



ULUSLARARASI TARIM, ÇEVRE ve SAĞLIK

KONGRESİ 26-28 EKİM 2018

Adnan Menderes Üniversitesi
Atatürk Kültür Merkezi, **AYDIN**



Organizasyon Sekreteryası

MOTTO
www.motto.tc

0232 446 06 10
info@motto.tc

246-) KAYSERİ'DE İÇME SUYU KALİTESİNİN MEKÂNSAL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

Nuray Ates¹, Filiz Dadaser-Celik¹, Sehnaz Sule Kaplan-Bekaroglu², Buket Ergin³

¹*Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye*

²*Su Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye*

³*Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi*

Sorumlu yazar: e-mail: nuraya@erciyes.edu.tr

Özet

Kayseri 1,5 milyon nüfusu ile İç Anadolu'nun büyükşehirlerden biridir. Son yıllarda, hızlı nüfus artışı ve endüstrileşme nedeni ile Kayseri'de içme su ihtiyacı önemli ölçüde artmıştır. Kayseri, içme suyunu bütünüyle yeraltı suyundan karşılayan nadir şehirler arasındadır. Kayseri'de yeraltı suyu hiçbir arıtım uygulanmadan sadece klorlama sonrasında şebekeye verilmektedir. Bu çalışmada, 12 ay boyunca (Ocak-Aralık 2016), 18 depodan ve dağıtım şebekesi üzerinde 32 noktadan alınan su örnekleri analiz edilmiş ve su kalitesinin mekânsal ve zamansal değişimleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, ölçülen parametreler kullanılarak Su Kalite İndeksi (WQI) hesaplanmıştır. Depo ve şebekede ortalama pH değeri 7,0-7,5 arasında değişmekte ve yıllık ortalama pH değeri 7,3'tür. Yıllık ortalama iletkenlik değeri 334 µS/cm iken, yıl içinde 124 ile 658 µS/cm arasında değişkenlik göstermiştir. Depo ve şebekede toplam organik karbon (TOK) değeri 0,06 ile 2,67 mg/L arasında ve yıllık ortalama 0,46 mg/L olarak tespit edilmiştir. Sülfatın yıllık ortalama değeri 22 mg/L ve yıl içinde 5 ile 81 mg/L arasında değişmiştir. Depolarda 0,14 ile 0,31 mg/L arasında değişiklik gösteren florür, şebekede 0,04 ile 0,39 mg/L aralığında gözlenmiştir. Yıllık ortalama değeri 132 mg CaCO₃/L olan alkalinite 60 ile 251 mg CaCO₃/L aralığında değişirken, sertlik değişimi 68 ile 277 mg CaCO₃/L'dir. Nitrat seviyesi ortalama 18 mg/L ve depo ve şebeke noktalarında 7 ile 38 mg/L arasındadır. Sonuçlara göre Kayseri'de içme suyu kaynağı olan yeraltı suyu İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te belirlenen içme suyu kalitesini sağlamaktadır. Yüksek nitrat değerleri yeraltı suyunun kontaminasyona uğramış olabileceğini göstermektedir. İletkenlikteki geniş değişim aralığı yeraltı suyunun temas ettiği jeolojik formasyondan dolayı olduğu düşünülmektedir. Yeraltı suyu kaynaklarının tamamının sertliği sert ve çok sert sınıfında yer almaktadır. WQI değeri incelendiğinde bütün noktalarda "çok iyi" su kalitesi olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: İçme suyu, su kalitesi, yeraltı suyu, Kayseri

SPATIAL AND TEMPORAL CHANGES IN DRINKING WATER QUALITY IN KAYSERİ

Nuray Ates¹, Filiz Dadaser-Celik¹, Sehnaz Sule Kaplan-Bekaroglu², Buket Ergin³

¹*Dept. Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Erciyes University, Kayseri, Turkey*

²*Water Institute, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey*

³*Kayseri Water and Sewerage Administration*

Abstract

Kayseri is one of the largest cities in the Central Anatolia region with a population of about 1.5 million. Water requirements of Kayseri have increased significantly in recent years due to the rapid population growth and industrial development. Kayseri is one of the cities, which obtain drinking water solely from ground water resources. Ground water is supplied to the network after chlorination only, without any further treatment. In this study, the physicochemical properties of water in 18 reservoirs and 32 distribution points were monitored for a year and the spatial and temporal changes in water quality were evaluated. The water quality was also evaluated by calculating Water Quality Index (WQI). The average annual pH value of the reservoirs and distribution points was in the range of 7.0-7.5 (ave. 7.3). The average annual electrical conductivity changed between 124 and 658 $\mu\text{S}/\text{cm}$ with an average of 334 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The variation of TOC in reservoirs and distribution points was between 0.06 and 2.67 mg/L (ave. 0.46 mg/L). Sulfate levels were between 5 and 81 mg/L with an average of 22 mg/L. The average fluoride values in the reservoirs and distribution system vary between 0.14-0.31 mg/L and 0.04- 0.39 mg/L, respectively. While alkalinity was between 60 and 251 mg CaCO_3/L and the average was 132 mg CaCO_3/L , hardness variation was from 68 to 277 mg CaCO_3/L . Nitrate levels were similar in reservoirs and distribution points that it was varied between 7 and 38 mg/L with an average of 18 mg/L. The results showed that ground water quality in Kayseri met the requirements of drinking water quality, which was regulated in Regulation Concerning Water Intended for Human Consumption. However, nitrate levels are much higher than expected in the reservoirs and distribution systems. The high nitrate value suggests that groundwater might have been exposed to contamination. The large variability in conductivity can be due to the geological formations that the groundwater contacts. In all reservoirs, the water was classified as hard and very hard. Based on WQI, the water quality is “excellent in all sampling points.

Key Words: Drinking water, water quality, ground water, Kayseri.

Giriş

Su, insanın vazgeçilmez bir ihtiyacıdır ve kirlenmeye en çok hassas olan ortamdır (Das ve Acharya, 2003). Son yüzyılda hızlı nüfus artışı ve endüstrileşmeye bağlı olarak içme ve kullanma suyu ihtiyacı hızla artmaktadır (Ramakrishnaiah vd., 2009). Tüm dünyada olduğu gibi, küresel ısınma, artan şehirleşme ve sanayileşmeye bağlı olarak Türkiye’de de kaliteli ve yeterli su kaynağı bulmak ve halkın kullanımına sunmak en önemli problemlerden birisidir. İçme suyu kalitesinin sağlanması ve içme suyu kaynaklarının korunması amacıyla yüksek standartların getirilmesi ve her geçen gün bu standartların artırılması içme suyu arıtımına olan ilgiyi arttırmaktadır.

Yeraltı su kaynakları doğası gereği dinamikdir ve sulama faaliyetlerinin, sanayileşmenin ve kentleşmenin artması gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu nedenle, yeraltı suyu kalitesinin sürekli izlenmesi yeraltı su kaynaklarını korumak ve yönetimi açısından oldukça önemlidir (Nagarajan et al., 2010). Yeraltı suyunun içilebilir yapısı esas olarak su numunesinin fiziko-kimyasal özelliklerine dayanır. Doğal yeraltı suyu kalitesi hem kayaçların litolojik ve jeokimyasal bileşimlerine hem de çeşitli hidrodinamik faktörlere bağlıdır (Back, 1996; Drever, 1982; Butler vd., 2005; Salem, 2007; Selvam vd., 2014). Yeraltı suyu sistemlerinin hidrokimyasal değerlendirmesi, genellikle yeraltı suyu kimyası ile ilgili çok miktarda bilginin varlığına dayanmaktadır. Yeraltı suyu kimyası, akış yolu boyunca genel jeoloji, çeşitli

kayaç türlerinin kimyasal bozunma derecesi, besleme suyunun kalitesi ve su-kayaç etkileşimi dışındaki kaynaklardan elde edilen girdiler gibi bir dizi faktöre bağlıdır. Bu faktörler ve etkileşimleri karmaşık bir yeraltı suyu kalitesi ile sonuçlanmaktadır (Afsin et al., 2006; Jang, 2010).

Dünyanın en eski şehirlerinden biri olan Kayseri (eski adıyla Mazaka, Kaisareia), klasik çağlarda Kapadokya denilen bölgede yer almaktadır. Kızılırmak'ın güneyindeki bu bölge İpek Yolu üzerindedir. Bu sebeple her dönem tüm ulusların dikkatini çekmiş ve birçok medeniyetin beşiği olmuştur. Kayseri'nin M.Ö. 4000 - 2000 yılları arasında 6000 yıllık bir geçmişi vardır (ÇŞB, 2011).

Kayseri, yaklaşık 1,5 milyon nüfusu ile, Türkiye'de içme suyunun tamamını yeraltı suyundan (kaynak suları ve kuyuları) temin edildiği nadir şehirlerden birisidir. Kentin içme ve kullanma suyu Erciyes Dağı'ndan beslenen bir kaynaktan (Beştepelere Yaylası) ve Kayseri Ovası'nda bulunan yaklaşık elli sondaj kuyusundan sağlanmaktadır (ÇOB, 2010). Yeraltı suyu rezervi 957,42 hm³/yıl olup 2015 yılında Kayseri Şehri'ne tahsis edilen içme ve kullanma suyu 207,14 hm³/yıl olarak gerçekleşmiştir (ÇŞB, 2016). Kentin içme ve kullanma suyunun alındığı bölge, Erciyes Dağı'nın eteklerinden beslenen genellikle basınçlı akifer sistemi biçimindedir. Sıkıştırılmış akifer kırılmış ve çatlamış bazalt, andezit ve tüf ve aglomeralardan oluşurken, örtü kayaları genellikle masif veya daha az kırık ve çatlamış bazaltlardan oluşur. Akifer sisteminin geniş bir besleme alanına sahip olması ve kar erimesi şeklinde beslenmenin özelliği olması nedeniyle akifer verimi yüksektir (ÇOB, 2010).

Bu çalışmanın amacı, Kayseri İli'nin içme suyu kalitesinin mekânsal ve zamansal değişimlerini belirlemek ve Su Kalitesi İndeksi'ne (WQI) göre su kalite sınıfını tespit etmektir.

Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında Kayseri şehir merkezini yansıtmaya amacı ile 18 adet depodan ve şebeke üzerinde 32 noktadan örnekleme yapılmıştır. Örnekleme yapılan noktalar harita üzerinde Şekil 1'de gösterilmekte ve isimleri Tablo 1 verilmektedir. Su numuneleri, Kayseri Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü (KASKİ) tarafından belirlenen ve Şekil 1'de haritada gösterilen depo ve şebeke noktalarından alınan numunelerde pH, iletkenlik (EC), sülfat, florür, nitrat, nitrit, amonyum, toplam organik karbon (TOK), toplam sertlik, alkalinite, klorür ve toplam siyanür parametreleri ölçülmüştür. Numunelerin fiziko-kimyasal analizleri KASKİ tarafından gerçekleştirilmiştir.

Su kalitesi indeksi (WQI) "Ağırlıklı Aritmetik İndeks" metoduna göre hesaplanmıştır (Tyagi vd., 2014; Yisa ve Jimoh, 2010; Akter vd., 2016). Her bir parametre için q_i kalite derecelendirme ölçeği, aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanmıştır:

$$q_i = (C_i/S_i) \times 100$$

Her parametre için bir kalite derecelendirme ölçeği (q_i), her bir su örneğindeki konsantrasyonunun (C_i) ilgili standardına (S_i) bölünüp 100 ile çarpılması ile hesaplanır. Nisbi ağırlık (W_i) ilgili parametrenin tavsiye edilen standart değerinin (S_i) ters oranının alınması ile hesaplandı:

$$W_i = 1/S_i$$

Toplam Su kalitesi İndeksi (WQI), her bir parametrenin nisbi ağırlığı (W_i) ile hesaplanmış derecelendirme ölçeğinin (q_i) çarpımının toplanmasıdır.

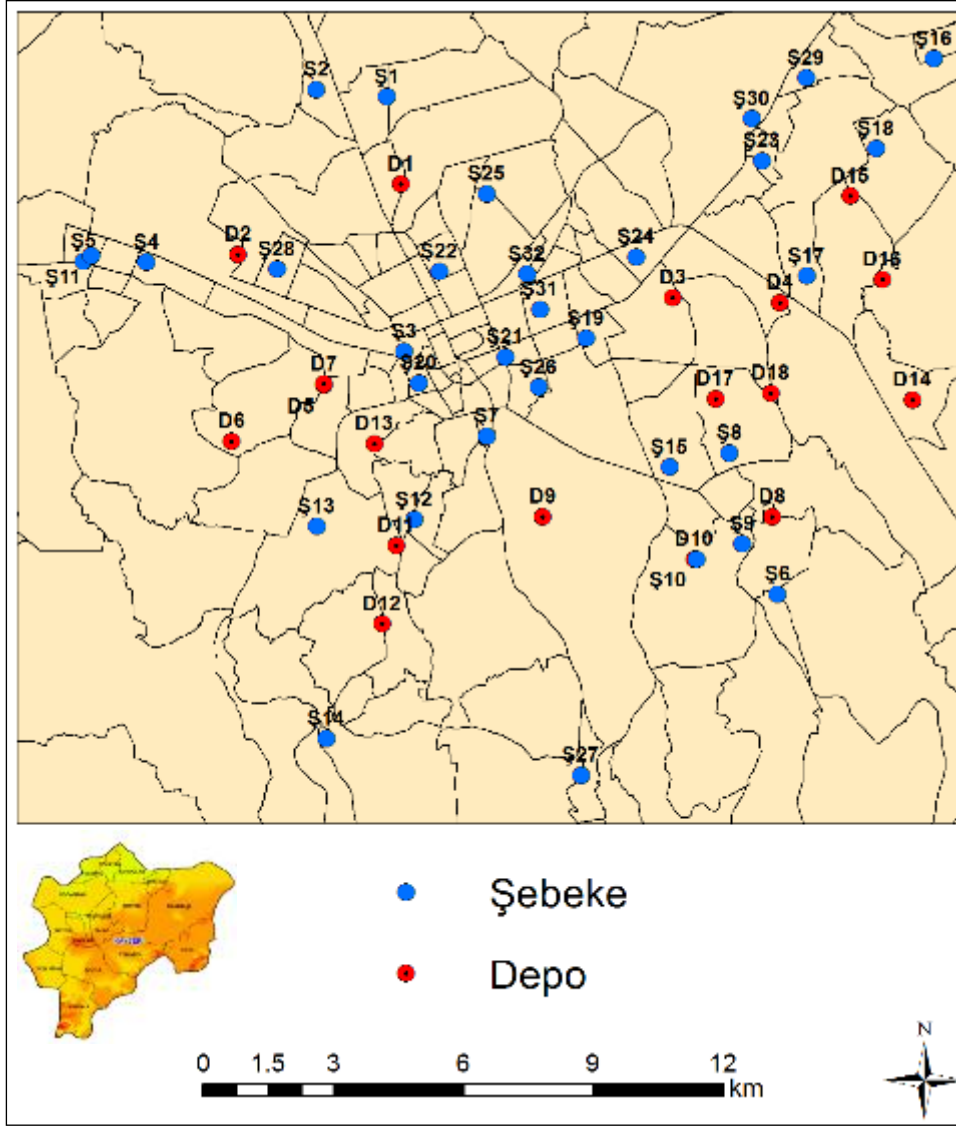
$$WQI = \left(\sum_{i=1}^{m} W_i q_i \right)$$

Belirli bir su kaynağının kalitesinin genel değerlendirmesi tüm parametrelerin su kalite indekslerinin (WQI) toplamının toplam nisbi ağırlıkların toplamına bölünmesi ile elde edilir:

$$\text{Overall WQI} = \frac{\sum q_i w_i}{\sum w_i}$$

Tablo 1. Numune alınan depo ve şebeke noktalarının isimleri

DepoNo	Depo Adı	Şebeke No	Şebeke Adı	Şebeke No	Şebeke Adı
1	Yeşil D.	1	Selimiye Ş.	17	Şirintepe Ş.
2	Keykubat D.	2	Aliye Tarman Ş.	18	Demokrasi Ş.
3	Anneler Parkı D.	3	Sanayi Ş.	19	Melikgazi Ş.
4	Konaklar D.	4	Osman Kavuncu Ş.	20	K.Mustafa Ş
5	Mahrumlar D1.	5	Selimiye Ş.	21	Kılıçaslan Ş.
6	Kulaklı D.	6	Gülistanevler Ş.	22	Yeni Ş.
7	Mahrumlar D2.	7	Esenyurt Ş.	23	Ahi Evran Ş.
8	Yeni Role D.	8	Mevlana Ş.	24	Yıldızevler Ş.
9	Gediris D.	9	Harman Ş.	25	Zümrüt Ş.
10	Ali Dağı D.	10	Çaybağları Ş.	26	Köşk Ş.
11	Eğribucak D.	11	Yeniköy Ş.	27	Hisarcık Ş.
12	Mezbahane D.	12	Selçuklu Ş.	28	Ziya Gökalp Ş.
13	Beştepeler D.	13	Eğribucak Ş.	29	Beyazşehir Ş.
14	Höyük D.	14	Hacılar Ş.	30	Cırgalan Ş.
15	Serkent D.	15	Yenidoğan Ş.	31	Mimarsinan Ş.
16	Bostanderesi D.	16	Cumhuriyet Ş.	32	Alsancak Ş.
17	Talas D.				
18	Kayabağ D.				



Şekil 1. Proje kapsamında seçilen numune alma noktaları

Bulgular ve Sonuç

Tablo 2 ve 3'te depo ve şebekeden alınan numunelerin pH, EC, sülfat, florür, nitrat, nitrit, amonyum, TOK, toplam sertlik, alkalinite, klorür ve toplam siyanür parametrelerinin yıllık ortalama değerleri görülmektedir. Depo ve şebekelerde pH değerinde değişiklik gözlenmemiştir. Depo ve şebeke numunelerinin yıllık ortalama pH değeri 7,3 olarak gözlenmiştir. Aylık bazda numunelerin pH değerleri 6,8 ile 8,1 arasında değişim göstermektedir. Genel olarak, tüm su kaynaklarında pH 7,1-8,0 arasında nötr seviyelerinde değişmektedir.

Tablo 2. Depolardan alınan örneklerin yıllık ortalama fizikokimyasal özellikleri

Depo Adı	pH	EC (µS/cm)	Sülfat (mg/L)	Florür (mg/L)	Amonyum (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Nitrit (mg/L)	TOK (mg/L)	T.Sertlik (mg/L)	Alkalinite (mg/L)	Klorür (mg/L)	T.Siyanür (µg/L)
Yeşil D.	42	548	58	0,19	0,02	27	0,04	0,79	158	179	42	6
Keykubat D.	59	573	45	0,20	0,03	16	0,04	0,63	173	179	59	9
Anneler Parkı D.	8	276	13	0,23	0,02	12	0,03	0,58	108	130	8	5
Konaklar D.	8	276	13	0,24	0,03	12	0,04	0,62	106	117	8	6
Mahrumlar D1	22	382	31	0,19	0,02	38	0,04	0,69	135	125	22	6
Kulaklı D.	22	379	31	0,19	0,01	37	0,04	0,74	126	126	22	6
Mahrumlar D2	21	368	29	0,19	0,02	35	0,04	0,72	125	120	21	8
Yeni Role D.	11	341	17	0,16	0,02	17	0,03	0,54	131	150	11	6
Gediris D.	13	360	21	0,15	0,02	23	0,03	0,55	143	143	13	8
Ali Dağı D.	13	342	19	0,15	0,02	19	0,03	0,45	133	139	13	8
Eğribucak D.	12	210	17	0,19	0,03	13	0,03	0,78	89	79	12	13
Mezbahane D.	10	208	14	0,14	0,03	13	0,03	0,59	87	80	10	8
Beştepeler D.	13	207	12	0,31	0,02	9	0,04	0,57	88	97	13	6
Höyük D.	4	444	9	0,15	0,02	7	0,04	0,39	197	234	4	8
Serkent D.	10	302	13	0,17	0,02	13	0,03	0,40	118	131	10	8
Bostanderesi D.	8	317	10	0,15	0,02	14	0,03	0,38	139	151	8	7
Talas D.	7	265	11	0,21	0,03	11	0,03	0,74	105	117	7	4
Kayabağ D.	7	255	11	0,20	0,04	11	0,03	0,74	105	118	7	8
Ort.	16	336	21	0,19	0,02	18	0,03	0,60	126	134	16	7
Min.	4	207	9	0,14	0,01	7	0,03	0,38	87	79	4	4
Max.	59	573	58	0,31	0,04	38	0,04	0,79	197	234	59	13

Tablo 3. Şebekeden alınan örneklerin yıllık ortalama fizikokimyasal özellikleri

Şebeke Adı	pH	EC (µS/cm)	Sülfat (mg/L)	Florür (mg/L)	Amonyum (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Nitrit (mg/L)	TOK (mg/L)	T.Sertlik (mg/L)	Alkalinite (mg/L)	Klorür (mg/L)	T.Siyanür (µg/L)
Boztepe Ş.	7,27	552	58	0,18	0,02	27	0,04	0,60	174	176	42	7
Erkilet Ş.	7,21	549	57	0,17	0,01	27	0,03	0,93	177	172	41	6
Sanayi Ş.	7,27	411	35	0,20	0,02	28	0,03	0,50	145	138	26	8
Osman Kavuncu Ş.	7,44	347	27	0,21	0,02	31	0,04	0,50	127	116	20	10
Selimiye Ş.	7,48	325	26	0,22	0,05	28	0,04	0,52	119	119	20	7
Gülistanevler Ş.	7,36	338	18	0,19	0,02	20	0,03	0,55	133	138	13	8
Esenyurt Ş.	7,31	358	22	0,17	0,02	24	0,03	0,47	143	147	14	8
Mevlana Ş.	7,44	324	17	0,18	0,02	18	0,03	0,41	129	136	12	7
Harman Ş.	7,42	344	18	0,17	0,02	20	0,03	0,46	137	147	13	8
Çaybağları Ş.	7,43	337	18	0,19	0,02	19	0,03	0,46	126	144	13	7

Yeniköy Ş.	7,1 3	359	29	0,22	0,02	33	0,04	0,73	138	120	20	6
Selçuklu Ş.	7,5 4	214	17	0,20	0,02	13	0,03	0,58	88	74	12	7
Eğribucak Ş.	7,4 5	215	17	0,20	0,02	13	0,03	0,59	87	78	12	7
Hacılar Ş.	7,3 7	196	12	0,16	0,02	13	0,04	0,47	79	76	11	7
Yenidoğan Ş.	7,4 7	330	18	0,19	0,02	19	0,03	0,34	128	127	12	7
Cumhuriyet Ş.	7,3 4	278	13	0,20	0,02	12	0,03	0,32	113	119	8	8
Şirintepe Ş.	7,3 4	275	13	0,22	0,02	12	0,03	0,30	111	132	8	10
Demokrasi Ş.	7,3 3	324	10	0,18	0,02	13	0,03	0,29	126	154	7	8
Melikgazi Ş.	7,4 2	248	11	0,25	0,01	11	0,03	0,32	103	117	9	9
K.Mustafa Ş	7,2 9	396	34	0,22	0,02	29	0,03	0,48	141	136	22	10
Kılıçaslan Ş.	7,4 7	250	11	0,24	0,02	11	0,03	0,35	107	118	12	9
Yeni Ş.	7,1 8	547	41	0,19	0,02	17	0,03	0,48	174	192	48	10
Ahi Evran Ş.	7,3 4	274	13	0,20	0,02	12	0,03	0,38	120	139	8	7

Yıldızevler Ş.	7,3 4	260	12	0,23	0,03	11	0,03	0,40	106	120	12	8
Zümrüt Ş.	7,1 4	555	42	0,19	0,02	17	0,03	0,43	176	179	50	7
Köşk Ş.	7,4 4	250	11	0,24	0,03	11	0,03	0,33	102	122	8	7
Hisarcık Ş.	7,4 3	146	5	0,10	0,02	7	0,03	0,51	77	67	17	8
Ziya Gökalp Ş.	7,0 5	557	43	0,18	0,02	17	0,03	0,49	174	179	52	7
Beyazşehir Ş.	7,2 8	273	13	0,21	0,02	12	0,03	0,40	118	127	8	8
Cırgalan Ş.	7,2 9	275	13	0,21	0,02	12	0,03	0,32	118	125	8	10
Mimarsinan Ş.	7,3 3	247	11	0,23	0,02	11	0,03	0,44	100	119	8	10
Alsancak Ş.	7,3 0	275	13	0,21	0,02	12	0,04	0,39	118	127	8	8
Ort.	7,3 4	332	22	0,20	0,02	18	0,03	0,46	125	131	17	8
Min.	7,0 5	146	5	0,10	0,01	7	0,03	0,29	77	67	7	7
Max.	7,5 4	557	58	0,25	0,03	33	0,04	0,93	177	192	52	10

Depo ve şebekelerden alınan numunelerin iletkenlik değerlerinin oldukça değişken olduğu görülmektedir. Aylık bazda depolardan alınan numunelerin iletkenlik değerleri en yüksek iletkenlik Haziran ayında 623 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile Keykubat Depo'da, en düşük ise 173 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile Beştepeler Depo'da gözlenmiştir. Yıllık ortalama değerlere bakıldığında numunelerin iletkenlik değerinin ise 336 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olduğu görülmektedir. Şebeke numunelerinde ise iletkenlik aylık bazda 124 ile 658 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişirken en yüksek iletkenlik Kasım ayında Yeni Mah.'de, en düşük ise Ekim ayında Hisarcık Mah.'de tespit edilmiştir. Şebeke numunelerinde depolardan alınan numunelere benzer şekilde 332 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik gözlenmiştir. İletkenlik parametresi için İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelikte uygun görülen üst limit 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Yeraltı sularının elektriksel iletkenliği yüzey sularına oranla daha yüksek ve geniş aralıkta değişmesi beklenen bir sonuçtur.

Depo ve şebekelerden alınan numunelerin sülfat değerlerinin iletkenlik değerlerinde olduğu gibi oldukça değişken olduğu görülmektedir. Aylık sülfat değerleri 5-70 mg/L arasında değişmektedir. Sülfat değerleri Yeşil Depo ve Keykubat Depo'da 40 mg/L'nin üzerinde gözlenmiştir. Diğer depolarda ise genel olarak 20 mg/L'nin altındadır. Tüm depoların yıllık ortalama sülfat değerleri ise 21 mg/L'dir. Şebeke numunelerinde de benzer şekilde sülfat değerleri 5 ile 81 mg/L arasında değişmektedir. En yüksek sülfat Kasım ayında 80-81 mg/L ile Boztepe ve Erkilet Mah.'de tespit edilmiştir. En düşük sülfat değerleri ise 5 mg/L ile tüm aylarda Hisarcık Mah.'dedir.

Aylık değerlere bakıldığı zaman en düşük florür değeri 0,05 mg/L ile Mayıs ayında Serkent Depo'dan alınan numunede gözlenmiştir. En yüksek florür ise 0,42 mg/L değeri ile Şubat ayında Beştepeler Depo'da gözlenmiştir. Depolarda ortalama florür değerleri mevkilere göre 0,14-0,31 mg/L, şebeke ise 0,04 mg/L ile 0,39 mg/L arasında tespit edilmiştir. Tüm aylar bazında ortalama florür değerleri, depolardan alınan numunelerde olduğu gibi 0,10-0,25 mg/L arasında değişmektedir. Genel olarak, tüm su kaynaklarında ortalama florür değeri 0,20 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Depolardan alınan numunelerin yıllık ortalama nitrat değerleri 7 ile 38 mg/L arasında değişmektedir. En düşük nitrat değeri 5 mg/L ile Mayıs ayında Höyük depoda, en yüksek nitrat değeri Mahrumlar Depo 1 ve Kulaklı Depo'da Kasım ayında 41 mg/L gözlenmiştir. En düşük nitrat değeri Mayıs ayında Hisarcık ve Hacılar Mah.'de 6 mg/L olarak ve en yüksek Kasım ayında Osman Kavuncu ve Yeniköy Mah.'de tespit edilmiştir. Şebeke numunelerinde aylık ortalama nitrat değerleri 7-37 mg/L arasında değişmektedir. Amonyum değerleri depolar 0,01-0,04 mg/L arasında değişirken, şebekelerde ise 0,01 ve 0,03 mg/L arasında gözlenmiştir. Benzer şekilde nitrit değerleri ise hem depo hem de şebeke numunelerin 0,03-0,04 mg/L değişmektedir.

Depolarda, numunelerin sertlik değerleri 68-277 mg CaCO_3/L arasında değişmektedir. En düşük sertlik değeri Beştepeler Depo'da Temmuz ayında, en yüksek sertlik ise Ekim ayında Bostanderesi Depo'da tespit edilmiştir. Şebeke numunelerinde, en düşük sertlik değeri Hisarcık Mah.'de Haziran ayında 57 CaCO_3/L ve en yüksek sertlik değeri Ekim ayında Erkilet Mah. 252 CaCO_3/L olarak gözlenmiştir. Eylül ve Ekim ayları dışında, Hisarcık'tan alınan şebeke suyu ortalama 7 Fr^0S değeri ile orta sertlikte su sınıfına girmektedir. Şebekede en sert sular (>18 Fr^0S) Boztepe, Erkilet, Yeni, Zümrüt ve Ziya Gökalp Mahalleleri'nde tespit edilmiştir.

Alkalinite değerlerine bakıldığı zaman sertlik değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Sertlik değerlerinin yüksek ya da düşük olduğu kaynaklarda alkalinite de benzerlik göstermektedir. En düşük alkalinite Ocak ayında Selçuklu mahallesi Boydak Cami'nden alınan numunede 54 mg CaCO₃/L olarak görülmüştür. En yüksek alkalinite ise Şubat ayında 260 mg CaCO₃/L ile Höyük depoda tespit edilmiştir. Aylık değerlerin ortalamasına bakıldığı zaman alkalinite değerlerinin tüm kaynaklarda 60-251 mg CaCO₃/L arasında değiştiği ve ortalama 132 mg CaCO₃/L olarak elde edilmiştir.

Toplam organik madde içeriği tüm kaynaklarda oldukça düşüktür. Dünyadaki yeraltı su kaynaklarında ortalama 1 mg/L bulunmaktadır. Bunun yanında, yeraltı su kaynakları kapalı ortam olmaları ve dış etkilerden uzak olmalarından dolayı organik açıdan kirlenmeye daha az maruz kalmaktadır. Kayseri'de yeraltı su kaynakları bu anlamda organik kirlenmeden uzak oldukça temiz su sınıfına girmektedir. Depolarda en düşük organik içerik Ocak ve Şubat aylarında gözlemiştir. Yeraltı su kaynaklarında yaz sonuna doğru organik madde içeriği artış göstermiştir. Depolardan alınan numunelerin tüm aylar değerlerine bakıldığında, en düşük 0,06 mg/L ile 2,67 mg/L arasında değiştiği görülmektedir. Ülkemizdeki TOK parametresi için bir standart olmamasına rağmen bu parametre su kalitesi açısından çok önemli bir parametredir. Sağlık Bakanlığının yayınlamış olduğu "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik"te TOK sadece bir gösterge parametresi olarak yer almıştır. Ancak, klorlama sonrası dezenfeksiyon yan ürünü kontrolü için ve şebekede tat, koku, renk ve mikrobiyal yeniden büyüme risklerinin en aza indirgenmesi için şebekelerde <2 -3 mg/L TOK seviyelerinin sağlanması önerilmektedir.

Su numunelerinde klorür değerleri oldukça düşük olup depolarda yıllık ortalama 16 mg/L iken şebeke numunelerinde ise 17 mg/L'dir. Depolarda toplam siyanür miktarı 4-13 µg/L arasında değişiklik göstermiş olup yıllık ortalama 7 µg/L'dir. Şebeke numunelerinde toplam siyanür değerleri depolardaki numunelere göre benzer şekilde değişim göstermektedir. Yıllık ortalama 8 µg/L olan toplam siyanür 8-10 µg/L arasındadır.

Tüm su numunelerin toplam su kalite indeksi metot bölümünde verilen prosedüre göre hesaplanmıştır. Numunelerin standart değerleri (S_i) İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'ten alınmıştır (SB, 2005). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Kayseri içme suyunun WQI'sının alınan tüm örneklerin izin verilen sınırlar içinde olduğu ortaya çıkarmıştır. Hesaplanan genel WQI depolarda 7-9 arasında, şebekelerde ise 7-10 arasında değişmektedir. Tablo 5'te verilen su kalite sınırları "içme için uygun olmayan" ile "mükemmel su" arasında 5 tip olarak sınıflandırılabilir. Su numunelerinde bütün parametreler açısından WQI değerleri "**çok iyi**" kalitesinde olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. Su kalitesi indeksinin hesaplanmasında kullanılan S_i ve W_i değerleri

Parametre	S _i *	W _i
pH	8	0,125
İletkenlik (µS/cm)	2500	0,0004
Sülfat (mg/L)	250	0,004
Florür (mg/L)	1,5	0,67
Amonyum (mg/L)	0,5	2
Nitrat (mg/L)	50	0,02
Nitrit (mg/L)	0,5	2
TOK (mg/L)	3**	0,33
T. Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	100**	0,01

Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	100**	0,01
Klorür (mg/L)	250	0,004
T.Siyanür (µg/L)	50	0,02

* Değerler İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'ten alınmıştır.

** TOK, sertlik ve alkalinite parametreleri ile ilgili yönetmelikte bir değer belirtilmemiştir. Bu değerler kabul edilmiştir.

Tablo 5. WQI değerlerine bağlı olarak su kalitesi sınıflandırması

WQI Değeri	Su Kalitesi	Su Örneği (%)
<50	Çok iyi	20
50-100	İyi	36
100-200	Kötü	30
200-300	Çok kötü	0
>300	İçmek için uygun değil	14

Sonuç

Bu proje kapsamında, 1 yıl boyunca Kayseri Merkez yerleşim alanlarına su temin edilen yeraltı su kaynaklarının fizikokimyasal özellikleri izlenmiştir. 12 aylık izleme sonucunda 18 depodan ve 32 şebeke noktasından alınan numunelerin pH, iletkenlik (EC), sülfat, florür, nitrat, nitrit, amonyum, TOK, toplam sertlik, alkalinite, klorür ve toplam siyanür değerlerinin İTASHY'e göre sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Bunun yanında, şebeke ve depolarda yıllık ortalama 125 mg CaCO₃/L sertlik gözlenmiştir. Kayseri İli'nin sertlik açısından su kalitesi kuyuların bulunduğu mevkilere bağlı olarak sert su ile çok sert su sınıfı arasında yer almaktadır. Depo ve şebekelerde organik madde miktarı, su kaynağının yeraltı olmasından dolayı oldukça düşüktür. Yıllık ortalama organik madde 0,46 mg/L olurken, yaz aylarında organik madde artışı gözlenmiştir. En yüksek organik madde Eylül ayında, en düşük değerler ise depo ve şebekelerin çoğunda Ocak ve Şubat aylarında 0,3 mg/L'nin altında tespit edilmiştir. Su kalitesi indeksine göre Kayseri'nin içme suyunun çok iyi su sınıfına girdiği anlaşılmaktadır. Bu sistematik bir yöntem olan su kalite indeksi su kaynaklarının kalitesinin karşılaştırmalı değerlendirmesini vermektedir. Su kalitesi yönetimi alanında halkın su kalitesini ve birçok yönden yararlı bir araç olduğunu anlaması da yararlıdır.

Teşekkür

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FCD-2015-5940 proje kodu ile desteklenmiştir. Proje kapsamında yürütülen bu çalışmada, numunelerin alınması ve fizikokimyasal analizlerin yapılmasında destek veren Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Afsin, M., Kuscı, I., Elhatip, H., Dirik, K. (2006). Hydro-geochemical properties of CO₂-rich thermal-mineral waters in Kayseri (Central Anatolia), Turkey. *Environmental Geology*, 50, 24–36.
- Akter, T., Johura, F.T., Akter, F., Chowdhury, T.R., Mistry, S.K., Dey, D., Barua, M.K., Islam, M.A., Rahman, M. (2016). Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: a cross-sectional study. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 35(1), 1-12.
- Back, W. (1966). *Hydrochemical facies and ground-water flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain* (No. 498-A). US Government Printing Office.
- Butler, C.D., Corvalan, C.F., Koren, H.S. (2005). Human health, well-being, and global ecological scenarios. *Ecosystems*, 8(2), 153-162.
- Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB). (2010). *Yozgat-Sivas-Kayseri Planlama Bölgesi Araştırma Raporu*. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Planlaması Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB). (2011). *Kayseri İl Çevre Durumu Raporu, Kayseri Valiliği İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kayseri, Türkiye.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB). (2016). *Kayseri İl Çevre Durumu Raporu, Kayseri Valiliği İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kayseri, Türkiye.
- Das, J., B.C. Acharya. (2003). Hydrology and assessment of lotic water quality in Cuttack city, India. *Water, Air, and Soil Pollution*, 150, 163-175.
- Drever, J.I. (1982). *The geochemistry of natural waters*. Prentice- Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ 388 p.
- Jang, C.-S. (2010). Applying scores of multivariate statistical analyses to characterize relationships between hydrochemical properties and geological origins of springs in Taiwan. *Journal of Geochemical Exploration*, 105, 11–18.
- Nagarajan, R., Rajmohan, N., Mahendran, U., Senthamilkumar, S. (2010). Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Thanjavur city, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring Assessment*, 171, 289–308.
- Okeke, C.O., A.H. Igboanua. (2003). Characteristics and quality assessment of surface water and groundwater resources of Akwa Town, Southeast, Nigeria. *Journal of Nigerian Association Hydrologic Geology*, 14, 71-77.
- Ramakrishnaiah, C. R., Sadashivaiah, C., Ranganna, G. (2009). Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *Journal of Chemistry*, 6(2), 523-530.
- Sağlık Bakanlığı (SB) (2005). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Sağlık Bakanlığı, Resmi Gazete No: 28580, 17 Şubat 2005.
- Saleem, R. (2007). Groundwater management—emerging challenges. *Water Digest*, 1, 12-28.
- Selvam, S., Manimaran, G., Sivasubramanian, P., Balasubramanian, N., Seshunarayana, T. (2014). GIS-based evaluation of water quality index of groundwater resources around Tuticorin coastal city, South India. *Environmental earth sciences*, 71(6), 2847-2867.
- Tyagi, S., Singh, P., Sharma, B., Singh, R. (2014). Assessment of water quality for drinking purpose in district Pauri of Uttarakhand, India. *Appl Ecol Environ Sci*, 2(4), 94-9.
- Yisa, J., Jimoh, T. (2010). Analytical studies on water quality index of river Landzu. *American Journal of Applied Sciences*, 7(4), 453-458.