (Allen vd., 1998).

**Çizelge 1.** Su örnekleri ve laboratuvar analiz türleri

**Table 1.** Water samples and types of laboratory analysis

Su örneklemeleri	Laboratuvar analizleri
Dere suları	▪ Sıcaklık, EC (dS m <sup>-1</sup> ), pH, NO <sub>3</sub> (mg l <sup>-1</sup> ), NH <sub>4</sub> (mg l <sup>-1</sup> )
Jeotermal sular	▪ Sodyum Absorpsiyon Oranı
Atık (deşarj) suları	▪ Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP)
Yeraltı suları	▪ Çözünabilir iyonlar (Ca <sup>+2</sup> , Mg <sup>+2</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )
İçme suları	▪ B ve P
	▪ Ağır metaller (Ni, Cr, Cd, Pb, Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Co, As)

**Çizelge 2.** Bitki örnekleri ve laboratuvar analiz türleri

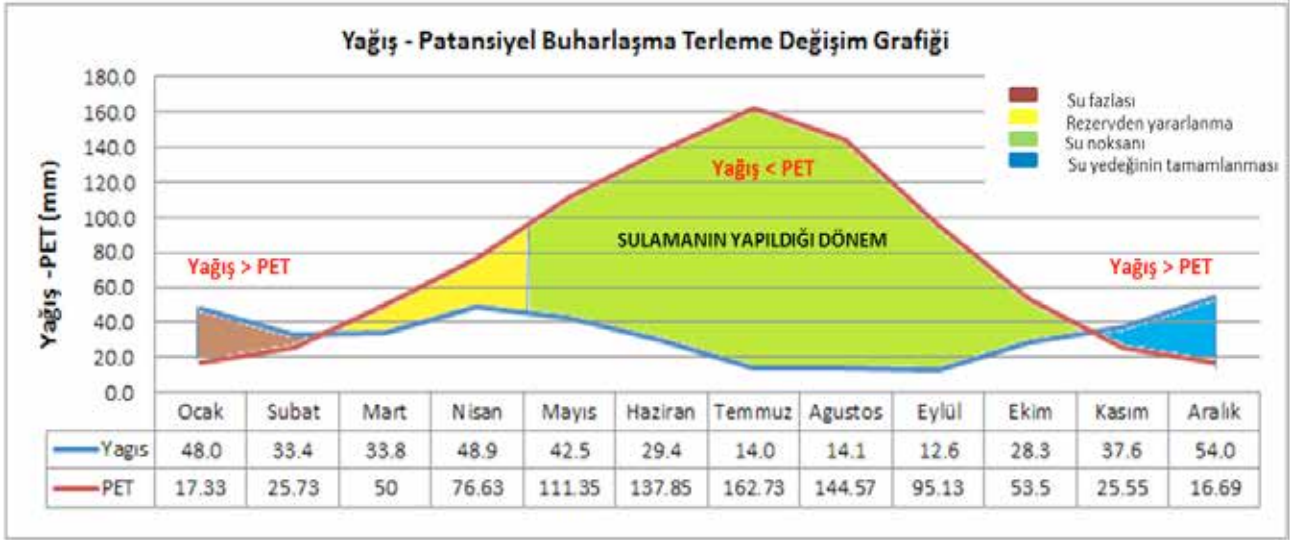
**Table 2.** Plant samples and types of laboratory analysis

Bitki türleri	Bitki aksamaları	Laboratuvar analizleri
Buğday	Yaprak-Kök	
Domates	Yaprak	
Şeker pancarı	Yaprak-Kök	Mg, Ca, K, Na, B, P, Fe, Zn,
Havuç	Yaprak-Kök	Mn, Cu, S, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, As, N, Mo
Yonca	Yaprak-Gövde	

**Çizelge 3.** Çalışma alanına ait su bilançosu

**Table 3.** Water budget for study area

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ort. Sic.	1.1	2.8	7.0	12.4	17.4	21.5	24.8	24.4	20.0	14.0	7.5	3.0	13.0
Yağış (mm)	48.0	33.4	33.8	48.9	42.5	29.4	14.0	14.1	12.6	28.3	37.6	54.0	396.6
PET (Potansiyel Buharlaşma)	17.33	25.73	50	76.63	111.35	137.85	162.73	144.57	95.13	53.5	25.55	16.69	917.06
Su Fazlası (mm)	30.67	7.67	0	0	0	0	0	0	0	0	12.05	37.31	87.7
Bitkiler için faydalı su yedeği	100	100	83.8	56.07	0	0	0	0	0	0	12.05	49.36	



**Şekil 2.** Çalışma alanının yağış-potansiyel buharlaşma terleme değişim grafiği

**Figure 2.** Precipitation - potential evaporation sweating change graph of the study area

Aylık bazda Yağış-Potansiyel buharlaşma farklarının hesaplanmasından elde edilen bitkiler için faydalı su yedeği değerlerinin sıfır (0) çıktığı aylar sulama ihtiyacının görüldüğü dönemleri yansıtmaktadır. Buna göre bölgenin tarımsal sulama dönemi Mayıs ayı başı ile Ekim ayı sonu olarak belirlenmiştir. Aynı veriler kullanılarak, üretilmiş yağış-potansiyel buharlaşma terleme değişim grafiği göz önüne alınarak su örnekleme tarihleri belirlenmiştir (Şekil 2).

2014 yılı sulama sezonu sonrası ile 2015 yılı sulama sezonu öncesi ve sonrası dönemlerini kapsayan 10 Ekim 2014, 29 Nisan ve 20 Ekim 2015 tarihlerinde 1.5 litrelik plastik şişelere konularak su örnekleri alınmıştır. Toplamda 51 adet su örneği alınmış olup (Şekil 3), su

örneklerinin alınmasında, bir önceki dönemde alınan noktalardan alınmasına özen gösterilmiştir.

#### Bitki örneklerinin alınması

Bitkilere ait örnekleme yapılırken, bitki gelişim dönemleri göz önüne alınmış ve her bitki için farklı tarih, bitki aksamı ve numune sayısına göre 5 kg'lık kağıt torbalara konulacak şekilde örnekler alınmıştır (Çizelge 4).

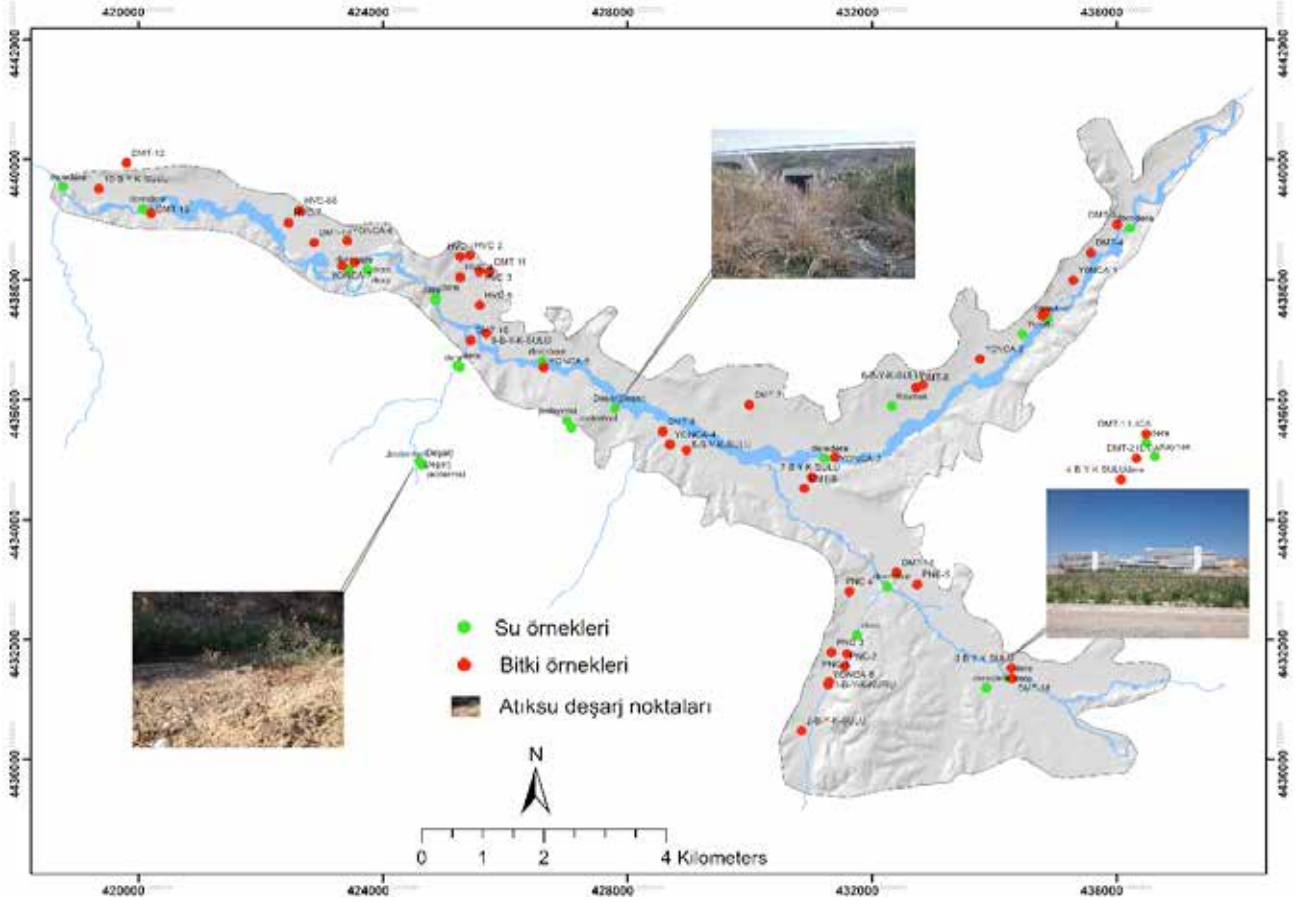
Çalışma alanı içerisinde buğdaydan 11 adet yaprak 11 adet kök, domatesten 16 adet yaprak, havuçtan 7 adet yaprak 7 adet kök, şeker pancarından 5 adet yaprak 5 adet kök, yoncadan 8 adet yaprak 8 adet gövde olmak üzere 47 noktadan toplam 78 adet bitki örnekleme yapılmıştır (Şekil 3).

**Çizelge 4.** Bitki örneklerinin alındığı dönem, kısım ve miktarları

**Table 4.** Period, parts and quantities of collected plant samples

Tarih	Bitki Türü	Bitki Aksamı	Gelişme Dönemi	Numune Alınan Kısım	Adet
15.05.2015	Buğday	Yaprak Kök	Başaklanma öncesi	Tepeye en yakın olgunlaşmış 4 yaprak	40-50
25.06.2015	Domates	Yaprak	Çiçeklenme öncesi veya sırasında	Büyüme ucundan itibaren 3. veya 4. yaprak	20-25
13.07.2015	Şeker Pancarı	Yaprak Kök	Mevsim ortası	Merkezdeki en genç yaprak ile dıştaki en yaşlı yaprak arasında kalan gelişimini tamamlamış genç yapraklar	30-40
05.10.2015	Havuç	Yaprak Kök	Kök ve baş irileşmeden önce	Olgunlaşmış en genç yaprak ve sapı	20-30
20.10.2015	Yonca	Yaprak Gövde	Çiçeklenme öncesi veya sırasında	Bitki boyunun tepeden itibaren 1/3 olgunlaşmış yaprak ayası	40-50

Kaynak: Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara



Şekil 3. Su ve bitki örneklerinin alındığı noktalar

Figure 3. Points of collected water and plant samples

### Su analizlerinin değerlendirilmesi

Canlı hayatının devamını sağlamada temel unsur olan su, doğal kaynakların en önemlilerinden birisidir. Suyun kalitesinin ve ortamında doğal dengesinin bozulması su kirliliği olarak kabul edilmektedir. Başlıca kullanım yerleri tarım ve endüstri alanlarıyla evsel gereksinimler olan suyun, potansiyel kullanımını kalitesi belirlemektedir (Akman vd., 2000). Yüze ve yeraltı su kaynaklarımızın kirlenmesine sebep olan farklı faktörler yer alırken bu faktörlerden biri de artan nüfus ve sanayileşmeye bağlı olarak ortaya çıkan atık sulardır. Özellikle tarımsal amaçlı kullanılan suların kirlenmesi tarımsal faaliyetlerde kalitenin azalmasına sebep olmaktadır. Çalışma alanındaki jeotermal atık suların etkisine bağlı olarak farklı amaçlar için (sulama, içme vb.) kullanılan suların kirlenme ve kalitelerindeki değişimlerinin ortaya konulması amacıyla analizlerden elde edilen veriler değerlendirilmeye çalışılmıştır. Değerlendirmeler yapılırken çalışma alanı içerisinde güney- doğu, kuzey-batı doğrultusunda dağılım gösteren

jeotermal kaynakların etkisini ortaya koyabilmek için, bu jeotermal kaynakların etkilediği alandaki su örnekleriyle, etkisinden uzak alanlardaki su örnekleri ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Suların tarımsal sulama suyu kalite sınıflarının belirlenmesinde 7 Ocak 1991 tarihli ve 20748 sayılı Resmî Gazetede yayınlanmış olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde belirtilen su kalite parametreleri eşik değerleri referans olarak kullanılmıştır (Anonim, 1991). İçme sularının değerlendirilmesinde TS266 standart değerleri ile Avrupa Çevre Ajansı (USEPA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verileri kullanılmıştır. Yine sulama sularında ağır metal ve iz elementlerin izin verilebilen maksimum sınır değerlerinin belirlenmesinde (Ayers ve Westcot, 1989), (National Academy of Science, 1972) ile 31 Aralık 2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmî gazetedeki yayınlanmış olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği / Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri eşik değerleri referans bilgi olarak kullanılmıştır (Anonim, 2004).

### Bitki analizlerinin değerlendirilmesi

Bitkiler gelişip fizyolojik dönemlerini tamamlamada, gereksinim duydukları çeşitli elementleri kolayca topraktan ve sudan kökleri vasıtasıyla almaktadırlar (Okçu vd., 2009). Bitkide bulunan bu elementlerin dışardan alındığı görüşü oldukça yaygındır (Brohi vd., 1994). Bundan dolayı bitki örneklerinde yapılan analizlerden elde

edilen sonuçlara göre, doğada bulunan bütün elementleri bitki dokularında bulmak mümkündür. Bitkiler kendilerine yararlı besin elementlerinin yanında, ağır metal ve iz elementlerini bünyelerine farklı yollarla alabilmektedirler. Bu yollardan en önemlisi köklerde katyon değişimi yoluyla alınmasıdır (Brooks, 1983). Aynı zamanda bitkilerin bu elementleri bünyelerine alabilme yeteneği

**Çizelge 5.** Jeotermal ve deşarj sularının tarımsal sulama suyu kalite sınıfları

**Table 5.** Agricultural irrigation water quality classes of geothermal and discharge waters

Kalite kriterleri	2014 SULAMA SEZONU SONRASI		2015 SULAMA SEZONU ÖNCESİ		2015 SULAMA SEZONU SONRASI	
	Jeotermal / Deşarj suları		Jeotermal / Deşarj suları		Jeotermal / Deşarj suları	
	Değerler	Sulama suyu sınıfı	Değerler	Sulama suyu sınıfı	Değerler	Sulama suyu sınıfı
pH	6.41-7.04	III. Sınıf su (kullanılabilir)	>9	V. sınıf (zararlı)	>9	V. sınıf (zararlı)
Sıcaklık	43-58.5	V. sınıf (zararlı)	43-58.5	V. sınıf (zararlı)	43-58.5	V. sınıf (zararlı)
EC <sub>25</sub> ×10 <sup>6</sup>	7790-12980	V. sınıf (zararlı)	11290-11980	V. sınıf (zararlı)	10040-12820	V. sınıf (zararlı)
Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) (% Na)	22.14-29.46	II. sınıf (iyi)	24.38-27.73	II. sınıf (iyi)	22.85-28.32	II. sınıf (iyi)
Sodyum Adsorbsiyon oranı (SAR)	20.13-29.17	V. sınıf (zararlı)	22.7-26.9	V. sınıf (zararlı)	20.94-27.64	V. sınıf (zararlı)
Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) meq l <sup>-1</sup>	(-12.90)-(-8.37)	I. sınıf (iyi)	(-8.79)-(-13.56)	I. sınıf (iyi)	(-14.87)-(-11.77)	I. sınıf (iyi)
Klorür (Cl <sup>-</sup> ), meq l <sup>-1</sup> mg l <sup>-1</sup>	1272.19-2310.31	V. sınıf (zararlı)	1776.49-2129.9	V. sınıf (zararlı)	1670.92-2359.15	V. sınıf (zararlı)
Sülfat (SO <sup>4-</sup> ), meq l <sup>-1</sup> mg l <sup>-1</sup>	1919.64-2837.16	V. sınıf (zararlı)	2522.28-2676.91	V. sınıf (zararlı)	2244.62-2812.50	V. sınıf (zararlı)
Toplam tuz konsantrasyonu (mg/l)	4985.6-8307.2	V. sınıf (zararlı)	7225,6-7667,2	V. sınıf (zararlı)	6425.6-8204.8	V. sınıf (zararlı)
Duyarlı Bitkiler						
Bor konst. (mg/l)	Orta Derecede Dayanıklı Bitkiler 8.19-15.84	V. sınıf (zararlı)	5.55-9.60	V. sınıf (zararlı)	12.15-16.40	V. sınıf (zararlı)
Dayanıklı Bitkiler						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> veya NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg l <sup>-1</sup>	0.16-19.91	III. sınıf (kullanılabilir)	0.01-7.51	II. sınıf	0.85-14.81	III. sınıf (kullanılabilir)
Tuzluluk Alkalilik sınıfı	T4 – A4	Çok yüksek tuzlu ve sodyumlu	T4-A4	Çok yüksek tuzlu ve sodyumlu	T4-A4	Çok yüksek tuzlu ve sodyumlu

mevsime, iklime, toprak koşullarına ve bitki türlerine bağlı olarak oldukça değişkendir. Her bitkinin element içeriği ve elementlere karşı toleransı farklıdır (Dudka vd., 1995). Bundan dolayı, bu çalışmada seçilen her bir bitki türü üzerinde olası ağır metal ve iz element birikimlerinin olup olmadığını ortaya koyabilmek için, bitki besin elementleri ile ağır metal ve iz elementlerin bitkilerdeki fazlası, zararlı (toksik) olabilecek seviyelerinin bilinmesi gerekmiştir. Bunun için analizi yapılan her bir elementin ilgili bitki için toksitlik sınır değerleri, yapılmış çalışmalardan elde edilen literatür bilgilerinin derlenmesiyle belirlenmiştir. Bitkiler üzerinde görülen kirlenme potansiyelinin belirlenmesinde biyokonsantrasyon faktörü (BKF) değerlerinden yararlanılmıştır. Biyokonsantrasyon faktörü, bitkinin etrafındaki yüzey ve yeraltı sularından veya topraktan elementleri bünyesine alma derecesini gösteren bir faktördür (Nguyen vd., 2005). Bitki bünyesindeki elementin birikim kapasitesini belirlemek için kullanılan biyokonsantrasyon faktörü;

formülü kullanılarak hesaplanmıştır.  $BKF = \frac{S_B}{S_E}$

$S_B$ : bitki bünyesinde analizle ölçülen element konsantrasyon değeri,

$S_E$  ise ilgili elementin o bitki bünyesinde bulunması gereken maksimum eşik değerini göstermektedir.

Seçilen her bir bitki türü için Eşitlik 1 kullanılarak bitki bünyesinde ölçülen element konsantrasyonu değerleri normalize edilmiş ve biyokonsantrasyon faktör grafiklerinin oluşturulması için birleştirilmiş biyokonsantrasyon faktörü indeks değerleri (BBKF) hesaplanmıştır. Bunu hesaplarken;

formülü kullanılmıştır.  $BBKF = \frac{\frac{S_B}{S_E}}{\frac{S_B}{S_{Ort}}}$

$S_{Ort}$ : bitkide ilgili elementin n sayıda ölçülen değerlerin ortalamasını göstermektedir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Su analizlerinin değerlendirilmesinden elde edilen bulgular

Su örneklerine ait analiz sonuçlarının değerlendirmeleri yapılırken her su grubu kendi içinde değerlendirilmiş, özellikle sulama suyu olarak kullanılan dere suları ise jeotermal

kaynakların çalışma alanı içerisindeki genel konumlarına bağlı olarak, jeotermallerin etkisi altında ve etkisi altında bulunmayan sular olarak iki grup şeklinde değerlendirilmiştir. Buna göre; Jeotermal ve deşarj sular ile dere sularının tarımsal sulama suyu kalite sınıfları Çizelge 5 ve Çizelge 6 olarak verilmiştir.

Sulara ait kalite parametrelerinin analiz değerleri çizelgelerde maksimum ve minimum veri aralığı olarak verilmiştir. Bu suların tarımsal sulama suyu amacıyla kullanılabilirlik oranları tespit edilmiş olup dönem ve gruplandırılmış sular bazında Çizelge 7'de yüzde değer olarak belirtilmiştir.

Çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar, deşarj suları ve dere suları, bünyelerinde izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksit element konsantrasyonları göz önüne alınarak değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular Çizelge 8'de belirtilmiştir. Çizelge de sadece eşik değerin üzerindeki elementler verilmiştir.

Halk arasında tedavi amaçlı içilerek kullanılan jeotermal kaynak suları ile yine evlerden alınan içme suları; TS266, ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'a ait eşik değerler kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde WHO'nun 1993 yılında ve USEPA'nın ocak 2001 yılında yayınladıkları bildirimler ile içme sularında bulunabilecek en yüksek arsenik (As) miktarı 0,05 mg L<sup>-1</sup>'den 0,01 mg L<sup>-1</sup> değerine indirilmesi gözönüne alınmış ve Çizelge 9 elde edilmiştir.

### Bitki analizlerinin değerlendirilmesinden elde edilen bulgular

Bitki analizlerine ait verilerin değerlendirilmesinden elde edilen bulgular grafik şeklinde verilmiştir. Söz konusu bitkiler için kirlenme potansiyellerinin belirlenmesinde kullanılan biyokonsantrasyon indeks değerlerinin elde edilmesi için, her bir bitki için element bazında toksitlik sınır değerleri; yapılmış çalışmalardan elde edilen bilgilerinin derlenmesiyle belirlenmiştir (Çizelge 10). Toksiklik sınır değerleri kullanılarak elde edilen biyokonsantrasyon indeks değerleri, birleştirilmiş biyokonsantrasyon indeks değerlerine dönüştürülerek her bitki için bitkinin ilgili aksamalarında element bazında birikim düzeyleri grafiklendirilmiştir (Şekil 4). Grafiklere göre indeks değeri 1 (Bir) 'in üzerinde olan her bir elementin o bitki türü için kirlenme boyutunda olduğu kabul edilmiştir.



**Çizelge 6.** Dere sularının tarımsal sulama suyu kalite sınıfları  
**Table 6.** Agricultural irrigation water quality classes of stream waters

Kalite kriterleri	2014 SULAMA SEZONU SONRASI		2015 SULAMA SEZONU ÖNCESİ		2015 YILI SULAMA SEZONU SONRASI	
	Dere suyu	Sulama suyu sınıfı	Dere suyu	Sulama suyu sınıfı	Dere suyu	Sulama suyu sınıfı
pH	7.37-8.25	III. Sınıf (kullanılabilir)	8.6-9.3	V. sınıf (zararlı)	8.6-9.3	V. sınıf (zararlı)
Sıcaklık	14.5-22.5	I. sınıf (çok iyi)	14.5-22.5	I. sınıf (çok iyi)	14.5-22.5	I. sınıf (çok iyi)
EC <sub>25</sub> x10 <sup>6</sup>	780-11330	V. sınıf (zararlı)	3120-7970	V. sınıf (zararlı)	2530-7570	V. sınıf (zararlı)
Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) [% Na]	0.29-27.91	II. sınıf (iyi)	0.57-14.82	I. sınıf (çok iyi)	1.04-14.42	I. sınıf (çok iyi)
Sodyum Adsorpsiyon oranı (SAR)	1.05-27.11	V. sınıf (zararlı)	1.24-12.7	II. sınıf (iyi)	1.57-12.28	II. sınıf (iyi)
Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) meq l <sup>-1</sup>	(-11.48)-0.14	I. sınıf (iyi)	(-105.8)-11.11	I. sınıf (çok iyi)	(-49.93)-(-7.63)	I. sınıf (çok iyi)
Klorür (Cl <sup>-</sup> ), meq l <sup>-1</sup>	24.46-1985.86	V. sınıf (zararlı)	40.64-1140.47	V. sınıf (zararlı)	83.13-910.34	V. sınıf (zararlı)
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ), meq l <sup>-1</sup>	58.23-2622.24	V. sınıf (zararlı)	675.34-5622.91	V. sınıf (zararlı)	518.49-2744.74	V. sınıf (zararlı)
Toplam tuz konsantrasyonu (mg/l)	499.2-7251.2	V. sınıf (zararlı)	1210.24-5676.8	V. sınıf (zararlı)	1619.2-4844.8	V. sınıf (zararlı)
<b>Duyarlı Bitkiler</b>						
Bor konst. Orta Derecede (mg/l)	0.25-14.66	V. sınıf (zararlı)	3.94-6.01	V. sınıf (zararlı)	2.58-8.74	V. sınıf (zararlı)
<b>Dayanıklı Bitkiler</b>						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> veya NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg l <sup>-1</sup>	1.46-48.31	IV. sınıf (ihtiyatla kullanılmali)	0.01-19.91	III. sınıf (kullanılabilir)	1.63-3.75	I. sınıf (çok iyi)
Tuzluluk Alkallilik sınıfı	T4-A1 ,A2,A4	Çok yüksek tuzlu ve orta, çok yüksek sodyumlu	T4-A2,A4	Çok yüksek tuzlu ve orta, çok yüksek sodyumlu	T4A4,A2,A1	Çok yüksek tuzlu orta ve çok yüksek sodyumlu
Tuzluluk Alkallilik sınıfı	T4-A1 ,A2,A4	Çok yüksek tuzlu ve orta, çok yüksek sodyumlu	T4-A2,A4	Çok yüksek tuzlu ve orta, çok yüksek sodyumlu	T4A4,A2,A1	Çok yüksek tuzlu orta ve çok yüksek sodyumlu
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> veya NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg l <sup>-1</sup>	1.46-48.31	IV. sınıf (ihtiyatla kullanılmali)	0.01-19.91	III. sınıf (kullanılabilir)	1.63-3.75	I. sınıf (çok iyi)
Tuzluluk Alkallilik sınıfı	T4-A1 ,A2,A4	Çok yüksek tuzlu ve orta, çok yüksek sodyumlu	T4-A2,A4	Çok yüksek tuzlu ve orta, çok yüksek sodyumlu	T4A4,A2,A1	Çok yüksek tuzlu orta ve çok yüksek sodyumlu

**Çizelge 7.** Çalışma alanındaki suların sulama suyu kullanılabilirlik oranları  
**Table 7.** Irrigation water availability rates of the study area waters

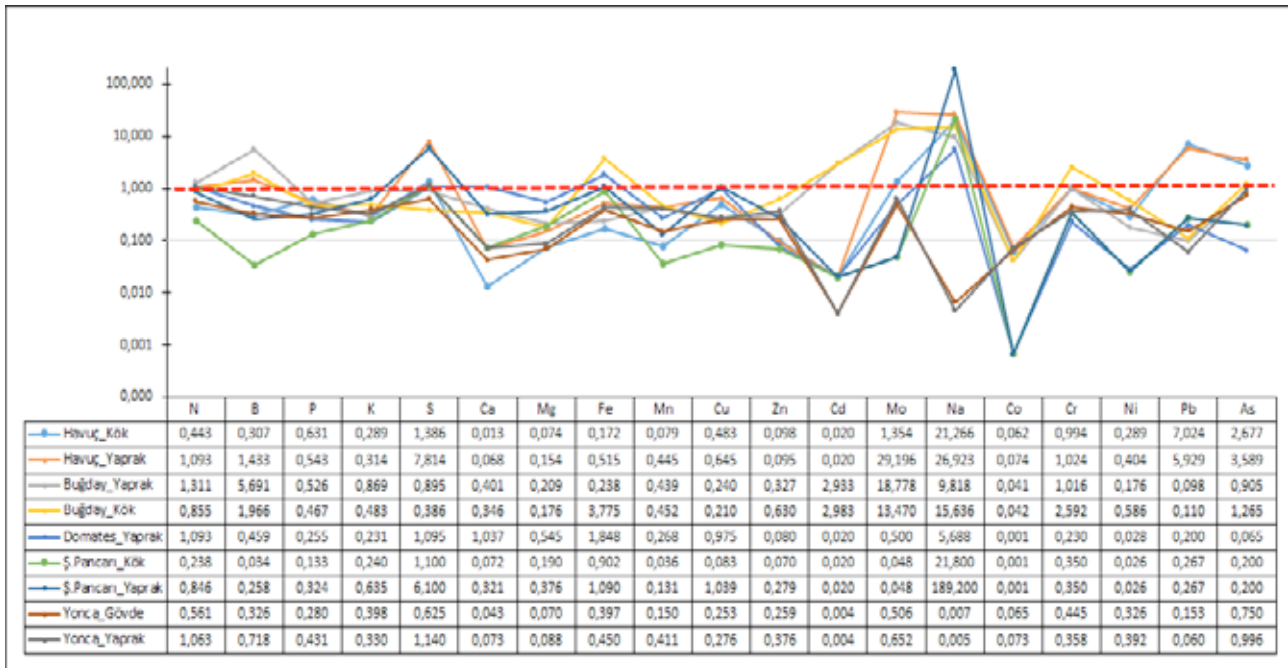
2014 yılı sulama sezonu sonrası	
Sular	Sulama Suyu Kullanılabilirlik Oranı (%)
Jeotermal/Deşarj suları	33.3
Dere suyu	41.6
2015 yılı sulama sezonu öncesi	
Sular	Sulama Suyu Kullanılabilirlik Oranı (%)
Jeotermal/Deşarj suları	25
Dere suyu (jeotermal Suların Etkilediği)	41.6
Dere suyu (Jeotermal Suların Etkilemediği)	83.3
2015 yılı sulama sezonu sonrası	
Sular	Sulama Suyu Kullanılabilirlik Oranı (%)
Jeotermal/Deşarj suları	25
Dere suyu (jeotermal Suların Etkilediği)	33.3
Dere suyu (Jeotermal Suların Etkilemediği)	91.6

**Çizelge 8.** Çalışma alanındaki sulara izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksit element konsantrasyon değerleri  
**Table 8.** Maximum heavy metal and toxic element concentration values allowed in the study area waters

2014			2015			
Nokta No	Mo ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	B (ppb)	Nokta No	Mo ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	As ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	B (ppb)
J1	52.9	13.47	Kaynak-1	29.22	234.57	0.55
J2	17.3	15.84	Dere-15	4.83	35.65	0.73
D <sub>sj</sub> 1	31.0	15.23	Dere-6	4.97	28.16	0.8
D <sub>sj</sub> 2	36.2	8.19	Dere-5	4.48	26.93	0.78
D <sub>sj</sub> 3	29.6	14.46	Kaynak-2	9.17	31.06	0.83
Dere1	52.7	14.66	Dere-4	5.05	30.58	1.06
Dere2	52.9	1.78	T2-Dsj	7.88	82.00	16.4
Dere3	67.4	1.96	Dere-7	7.99	51.13	2.6
Dere4	39.2	0.25	Dere-8	8.86	47.26	2.77
Dere5	67.0	2.56	Dere-9	7.76	51.18	2.73
Dere6	51.9	2.61	Dere-10	8.41	54.78	2.93
			Dere-11	7.59	49.16	2.71
			Dere-12	7.43	51.70	2.68
			Dere-13	13.24	28.50	8.74
			T1-lcm	11.33	45.30	12.15
			T1-Dsj	14.51	43.35	0.00
			T2-Htt	4.42	52.70	12.15
			Dere-3	19.80	94.24	3.68
			Dere-2	16.89	65.26	2.58
			Dere-1	26.90	42.26	4.01

**Çizelge 9.** Çalışma alanındaki içme sularının arsenik ve bor konsantrasyon değerleri  
**Table 9.** Arsenic and boron concentration values of drinking waters in study area

Örnekler	Bor (mg L <sup>-1</sup> )		Arsenik (µg L <sup>-1</sup> )	
	Ölçülen değer	İzin verilen mak. değer	Ölçülen değer	İzin verilen mak. değer
Je-1-Icm	12.15	2	43.35	10 (0.01ppm)
Dsj-1-Icm	16.40		43.35	
Kaynak-1	0.55		234.37	
Kaynak-2	0.83		31.06	



**Şekil 4.** Bitkilerin birleştirilmiş biyokonsantrasyon indeks değer ve grafikleri  
**Figure 4.** Consolidated bioconcentration index values and graphs of plants

**Çizelge 10.** Bitkiler için toksisite sınırları değerleri  
**Table 10.** Toxicity limit values for plants

BUĞDAY		YONCA		HAVUÇ		DOMATES		ŞEKER PANCARI	
ELEMENT SINIRI/FAZLA	LİTERATÜR	ELEMENT SINIRI/FAZLA	LİTERATÜR	ELEMENT SINIRI/FAZLA	LİTERATÜR	ELEMENT SINIRI/FAZLA	LİTERATÜR	ELEMENT SINIRI/FAZLA	LİTERATÜR
N (%)	>3	N (%)	>5.0	N (%)	>3.50	N (%)	>4.50	N (%)	>5.0
B (ppm)	>10	B (ppm)	>80	B (ppm)	>100	B (ppm)	>75	B (ppm)	201
P (%)	0.51	P (%)	>0.70	P (%)	>0.50	P (%)	>1.20	P (%)	>1.1
K (%)	3.01	K (%)	>3.50	K (%)	>4.0	K (%)	>10	K (%)	>6.0
S (%)	>0.40	S (%)	>0.50	S (%)	>0.1	S (%)	>0.8	S (%)	>0.1
Ca (%)	>1	Ca (%)	>3.0	Ca (%)	>3.0	Ca (%)	>2.40	Ca (%)	>1.5
Mg (%)	>1	Mg (%)	>1.0	Mg (%)	>0.50	Mg (%)	>0.80	Mg (%)	>1.0
Fe (ppm)	301	Fe (ppm)	>250	Fe (ppm)	>300	Fe (ppm)	>300	Fe (ppm)	>140
Mn (ppm)	201	Mn (ppm)	>100	Mn (ppm)	>200	Mn (ppm)	>250	Mn (ppm)	>360
Cu (ppm)	51	Cu (ppm)	>30	Cu (ppm)	>15	Cu (ppm)	>50	Cu (ppm)	10
Zn (ppm)	71	Zn (ppm)	>70	Zn (ppm)	>250	Zn (ppm)	>250	Zn (ppm)	>80
Cd (ppm)	1.0	Cd (ppm)	> 5.0	Cd (ppm)	1.0	Cd (ppm)	1.0	Cd (ppm)	1.0
Mo (ppm)	> 0.18	Mo (ppm)	>5.0	Mo (ppm)	> 1.50	Mo (ppm)	>0.1	Mo (ppm)	> 2.10
Na (%)	0.01	Na (%)	>15	Na (%)	>0.01	Na (%)	>0.01	Na (%)	>0.01
Co (ppm)	15	Co (ppm)	> 5.0	Co (ppm)	15	Co (ppm)	15	Co (ppm)	15
Cr (ppm)	5	Cr (ppm)	10	Cr (ppm)	>2	Cr (ppm)	>2	Cr (ppm)	>2
Ni (ppm)	10	Ni (ppm)	>5.0	Ni (ppm)	>5	Ni (ppm)	>5	Ni (ppm)	>5
Pb (ppm)	30	Pb (ppm)	30	Pb (ppm)	>0.3	Pb (ppm)	>0.3	Pb (ppm)	>0.01
As (ppm)	1.0	As (ppm)	3.1	As (ppm)	1.0	As (ppm)	1.0	As (ppm)	1.0

## SONUÇLAR

Çalışma alanı içerisinde bulunan suların elde edilen bulgular tarımsal sulama suyu kalite kriterlerine göre değerlendirilmiş ve buna göre; jeotermal kaynaklar ve deşarj edilen atık suların sulama sezonu öncesi ve sulama sezonu sonrası dönemlerinde sıcaklık, elektriksel iletkenlik (Ec), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), klorür ( $Cl^-$ ), sülfat ( $SO_4^-$ ), toplam tuz konsantrasyonu, bor ve tuzluluk alkalilik sınıfları açısından V. Sınıf kullanılamaz su kalitesinde olduğu belirlenmiştir. Bu sulara ait ağır metal ve iz elementlerden; Molibden (Mo), Bor (B) ve Arsenik (As) konsantrasyon düzeyleri de sulama sularında bulunması gereken limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Jeotermal kaynak ve atık suların bünyesinde bu kadar yüksek düzeylerde bulunan elementler, karıştığı İlhan deresi su örneklerine de yansımış durumdadır. Buna göre; jeotermal kaynakların etkisi altında bulunmayan dere suları tarımsal sulama suyu kalite kriterlerini sağlamış olup, % 83.3-91.6 oranında sulama suyu kullanılabilirlik düzeyine sahip olmalarına rağmen, jeotermal kaynakların etkisi altında bulunan ve deşarj edilen noktalardan itibaren yer alan dere sularında ise, pH, elektriksel iletkenlik (Ec), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), klorür ( $Cl^-$ ), sülfat ( $SO_4^-$ ), toplam tuz konsantrasyonu, bor ve tuzluluk alkalilik sınıfları açısından jeotermal kaynaklarla paralellik göstermekte olup, V. Sınıf sulama suyu kalitesinde ve % 33.3-41.6'lık sulama suyu kullanılabilirlik oranlarına sahip oldukları tespit edilmiştir. Dere sularında gözlenen Mo, B ve As konsantrasyon düzeyleri de yine sulama sularında bulunması gereken limitlerin üzerinde olup, bu suların jeotermal kaynak ve atık suların etkilendiği açıkça görülmektedir.

Çalışma alanındaki jeotermal saha içerisinde içme suyu olarak kullanılan suların, değerlendirilmesinde; Arsenik düzeyinin normal limitlerin 3-23 katı, Bor düzeyinin ise 6-8 katı daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Sulama suyu kalitesi olarak kullanılamaz durumda bulunan bu sularla sulanan tarımsal ürünlerin aksamalarında bazı ağır metal ve iz elementlerin kirlilik boyutunda birikim sağlandığı görülmüştür. Buna göre; Buğday\_yaprak 'ta N, B, Cd, Mo, Na, Cr; Buğday\_Kök'te B, Fe, Cd, Mo, Na, Cr, As; Domates\_Yaprak'ta N, S, Ca, Fe, Na; Şekerpancarı\_Yaprak'ta S, Fe, Cu, Na; Şekerpancarı\_Kök'te S ve Na; Havuç\_Yaprak'ta N,

B, S, Mo, Na, Cr, Pb ve As; Havuç\_Kök'te S, Mo, Na, Pb ve As; Yonca\_Yaprak'ta N ve S elementlerce birikim gözlenirken Yonca\_Gövde'de ise herhangi bir element açısından birikme gözlenmemiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TAGEM/TSKAD/15/A13/P08/07 nolu proje kapsamında yürütülmüştür. Desteklerinden dolayı TAGEM'e teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Akman Y, Ketenoğlu O, Evren H, Kurt L, Düzenli S (2000). Çevre kirliliği, çevre biyolojisi. Palme Yayıncılık, Ankara.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Anonim (1991). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, Resmi Gazete sayı: 20748, Ankara.
- Anonim (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, Resmi Gazete sayı: 25687, Ankara.
- Ayers RS, Westcot DW (1989). Water quality for agriculture.FAO, Irrigation and Drainage pp 29, Rev.1, p.174.
- Birkle P, Merkel B (2000). Environmental impact by spill of geothermal fluids at the geothermal field of Los Azufers, Michoacan Mexico. Water Air and Soil Pollution, 124 (3-4), 371-410.
- Brohi A, Akgün A, Rüştü M, Sabit K.E (1994). Bitki Besleme. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:4, Kitaplar Serisi:4, Tokat.
- Brooks RR (1983). Biological methods of prospecting for minerals, John Willey and Sons, NewYork, s. 332.
- Camgöz B, Saç MM, Bolca M, Özen F, Oruç ÖE, Demirel N (2010). Termal suların radyoaktivite ve kimyasal içeriklerinin incelenmesi; İzmir, Seferihisar bölgesi örneği, Ekoloji Dergisi, 19(76):78-87.
- Codex Alimentarius Commission (2011). Codex Alimentarius Commission (CAC), <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>
- Dudka S, Piotrowska M, Chlopecka A,Witek T (1995). Trace metal contamination of soils and plants by the mining and smelting industry in upper silesia, South Poland, Journal of Geochemical Exploration, 52. 237-250.
- Edwards DG (1971). Concepts of essentiality and function of nutrients.
- Eroğlu V (2008). Ülkemizde termal, maden suları kaynakları ve kullanımı. Termal ve Maden Suları Konferansı, 24-25 Nisan, Afyonkarahisar.
- Eşder T (1981). Türkiye jeotermal enerji kaynakları ve seracılıktaki önemi. I. Türkiye Seracılık Kongresi, Etibank Matbaası, 81-108, Antalya.

Jones Jr. JB, Wolf B, Mills HA (1991). Plant analysis handbook micro-macro Publishing inc.

Köksoy M, Topçu S (1976). Jeokimyasal prospeksiyonun tanıtımı ve laboratuvar teknikleri. M.T.A. Eğitim Serisi Kitapları, 16, p. 96.

Mills H.A, Jones Jr. J.B (1996). Plant analysis handbook II. MicroMacro Publishing,

Okcu M, Tozlu E, Kumlay AM, Pehlivan M (2009). Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. Alinteri 17 (B): 14-26.

Özbek H, Kaya Z, Gök M, Kaptan H (1995). Toprak bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Genel Yayın No: 73, Ders Kitapları Yayın No:16, Adana.

Pais I, Jones Jr., JB (1997). The Handbook of trace elements, St. Lucie Pres, Boca Raton, Fla., pp. 223.

Rose AW, Hawkens HE, Webb JS (1979). Geochemistry in mineral exploration (2nd edition). Academic Press, London.

TSE (1987). TS-266 İçme suyu standartları, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.

USEPA (2001). Drinking water arsenic rule history. <https://www.epa.gov/dwreginfo/drinking-water-arsenic-rule-history>.

WHO (1993). Guidelines for Drinking-water Quality, set up in Geneva Read more: <http://www.lenntech.com/applications/drinking/standards/who-s-drinking-water-standards.htm#ixzz4oPJ2H7q4>.