




## Yeraltı Sularının Ağır Metal ve Sulama Suyu Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi ve Mekânsal Olarak Haritalandırılması: Nevşehir-Gülşehir İlçesi Örneği

Mualla Keten Gökkuş<sup>1</sup> , Muhammed Cüneyt Bağdatlı<sup>2</sup> , Halil İbrahim Oğuz<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Nevşehir

<sup>2</sup>Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama, Niğde

<sup>3</sup>Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adıyaman

Geliş Tarihi / Received Date: 18.08.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 01.11.2023

### Öz

Bu çalışma, Nevşehir-Gülşehir ilçesi yeraltı sularının sulama suyu kalitesi açısından değerlendirilmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla Gülşehir ilçesinin 32 köyünden 2022 yılı kış mevsiminde (şubat ayında) yeraltı suyu örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde pH, EC (elektriksel iletkenlik), As (arsenik), Cd (kadmiyum), Ni (nikel), Fe (demir), Co (kobalt), Al (alüminyum), Zn (çinko), Cr (krom), U (uranyum), Pb (kurşun) metal iyonları ile SAR (sodyum adsorbsiyon oranı) ve RSC (kalıcı sodyum karbonat) parametreleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda yeraltı sularındaki arseniğin  $0.49-1297 \mu\text{g l}^{-1}$ , kromun  $0.02-4.87 \mu\text{g l}^{-1}$ , demirin  $0-74.01 \mu\text{g l}^{-1}$ , kobaltın  $0-1.98 \mu\text{g l}^{-1}$ , uranyumun  $0.13$  ile  $204.4 \mu\text{g l}^{-1}$  arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Su örnekleri alınan köylerden Emmiler, Gümüşyazı, Fakiuşağı, Eskiyaılacık ve Dadağı köylerinde As derişiminin izin verilen sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Dadağı, Fakiuşağı, Merkez ve Terlemez köylerinde ise uranyumun sınır değer üstünde çıktığı görülmüştür. Şahinler köyünün elektriksel iletkenliği değerleri Türk Standartları Enstitüsünün belirlediği  $2500 \mu\text{s cm}^{-1}$  değerinin üzerinde çıkmıştır. EC değeri diğer bütün köylerde 1. Sınıfta yer almıştır. Yeraltı suyu örnekleri alınan diğer tüm lokasyonlardaki pH, EC, SAR ve RSC değerleri kullanılabilir düzeyde bulunmuştur. SAR değeri bütün bitkilerin yetiştiriciliği için uygun aralıkta bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ışığında bölgedeki yeraltı sularının sürekli izlenmesi ve tarımsal sulama açısından sorun oluşabilecek noktalarda lokal önlemlerin alınması tavsiye edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Gülşehir, mekânsal modelleme, Nevşehir, su kalitesi

## Evaluation of Groundwater in terms of Heavy Metals and Irrigation Water Quality and Spatial Mapping: A Case Study from Gülşehir District in Nevşehir Province

### Abstract

This study was carried out to evaluate the groundwater of Nevşehir-Gülşehir district in terms of irrigation water quality. For this purpose, groundwater samples were taken from 32 villages of Gülşehir district in the winter of 2022 (in February). In the samples taken, pH, EC (electrical conductivity), As (arsenic), Cd (cadmium), Ni (nickel), Fe (iron), Co (cobalt), Al (aluminium), Zn (zinc), Cr (chromium), U (uranium), Pb (lead) metal ions and SAR (sodium adsorption rate) and RSC (persistent sodium carbonate) parameters were determined. As a result of the study, arsenic in groundwater varied between  $0.49-1297 \mu\text{g l}^{-1}$ , chromium between  $0.02-4.87 \mu\text{g l}^{-1}$ , iron between  $0-74.01 \mu\text{g l}^{-1}$ , cobalt between  $0-1.98 \mu\text{g l}^{-1}$ , and uranium between  $0.13$  and  $204.4 \mu\text{g l}^{-1}$ . has been observed. It was observed that the As concentration in the villages of Emmiler, Gümüşyazı, Fakiuşağı, Eskiyaılacık and Dadağı, where water samples were taken, was above the limit values. In the villages of Dadağı, Fakiuşağı, Merkez and Terlemez, it was observed that uranium was above the limit value. The electrical conductivity values of Şahinler village were above the  $2500 \mu\text{s cm}^{-1}$  value determined by the Turkish Standards Institute. The EC value was in Class 1 in all other villages. pH, EC, SAR and RSC values in all other locations where groundwater samples were taken were found to be at usable levels. The SAR value was found to be within the appropriate range for the cultivation of all plants. In the light of the results obtained, it was recommended to constantly monitor the groundwater in the region and take local measures at points where problems may occur in terms of agricultural irrigation and heavy metal.

**Keywords:** geographic information systems (GIS), Gülşehir, spatial modeling, Nevşehir, water quality

## Giriş

Toprak, bitki ve sudaki ağır metal kontaminasyonu, dünya çapında tarımsal gelişmeyi etkileyen ciddi bir çevre sorunudur. Bu tür kirlenme, yalnızca asit yağmuru, erozyon ve kaya ayrışması gibi doğal süreçlerden değil, aynı zamanda metalik atıkların boşaltılması, arıtılmamış atık su ile sulama, madencilik faaliyetleri, kanalizasyon çamuru, aşırı kimyasal gübre ve böcek ilacı kullanımı gibi endüstriyel faaliyetlerden de kaynaklanır (Ahmad vd., 2019; Khan vd., 2008; Zhang vd., 2010).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, ağır metallerin toksisitesi nedeniyle ciddi bir çevre sorunu olan tarım arazilerinde ağır metal kirliliği meydana gelmektedir. Son yıllarda, tarım arazilerinde kullanılan sulama suyu, toprak ve sebzelerdeki ağır metaller ve metaloidlerin konsantrasyonları, sanayileşme ve kentleşmenin genişlemesi de dahil olmak üzere antropojenik faaliyetler nedeniyle büyük ölçüde artmaktadır. Endüstriyel atık sularla kirlenmiş sulama suları, topraklarda ve mahsullerde önemli ağır metal kirliliğine neden olmuştur. Toprağın atık su ile sulanmasıyla, büyüyen bitkilerin yenilebilir kısımlarında ağır metal konsantrasyonu da yüksek olmaktadır (Agca vd., 2014; Ahmed vd., 2019; Islam vd., 2017).

Tarımsal sulamada sulama suyu kalitesinin belirlenmesi, tarımsal su yönetimi ve planlamasında önemli bir faaliyettir. Suyun iyonik bileşimi bitki büyümesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yetersiz kalitede su ile yapılan sulama, bitki büyümesini geciktirebilir, toprağı kirlitebilir ve tuzluluk nedeniyle tarım arazilerini verimsiz hale getirebilir. Sulama suyunun kalitesinin belirlenebilmesi için pH, toplam tuzluluk, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sodyum yüzdesi, kalıcı sodyum karbonat da (RSC) belirlenmelidir (Cemek ve Oktaş, 2020).

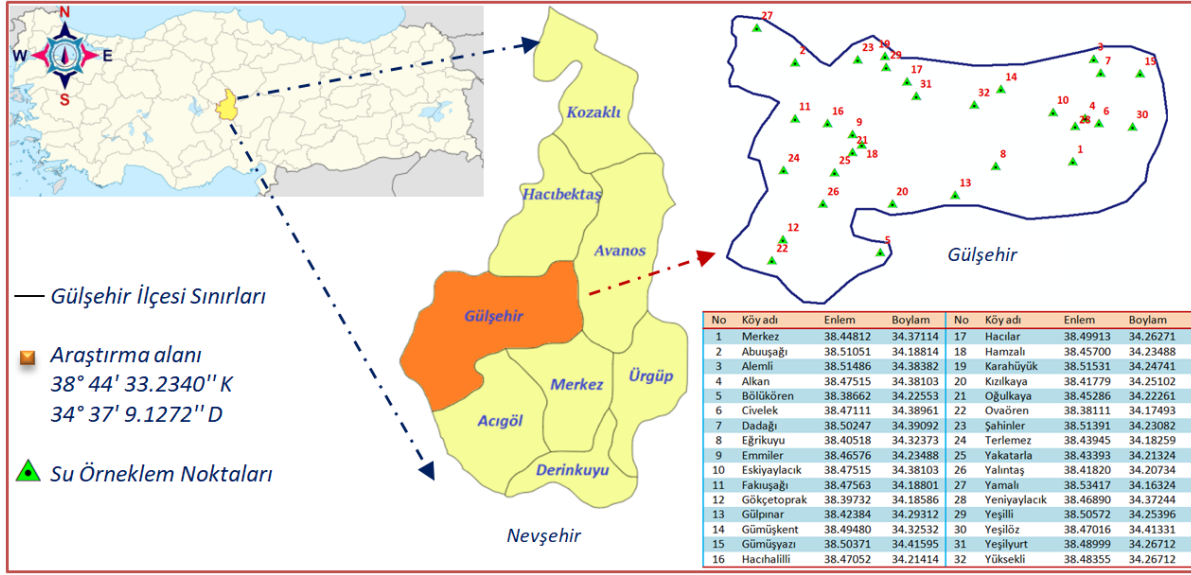
Elektriksel iletkenlik (EC), sulama suyu kalitesinin en önemli göstergesidir. Ekin verimliliği üzerinde büyük etkileri olan bir tuzluluk ölçüsüdür. Yüksek EC değerlerine sahip sular, toprak çözeltisinin iyonları ile bitkilerin su için rekabetini azaltarak mahsul verimini azaltır. EC ne kadar büyükse, toprağın nemli görünümüne rağmen bitkiler için mevcut olan su o kadar azdır (Joshi vd., 2009). Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uydu görüntülerinin sayesinde birçok bilim dalında kullanılan bir teknolojidir (Ceylan ve Vural, 2023). Bir çok alanda olduğu gibi tarımsal üretim çalışmalarında da üretimi olumsuz etkileyen unsurların incelenmesi ve gerekli olan tedbirlerin alınması, bilgilerin en hızlı ve etkin biçimde değerlendirilip sorunların çözülmesi gerekmektedir. Günümüzde bilgi teknolojileri çok farklı alanlarda, farklı meslek gruplarında, farklı amaçlarla insanlara yoğun bir şekilde hizmet etmektedir. Bu bilgi teknolojilerinden ekonomik, politik, sosyal ve kültürel, mühendislik gibi birçok alanda kaynakların yönetimi ve birbirleri ile entegrasyonunun yapılmasındaki karmaşık analizlerin hızlı ve verimli gerçekleştirilmesinde önemli bir yere sahiptir (Yomralıoğlu, 2000).

Bu çalışmanın amacı Nevşehir-Gülşehir ilçesi köylerinde tarımsal sulama amaçlı kullanılan yeraltı sularını sulama suyu kalitesi, ağır metal içeriği açısından değerlendirmek ve elde edilen sonuçları CBS ortamında mekânsal olarak modellemektir. Araştırma sonuçları bölgedeki tarımsal üretim faaliyetlerine ve ürün kalitesinin artmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre tuzluluğa dayanıklı bitkilerin yetiştiriciliği ve çeşitli remediasyon yöntemleri ile ağır metallerin uzaklaştırılmasına ilişkin öneriler verilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

Araştırma alanı Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde yer alan Nevşehir ili Gülşehir ilçesi sınırlarıdır. Gülşehir ilçesi Nevşehir il merkezinin kuzeybatısında olup merkeze 18 km mesafededir. Deniz seviyesinden yüksekliği 885 m, yüzölçümü ise 931 km<sup>2</sup>'dir. Çalışma alanının yeri ve su örneklem noktalarının konumları Şekil 1'de şematize edilerek gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Çalışma Alanının Yeri ve Su Örneklem Noktaları Konumları

Çalışma sahası yoğun tarımsal üretimin yapıldığı ve tarımsal sulama amaçlı yeraltı sularının ağırlıklı olarak kullanıldığı bir bölgedir. İlçenin merkez hariç 31 köyü bulunmakta olup her bir köyde tarımsal üretim etkin olarak yürütülmektedir. Özellikle de çerezlik kabak, patates, nohut, arpa, buğday ve üzüm yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ürünlerdendir.

## Yöntem

### Su Örneklerinin Alınması

Araştırma kapsamında Güleşhir ilçesinin merkez dahil toplam 32 lokasyonundan 2022 yılı kış döneminde tarımsal sulama amaçlı kullanılan yeraltı su kuyularından su örnekleri alınmıştır. Su örnekleri 250 ml'lik sterilize edilmiş polietilen plastik şişeler yardımıyla alınmış ve analiz zamanına kadar +4 °C altında buzdolabında muhafaza edilmiştir. Su örneklerinin alınması esnasında borularda herhangi bir birikmeye karşı suyun bir miktar akıtılması sağlanmıştır. Alınan örnekler şişelendikten sonra etiketle isimlendirilmiştir (Dağdelen, 2012).

### Ağır Metal Analizleri

Alınan su örneklerindeki As, Cd, Ni, Cr, Co, Al, Fe, Zn, Cr, U, Pb ağır metal derişimleri Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında ICP-MS/MS cihazı kullanılmıştır. Kalibrasyon çözeltileri hazırlanırken bütün elementler için standart çözeltiler Multi-Element Calibration Standards (Agilent, 10 µg L<sup>-1</sup>) ile hazırlanmıştır. Yeraltı su örnekleri alındığında numune kaplarını olası bir kirlilikten arındırmak ve su örneklerini asitlendirmek için Scharlau marka %69'luk nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) çözeltisi kullanılmıştır. Su örnekleri içerisinde bulunabilecek herhangi bir partikül ve harici etmenleri süzmek için 0,45 µm gözenekli selüloz membran filtre kullanılmıştır. Ölçüme hazır hale gelen yeraltı su örneklerinin ağır metal içeriği Agilent 8800 model ICP-MS Triple Quad cihaz ile belirlenmiştir. Cihazın radyo frekans gücü 1300 W, Micramis Nebulizer tipi, Scott tipi sprey bölmesi, plazma hava akış hızı 1.5 l min<sup>-1</sup>, auxiliary hava akış hızı 0.9 l min<sup>-1</sup>, nebulizer hava akış hızı 1-1.1 l min<sup>-1</sup>, numune alım hızı 1.8 ml min<sup>-1</sup>, ölçüm verileri n=3, ara yüzey vakum= 4 torr, kvadrupol= 1205 torr, analitik kütleler=52Cr, 55Mn, 56Fe, 59Co, 60Ni, 63Cu, 65Zn, 111Cd, 208Pb'dir. Saptama sınırları Cr; 0.036 µg l<sup>-1</sup>, Mn; 0.037 µg l<sup>-1</sup>, Fe; 0.125 µg l<sup>-1</sup>, Co; 0.002 µg l<sup>-1</sup>, Ni; 0.805 µg l<sup>-1</sup>, Cu; 0.160 µg l<sup>-1</sup>, Zn; 1.483 µg l<sup>-1</sup>, Cd; 0.002 µg l<sup>-1</sup> ve Pb; 0.121 µg l<sup>-1</sup>'dir. 7700x orta matris numuneleri için genel metot kullanılmaktadır. Bazı kuyulardan elde edilen su numunelerinin içerisinde bulunan toz vb. parçacıklar filtreden geçirilerek arındırılmıştır. Su numuneleri falkon tüplerine 2.5 ml su olacak şekilde eklendikten sonra ICP-MS/MS cihazında

okumalar yapılmıştır. Sonuçlar  $\mu\text{g l}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de SKKY (2015), TS 266 (2005), EPA (2009), EC (2015) ve WHO (2017) kalite değerlerine göre yorumlanmıştır.

**Tablo 1.** Bazı Ağır Metallerin Sularda Bulunmasına İzin Verilen Maksimum Konsantrasyonları

Su Kalite Parametreleri	SKKY				TS266	EC	WHO	EPA
	1.sınıf	2.sınıf	3.sınıf	4.sınıf				
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	<6.0-9.0>	6.5-9.2	6.5-9.5	6.5-8.8	6.5-8.5
Ec ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ )	-	-	-	-	2500	2500	-	-
Zn ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	200	500	2000	>2000				5000
Fe ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	300	1000	5000	>5000	200	200	300	300
Cd ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	3	5	10	>10	5	-	3	5
Co ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	10	20	200	>200	-	-	-	-
Cr ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	$\leq 20$	50	200	>200	50	-	50	100
Pb ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	10	20	50	>50	10	-	10	15
Ni ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	$\leq 20$	50	200	>200	20	20	70	-
As ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	20	50	100	>100	10	10	10	10
Al ( $\text{mg l}^{-1}$ )	0.3	0.3	1	>1	200	-	100-200	50-200
U ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	-	-	-	-	-	-	30	30

### Elektriksel İletkenlik (EC) ve pH Analizleri

Alınan su örneklerinin EC ve pH'sı cam elektrotlu pH metre (Thermo Orion 420A+) ile elektriksel iletkenlik değerleri ise EC metre (YSI 3200 conductivity instrument) ile belirlenmiştir (Ayyıldız, 1990). Ölçümler Nevşehir Ticaret Borsası Laboratuvarlarında hizmet alımı şeklinde gerçekleştirilmiştir.

### SAR ve RSC Analizleri

Sulama suyu kalite sınıflarının belirlenmesi için Sodyum Adsorbsiyon oranı (SAR) ve Kalıcı Sodyum karbonat (RSC) analizleri Nevşehir Ticaret Borsası Gıda Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. SAR ve RSC ölçümlerinde gerekli olan Ca, Mg, Na elementleri Vista-MPX CCD Simultaneous ICP/OES cihazı ile ölçülmüştür. SAR hesaplamaları Eşitlik 1, RSC ise Eşitlik 2'ye göre belirlenmiştir. SAR ve RSC sınır değerleri Güngör vd., (2012)'ye göre değerlendirilmiştir. Tüm iyon konsantrasyonları  $\text{meq l}^{-1}$  cinsinden belirlenmiştir. Buna göre SAR 0-10 olan sularda sodyum zararı düşük, 10-18 arasında orta, 18-26 arasında yüksek, 26'dan fazla ise çok yüksek olarak bildirilmiştir. RSC sınıflandırmasında 2.5  $\text{meq l}^{-1}$  den fazla olan RSC değerlerinin sulama suyu için uygun olmadığı, 1.25  $\text{meq l}^{-1}$  den daha az suların güvenli olduğu, 1.25-2.5  $\text{meq l}^{-1}$  arasında olan suların kullanılabilmesi için iyi bir toprak düzenlemesine ihtiyaç olduğu belirtilmektedir.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} \quad \text{Eşitlik 1}$$

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad \text{Eşitlik 2}$$

### Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Mekânsal Değerlendirme

Araştırma kapsamında Nevşehir-Gülşehir ilçesi tarımsal su yeraltı su kuyularından toplanan su örneklerinde belirlenen pH, EC, SAR, RSC, As, Pb, Zn ve U değerlerine ilişkin mekânsal bir değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen verilerin mekânsal olarak modellenmesi için CBS yazılımlarından Arc GIS 10.3.1 programı kullanılmıştır (Anonim, 2010).

Belirlenen su kalitesi parametrelerinin mekânsal olarak değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemlerden olan IDW enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır (Elangovan ve ark., 2013; Kol ve Küpçü, 2008; Taylan ve Damçayırı, 2016). IDW enterpolasyon yönteminin tercih edilmesinin nedeni ise diğer enterpolasyon yöntemlerine kıyasla en doğru dağılımı verdiği görülmüş ve bu doğrultuda da araştırma sahasına ilişkin tarımsal su kalitesi özelliklerinin mekânsal dağılım haritaları üretilmiştir (Setianto ve Triandini, 2013). Su örneklerinin alındığı yeraltı suyu kuyularının koordinat değerleri ile

su örneği alınan noktadan elde edilen su kalitesi parametreleri Arc GIS ortamında çakıştırılarak bazı su kalitesi parametrelerine ilişkin mekânsal dağılım modelleri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında belirlenen lokasyonlardan alınan yerlerdeki bazı su numunelerinin laboratuvar sonuçlarında sifıra yakın değerler bulunmuştur. Elde edilen sonuçların analiz raporlarında bu değerler ölçülebilir limitlerin altında kaldığı için araştırma kapsamında incelen tüm parametrelere ilişkin mekânsal dağılım modelleri oluşturulamamıştır.

## Bulgular ve Tartışma

Araştırmaya konu olan Nevşehir - Gülşehir ilçesine bağlı merkez dahil 32 köyden alınan yeraltı suyu örneklerinde belirlenen bazı ağır metal (Al, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Cd, Pb, ve U) derişimleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Belirlenen Ağır Metal Derişimleri ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )

Su Örneklem Lokasyonları	Al	Cr	Fe	Co	Ni	Zn	As	Cd	Pb	U
Abuüşağı	ÖLA	0.25	ÖLA	0.01	0.03	7.93	99.53	0.026	0.68	19.31
Alemli	ÖLA	0.64	ÖLA	ÖLA	ÖLA	14.84	8.27	ÖLA	0.75	15.41
Alkan	ÖLA	0.21	ÖLA	ÖLA	ÖLA	9.67	0.49	ÖLA	0.47	7.55
Bölükören	ÖLA	0.53	ÖLA	ÖLA	ÖLA	ÖLA.0	14.91	ÖLA	0.61	5.98
Civelek	ÖLA	0.18	0.59	ÖLA	ÖLA	0.07	3.91	ÖLA	0.52	6.50
Dadağı	ÖLA	0.08	27.28	ÖLA	0.51	1.93	1297.98	0.002	0.57	41.09
Eğrikuyu	ÖLA	1.20	ÖLA.0	ÖLA	ÖLA	ÖLA	62.81	ÖLA	0.51	7.63
Emirler	ÖLA	0.01	19.76	ÖLA	0.72	3.38	109.33	ÖLA	1.02	15.35
Emmiler	ÖLA	0.17	3.31	0.04	0.66	1.86	108.72	0.245	1.42	16.62
Eskiyaylacık	ÖLA	0.04	19.11	ÖLA	ÖLA	4.84	110.63	ÖLA	0.63	6.31
Fakiüşağı	ÖLA	0.45	3.14	0.22	0.43	1.91	214.18	ÖLA	0.62	204.4
Gökçetoprak	ÖLA	0.13	1.83	ÖLA	0.04	0.38	6.05	ÖLA	0.52	17.41
Gülpinar	ÖLA	0.25	4.35	ÖLA	ÖLA	ÖLA	61.91	ÖLA	0.59	11.78
Gümüşkent	ÖLA	0.14	18.41	0.4	3.85	0.96	18.70	ÖLA	0.34	15.69
Gümüşyazı	ÖLA	0.29	ÖLA	ÖLA	3.42	167.23	262.79	0.096	0.42	12.44
Hacıhalilli	ÖLA	ÖLA.0	34.24	ÖLA	0.98	9.734	10.16	ÖLA	0.04	0.13
Hacılar	ÖLA	0.71	ÖLA	ÖLA	ÖLA	3.10	19.10	ÖLA	0.76	9.10
Hamzalı	ÖLA	0.31	ÖLA	ÖLA	ÖLA	2.33	74.02	ÖLA	0.61	14.43
Karacahöyük	ÖLA	4.87	2.62	0.03	10.02	82.59	9.96	0.069	0.50	4.37
Kızılkaya	ÖLA	0.61	ÖLA	ÖLA	ÖLA.0	2.83	20.00	0.008	0.67	8.85
Merkez	ÖLA	3.05	ÖLA	ÖLA	1.25	67.51	25.94	ÖLA	0.54	31.59
Oğulkaya	ÖLA	0.44	ÖLA	ÖLA	2.05	15.41	58.94	ÖLA	0.52	9.39
Ovaören	ÖLA	1.93	ÖLA	ÖLA	ÖLA	3.50	12.43	ÖLA	0.62	14.45
Şahinler	ÖLA	0.21	1.94	0.15	0.96	2.86	6.81	0.149	0.95	25.84
Terlemez	ÖLA	0.02	ÖLA	ÖLA	ÖLA	0.45	3.99	ÖLA	24.1	32.25
Yakatarla	ÖLA	0.06	74.01	1.98	7.69	18.45	2.84	ÖLA	0.67	4.18
Yalıntaş	ÖLA	0.16	ÖLA	ÖLA	ÖLA	ÖLA	21.26	ÖLA	0.59	24.05
Yamalı	ÖLA	0.93	0.07	ÖLA	0.38	9.72	5.82	ÖLA	0.27	7.28
Yeniyaylacık	ÖLA	0.14	ÖLA.0	ÖLA	ÖLA	414.17	14.43	ÖLA	1.31	6.824
Yeşilli	ÖLA	3.79	ÖLA.0	ÖLA	ÖLA	9.82	19.48	ÖLA	0.30	8.38
Yeşilöz	ÖLA	0.19	0.06	ÖLA	ÖLA	1.18	50.44	ÖLA	0.42	25.57
Yeşilyurt	ÖLA	2.92	4.08	ÖLA	0.08	ÖLA.0	33.3	ÖLA	0.50	4.92
Yüksekli	ÖLA	0.17	ÖLA.00	ÖLA	0.07	ÖLA.0	7.89	ÖLA	ÖLA	6.28

\*ÖLA: Ölçülebilir sınır değerlerin altında

Tablo 2 incelendiğinde, köylerde yeraltı sularında Al elementine rastlanılamamıştır, dolayısıyla sulama açısından engel teşkil etmemektedir. Cr ( $<100 \mu\text{g l}^{-1}$ ), Fe ( $<5000 \mu\text{g l}^{-1}$ ), Co ( $<200 \mu\text{g l}^{-1}$ ), Ni ( $<200 \mu\text{g l}^{-1}$ ) ve Zn ( $<2000 \mu\text{g l}^{-1}$ ) elementleri hiçbir köyde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin (SKKY, 2004) sınır

değerinin dışına çıkmamıştır. Bu parametreler bakımından yeraltı sularının Tarımsal sulama için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Uranyum elementine Fakiuşağı'nda Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği (WHO, 2017)  $30 \mu\text{g l}^{-1}$  değerinin neredeyse 7 katı fazlasına rastlanılmıştır. Dadağı, Terlemez ve Merkez köylerde de yine sınır değerlerin üzerinde uranyum belirlenmiştir. Bu köylere yakın mesafede bulunan Gümüşyazı Köyü'nde maden ocağının varlığı ve Gülşehir ilçesinin barit ve kaya tuzu yataklarını bulundurması sebebiyle bölgede uranyumun yüksek çıktığı düşünülmektedir. Uranyum insanlarda kanser ve diğer hastalıklara yakalanma riskini artırmaktadır (Wagner vd., 2011). Bu nedenle sınır değerlerin üzerindeki konsantrasyona sahip suların içilmemesi ve tarımsal sulamada kullanılmaması önerilmektedir.

Emmiler, Gümüşyazı, Fakiuşağı, Eskiyaılacık ve Dadağı köylerindeki kuyulardan sulardaki As elementi Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin (SKKY, 2004) belirlediği sınır değerlerinin üzerinde bulunmuştur. Özellikle de Gümüşyazı ve Fakiuşağı köylerinde izin verilen sınır değerlerinin 2 katına varan değerler görülmüştür. Bu değerlerin yüksekliğinin Gülşehir Köyü'nün eriyonit minerali içeren volkanik tüfleri içine alan bir bölgede bulunmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu kuyulardan ve kaynaklardan elde edilen suların sulamada kullanılması uygun değildir. Sulamada kullanıldığı takdirde bitkilerde toksisiteye neden olmaktadır. Bu durum bitkilerin gelişimini olumsuz etkilediği gibi arsenikli sularla yetişmiş besinlerin tüketimiyle de insanlara geçer. Ayrıca insanların arsenikli suları tüketmesiyle de gastrointestinal (GI) bozukluklar, ishal, stomatit, titreme, dışkıda pas kırmızısı renk, ataksi, felç, kusma ve kasılma, depresyon ve zatürre gibi rahatsızlıklara yol açar (Verma ve Dwivedi, 2013). Ağır metallerin bazı etkileri ise toksik (akut, kronik veya subkronik), nörotoksik ve hatta kanserojen, mutajenik veya teratojenik olabilir (Singh vd., 2010).

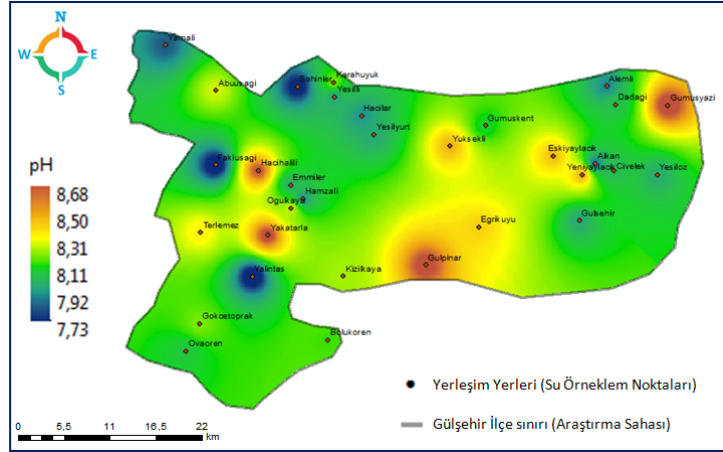
Cd ve Pb elementleri hiçbir köyde belirtilen değer dışına çıkmadığından bu köylerdeki sulama suyunun tarımsal sulama için uygun olduğu saptanmıştır. Elde edilen değerler sadece kış mevsimine ait verilerdir. Bu değerler yazın kuyulardaki suyun sulamada kullanılması ile diğer mevsimlerde elde edilecek sular da farklı değerlerin ortaya çıkmasına sebep olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde Gümüş (2021) sanayi, tarımsal ve evsel atık sularının yoğun baskısı altında bulunan Akarçay Akarsuyu (Afyonkarahisar)'nın ağır metal içeriğini incelediği çalışmada Cd değerini SKKY'ye göre 1. kalite su sınıfı içerisinde bulmuştur. Kubier vd. (2020) Almanya'nın Kuzeybatısındaki ovalarda yapmış oldukları çalışmada, sulama sularında Cd içeriğini  $0.01$  ile  $0.98 \mu\text{g l}^{-1}$  aralığında bulmuştur. EPA (2009) da belirtilen  $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$  olan sınır değerinin üzerindeki suları tarımsal alanlardan tespit etmişlerdir. Bunun sebebini tarımsal alanlarının nitrat ile ilişkisi nedeniyle, Cd salımının antropojenik olarak indüklendiğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Gülşehirdeki köylerde  $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$ 'nin altında kadmiyuma rastlanılmış olması, bu bölgede aşırı gübrelemeden kaynaklanan bir Cd birikiminden kaynaklanmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 3'te alınan yeraltısu örneklerinde belirlenen pH, EC, SAR ve RSC değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Hacıhalilli ve Eskiyaılacık köylerine ait suyun pH, EC, SAR düzeyi uygun görünürken RSC'nin uygun olmayan (2.5'ten büyük) değerlere sahip olduğu görülmüştür. Şahinler Köyü'nün EC değeri yüksek çıkmıştır. Kontrollü kullanımı gerektirmektedir. Diğer köylere ait tüm pH, EC, SAR ve RSC değerleri kullanılabilir, iyi ve çok iyi düzeylerinde bulunmuştur.

**Tablo 3.** Gülşehir Köylerine Ait Yeraltı Sularının Ph, EC, SAR ve RSC Değerleri

Su Örneklem Lokasyonları	pH	EC	SAR	RSC
Abuuşağı	8.27	903	1.89	-7.97
Alemlı	7.9	330	0.87	-1.17
Alkan	7.88	220	0.27	-0.82
Bölükören	8.14	340	0.61	-0.22
Civelek	8.02	293	1	0.37
Dadağı	8.04	982	3.25	-4.43
Eğrikuyu	8.4	535	3.06	1.07
Emirler	7.99	1483	3.38	-9.09
Emmiler	7.99	1483	3.38	-9.09
Eskiyaylacık	8.44	690	8.41	<b>2.53</b>
Fakıusağı	7.74	1930	2.25	-14.9
Gökçetoprak	8.19	464	2.07	0.53
Gülpınar	8.67	532	4.32	-2.24
Gümüşkent	8.09	889	1.17	-7.56
Gümüşyazı	8.7	856	5.88	0.93
Hacıhalilli	8.64	720	9.84	<b>3.02</b>
Hacılar	7.92	288	0.87	-0.49
Hamzalı	7.94	491	1.82	-1.86
Karacahöyük	8.19	410	0.98	-0.76
Kızılkaya	8.23	699	4.07	0.77
Merkez	7.97	1684	1.77	-9.69
Oğulkaya	8.26	406	1.91	0.87
Ovaören	8.06	376	1.44	0.14
Şahinler	7.76	<b>2536</b>	4.13	-15.86
Terlemez	8.4	327	2.59	2.16
Yakatarla	8.68	893	5.79	0.84
Yalıntaş	7.73	675	0.97	-5.74
Yamalı	7.86	1820	4.43	-9.67
Yeniyaylacık	8.47	390	0.64	-1.63
Yeşilli	8.2	355	1.81	1.01
Yeşilöz	7.98	969	1.94	-7.34
Yeşilyurt	7.97	554	2.78	-0.73
Yüksekli	8.46	324	1.01	1.18

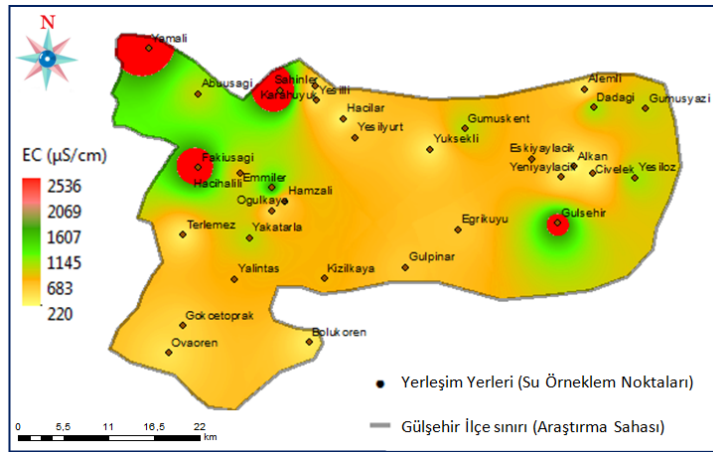
Yerlatisuyu örnekleri alınan lokasyonlarda belirlenen pH değerlerine ilişkin mekansal değerlendirme modelleri Şekil 2’de verilmiştir.



**Şekil 2.** pH Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

Çalışma sahasından 32 farklı lokasyondaki yeraltı sularından alınan su örneklerinde pH değerlerinin 7.73-8.68 arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Özellikle çalışma alanının Gümüşyazi, Gülşehir, Yakatarla ve Hacıhalilli köylerindeki yeraltı sularının pH değerleri 8.5'in üzerinde olduğu saptanmıştır.

Araştırma sahasından alınan 32 su numunesinin ortalamasına göre pH değeri 8.16 olarak belirlenmiştir. Genel anlamda Gülşehir ilçesi sınırlarından farklı lokasyonlardan alınan yeraltı su örneklerinin bazik bir karakter gösterdiği görülmüştür. Kavurmacı (2010) Gümüşkent köyünün mineralli su kaynaklarını araştırdığı çalışmada pH değerinin 6.38-6.5 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada Gümüşyazi pH değeri 8.09 olarak bulunmuştur. Değerler arasındaki farklılığın mineralli su kaynaklarının sıcaklık derecesindeki artıştan kaynaklandığını düşündürmüştür. Sulardaki sıcaklık değeri arttıkça pH değeri düşmektedir (Ölmez ve Saraç, 2009). Araştırma alanından alınan sulama suyu örneklerinde ölçülen EC değerlerinin mekansal dağılım modeli ise Şekil 3'te verilmiştir.



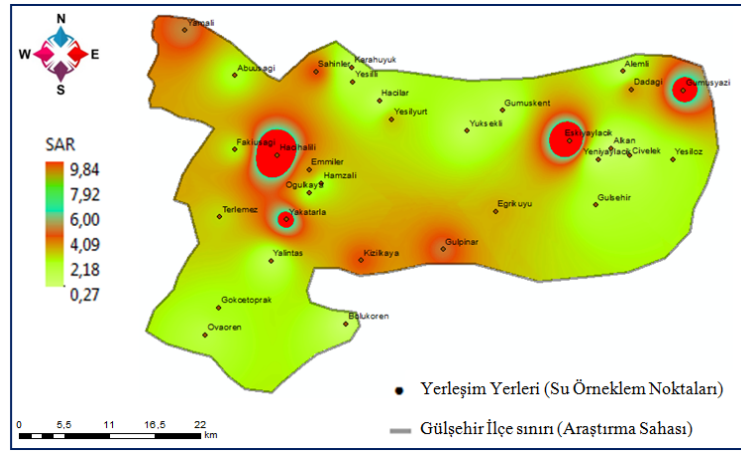
**Şekil 3.** EC Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

Araştırma sahasındaki yeraltı sularındaki EC değerleri 220-2536  $\mu\text{S cm}^{-1}$  arasında dağılım göstermiştir. Özellikle Gülşehir merkez (1684  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), Yamalı (1820  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), Fakiuşağı (1930  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) ve Şahinler (2536  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) köylerinden alınan su örneklerindeki EC değerlerinin diğer lokasyonlardan alınan EC değerlerine nispeten daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanından alınan 32 su örneğindeki ortalama EC değerinin ise 762  $\mu\text{S cm}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Tarımsal sulama suyu kalitesi bakımından sulama sularındaki EC değerinin 2500  $\mu\text{S cm}^{-1}$  aralığında olan suların tarımsal sulama



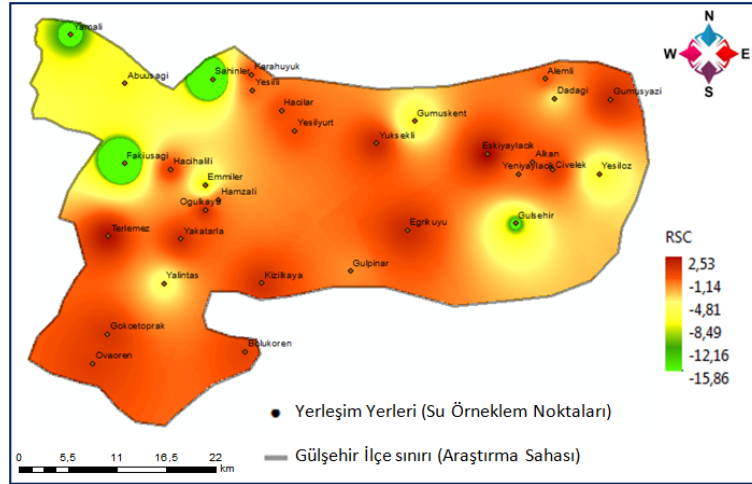
amaçlı kullanılmasında izin verilebilir sınıfına girdiği bilinmektedir (FAO, 1985). Araştırma sahasındaki bazı lokasyonlarda EC değerinin izin verilebilir sınır değerlerinden yani  $2500 \mu\text{S cm}^{-1}$ 'den yüksek olması sulardaki tuzluluğun bir göstergesi olup bu suların sulama suyu amaçlı kullanılmasına devam edilmesi ilerleyen zamanlarda toprakta tuz birikiminin artmasına neden olmakla birlikte yetiştirilen bitkide verim kaybı ve bitkilerde bir takım gelişme bozukluklarına neden olacaktır. Bozdağ (2017), Konya Ovası yeraltı sularının kalitesini incelediği çalışmada, EC değerini  $578-5972 \mu\text{S cm}^{-1}$  aralığında bulmuşlardır. Bölgenin %8.5 oranında yeraltı sularının sulama suyu için uygun olmayan sınırlarda bulunduğunu bildirmişlerdir. Kavurmacı (2010) Gümüşkentteki mineralli sularda EC değerini  $2920-3160 \mu\text{S cm}^{-1}$  olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada ise Gümüşkent köyünün EC değeri  $889 \mu\text{S cm}^{-1}$  bulunmuştur. Değerlerin birbirinden farklı olmasının nedeni suların su - kayaç temas sürelerinin farklı olmasından ya da suların çözünürlükleri farklı kayalarla temas etmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca ölçülen suların sıcaklık derecelerinin farklılığından da kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Sulama sularındaki su kalitesi değerlendirme parametrelerinden bir tanesi de SAR'dır. Çalışma sahası için 32 farklı lokasyondan alınan yeraltı sulama suyu örneklerinde SAR değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar CBS ortamında analiz edilerek Şekil 4'te mekansal dağılım modeli oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki SAR değerlerine bakıldığında 0.27-9.84 arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. SAR; sulama sularının tarımsal sulama amaçlı kullanılabilirliğinin bir göstergesidir.  $\text{SAR} < 10$  olan sular tarımsal sulama amaçlı kullanılabilir olup mükemmel su kalitesinde olarak sınıflandırılmaktadır (Ayyıldız, 1983). Bu bağlamda Gülşehir ilçe sınırları dahilinde 32 lokasyondan yeraltı sularından alınan su örneklerindeki SAR değeri tarımsal sulama suyu kalitesi açısından uygun olduğu söylenebilir. Alobaidly ve ark. (2010) İran koşullarında SAR değerini 2.11 olarak bulmuşlardır. Gülşehirdeki tüm köylerde suların SAR değeri de İran koşullarındaki gibi sulamaya engel teşkil etmeyecek düzeydedir.



**Şekil 4.** Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

Araştırma alanı için sulama suyu kalitesi değerlendirme ölçütlerinden olan kalıcı sodyum karbonat (RSC) değerleri çalışma sahası için hesaplanmış ve Gülşehir ilçesi için mekansal dağılım modelleri oluşturulmuştur. Hesaplanan RSC değerlerine ilişkin yapılan mekansal değerlendirme modeli Şekil 5'te verilmiştir.



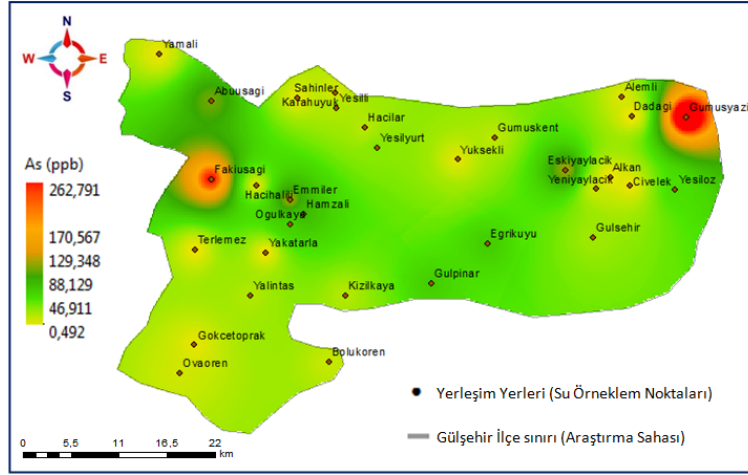
**Şekil 5.** Kalcı Sodyum Karbonat (RSC) Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

Alınan sulama suyu örneklerindeki hesaplanan en yüksek RSC değerinin 2.53 ile Eskiyaılacık Köyü'nde olduğu belirlenmiştir. RSC bakımından sulama suları kritik düzeyde olup bu suların kullanılmasının sürekli takip edilmesi ve su analizlerinin sık olarak yapılması tavsiye edilmektedir. Alobaidly ve ark. (2010) İran koşullarında RSC değerini -12.75 olarak bulmuşlardır. Gülşehirde Eskiyaılacık ve Hacıhalilli köyleri dışındaki köyler de İran koşullarındaki gibi sulamaya engel teşkil etmeyecek düzeyde olduğu anlaşılmıştır.

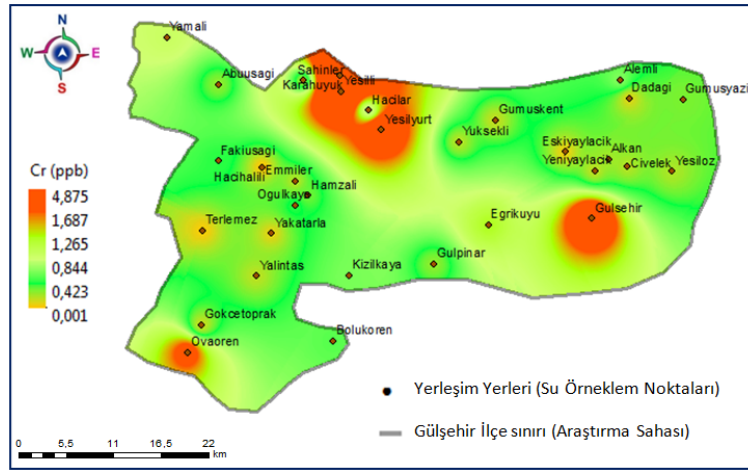
Sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla yürütülen bu çalışma kapsamında alınan sulama suyu örneklerinde belirlenen arsenik içeriğinin mekansal dağılım modeli ise Şekil 6'da verilmiştir.

Nevşehir ilinde gerek kayaç yapısı gerekse de jeomorfolojik toprak yapısı nedeniyle As miktarının yüksek düzeyde olduğu bilinmektedir. Çalışma sahasından alınan 32 su örneğinde As değerlerinin  $0,492-262,791 \mu\text{g l}^{-1}$  arasında değiştiği görülmüştür. Dünya Sağlık Örgütü kriterlerine bakıldığında özellikle içme sularından As değerinin  $10 \mu\text{g l}^{-1}$ 'yi geçmemesi istenmektedir (Chakraborti, 2016). Ancak yeraltı suyundan yapılan sulama sularındaki yüksek As nedeniyle sulama ile birlikte As miktarı da bitkiye geçerek bitki bünyesinde birikime neden olabilmektedir. Araştırmacılar tarafından yapılan bazı çalışmalarda özellikle çerezlik kabak bitkisinde sulama suyu kaynaklı As birikiminin yüksek olduğu görülmüştür (Oğuz vd., 2016).

Bu bakımdan bölgedeki sulama sularının As içeriği bakımında takip edilmesi ve tarımsal üretimin izlenmesi gerekmektedir. Bitki bünyesinde de birikime neden olan arsenik insan sağlığını olumsuz etkileyen kanserojen bir ağır metaldir. Bu bağlamda sadece araştırma sahasının değil Nevşehir ili genelinde kullanılan tarımsal sulama sularının yakın takip edilmesi oldukça önem arz etmektedir.



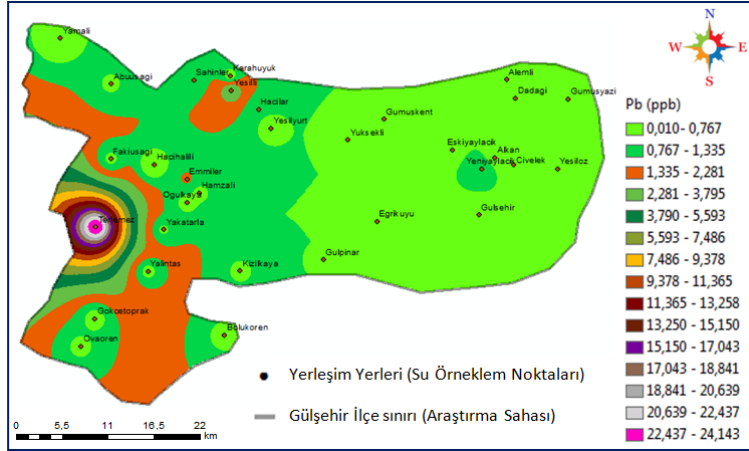
**Şekil 6.** Arsenik (As) Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli



**Şekil 7.** Kurşun (Pb) Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

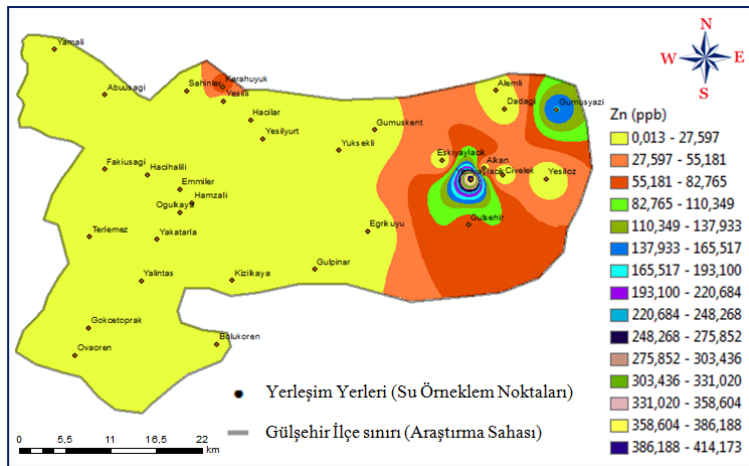
Araştırma alanından alınan su örneklerinde tespit edilen Pb miktarlarının mekansal dağılım modeli de Şekil 7'de sunulmuştur. Sulama suyu örneklerinde Pb değerleri de belirlenmiş olup 0.010-24.143  $\mu\text{g l}^{-1}$  arasında değişiklik gösterdiği görülmüştür. Özellikle Gülshehir ilçesinin batısında yer alan lokasyonlardaki yeraltı sularında Pb birikiminin diğer noktalara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek Pb değeri 24.143  $\mu\text{g l}^{-1}$  ile Terlemez Köyü'nden alınan su örneklerinde tespit edilmiştir. Sulama sularındaki izin verilebilir Pb sınır değeri 5000  $\mu\text{g l}^{-1}$  olduğu göz önüne alındığında çalışma alanındaki yeraltı sularında tespit edilen Pb değerinin izin verilebilir sınır değerinin çok altında olduğu ve Pb içeriği bakımından tarımsal sulama amaçlı kullanılabilir olduğu görülmektedir. Yeraltı sularındaki Pb birikimi özellikle Pb içerikli tarımsal ilaç ve pestisitler ile kimyasal gübre ve araçların egzoz gazından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu bağlamda ilgili kimyasal girdilerin kontrollü bitkiye ve toprağa uygulanması ve mümkün olduğunca Pb içerikli olmayan kimyasal uygulamaların yapılması ilerde sulara Pb birikiminin artmasını engelleyecektir.

Gülşehir ilçesinden 32 farklı noktadaki yeraltı sularından alınan su örneklerinde krom (Cr) analizleri de gerçekleştirilmiştir. Su örneklerinde belirlenen Cr miktarlarının mekansal dağılım modeli ise Şekil 8'de sunulmuştur.



**Şekil 8.** Krom (Cr) Değerlerinin Mekânsal Dağılım Modeli

Yapılan analizler neticesinde Cr miktarın  $0.001-4.875 \mu\text{g l}^{-1}$  arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Özellikle Gülşehir merkezi ile Yeşilyurt ( $2.924 \mu\text{g l}^{-1}$ ), Karahüyük ( $4.875 \mu\text{g l}^{-1}$ ) ve Yeşilli ( $3.61 \mu\text{g l}^{-1}$ ) köylerindeki Cr miktarlarının diğer lokasyonlara nispeten daha yüksek olduğu görülmüştür. Sulama sularında izin verilebilir Cr miktarının  $0.1 \text{ mg l}^{-1}$ 'yi aşmaması istenmektedir. Bu bağlamda Cr miktarı bakımında yeraltı sularının bu bölgede tarımsal sulama amaçlı kullanılmasında herhangi bir sorun görülmemiştir. Kumbur vd. (2008) Mersin koşullarında tarımsal amaçlı kullanılan sularda Cu, Mn, Cr, Ni ve Mo tespit etmişlerdir. Sularda görülen bu ağır metallerin bölgede yoğun olarak kullanılan pestisitlerden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Gülşehir ilçesinin köylerinden elde edilen sularda bu elementlerin sınır değerlerin üzerinde çıkmaması bölgede pestisit ve gübrelemenin aşırı yapılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışma sahasından alınan su örneklerinde tespit edilen Zn derişimlerinin mekansal dağılım modeli ise Şekil 9'da görülmektedir.



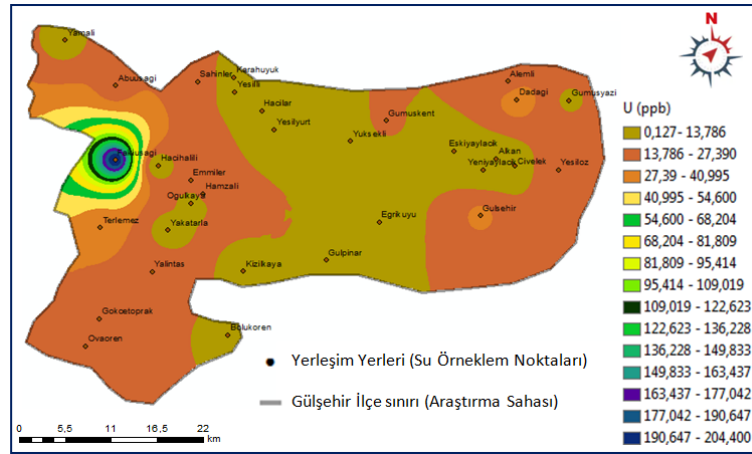
**Şekil 9.** Çinko (Zn) Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

Gülşehir ilçesi yeraltı sularından alınan sulama suyu örneklerinde tespit edilen Zn miktarlarının  $0.013-414.173 \mu\text{g l}^{-1}$  arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Çinko değerlerinin alansal dağılımına bakıldığında, özellikle Yeniaylacık ( $414.173 \mu\text{g l}^{-1}$ ) ve Gümüşyazı ( $167.233 \mu\text{g l}^{-1}$ ) köylerinde yüksek olduğu bu miktarların diğer su örnekleri alınan noktalara kıyasla Zn konsantrasyonu bakımından daha yüksek düzeyde seyrettiği belirlenmiştir.

Sulama sularında Zn için izin verilebilir sınır değerinin  $2 \text{ mg l}^{-1}$ 'yi aşmaması istenir (SKKY, 2004). Bu bağlamda araştırma sahasından alınan sulama suyu örneklerindeki Zn konsantrasyonunun izin verilebilir sınır değerlerinde olduğu ve kuyu sularının tarımsal sulama suyu amaçlı kullanımında Zn bakımından herhangi bir sorun olmadığı söylenebilir.

Ahmed vd. (2018), yaptıkları sulama suyu ve toprak verilerinin hiyerarşik küme analizinde, sulama suyu ve toprağın kirlenmesinin endüstriyel atıkların sulama suyuna boşaltılmasından kaynaklandığını ortaya koymuştur. Çalışmada yapraklı sebzelerdeki ağır metal konsantrasyonları çoğunlukla izin verilen Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği limitlerinin altındayken, kök sebzelerdeki As, Cr ve Pb konsantrasyonları izin verilen limitleri aşmıştır. Sebze verilerinin korelasyon ve küme analizleri, sebzelerdeki ağır metal kontaminasyonundan kirli sulama suyu ve toprak kullanımının sorumlu olabileceğini göstermiştir. Kök sebzelerdeki biyokonsantrasyon faktörüne (BCF) göre As, Cr, Zn ve Pb elementlerinin topraktan sebzelere transferi orta/düşük, Cd ve C elementlerinin ise yüksektir. Bu kök sebzeler insan tüketimi için güvensiz kabul edildiğinden, kök sebzeler ekilirken bu tür bir kirlenme daha ciddiye alınmalıdır. Nevşehir il genelinde ve Gülşehir ilçesinde kök sebzelerden biri olan patates yetiştiriciliğinin yaygın olmasından ötürü, bu bölgelerde özellikle de As, Cr, Zn ve Pb bakımından yüksek olan sularla patates yetiştiriciliğinin yapılmaması gerekmektedir.

Araştırma sahasından alınan su örneklerinde tespit edilen uranyum derişimlerinin mekansal dağılım modeli Şekil 10'da verilmiştir.



**Şekil 10.** Uranyum (U) Değerlerinin Mekânsal Dağılım Modeli

Alınan sulama suyu örneklerinde uranyum konsantrasyonunun  $0.127-204.4 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$  arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Özellikle çalışma sahasının batısında kalan lokasyonlarda bu oranının diğer su örneği alınan noktalara nispeten daha yüksek olduğu mekansal dağılım modelinden de görülmektedir. En yüksek uranyum miktarı Fakıuşağı ( $204.4 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ ) köyünde tespit edilmiştir. Uranyumun kritik değeri Dünya Sağlık Örgütünün standartlarına göre  $30 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$  olarak belirlenmiştir (WHO, 2017). Başta Fakıuşağı olmak üzere Dadağı, Terlemez ve Merkez ilçelerde bu değer çok üstünde olduğu anlaşılmaktadır. Bu bölgedeki suların içme suyu olarak kullanılmaması gerektiği öngörülmüştür. İnsan sağlığına zararlarını yanında uranyum kanserojen bir madde olup bitkiler üzerine ciddi anlamda toksik etki yapmaktadır (Wagner ve ark., 2011). Bitki kökleri yardımıyla da bitki bünyesinde birikime neden olabilir. Bu bağlamda özellikle uranyum miktarının çok yüksek olduğu Fakıuşağı Köyü'ndeki tarımsal üretimin izlenmesi ve sulama suyu kaynaklarının yakından takip edilmesi tavsiye edilmektedir. Bu durum Fakıuşağı'nda uranyumca zenginleşme gösteren kayaların olabileceğini düşündürmüştür. Küçüksümbül ve Tarcan (2021), Söke (Aydın) yeraltı sularında uranyum miktarını belirtilen sınır değerlerin üç katı kadar yüksek bildirmişlerdir. Uranyumun yüksek çıktığı noktaların gnays ve şist dokanalarında olduğunu gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde Fakıuşağı'nda da görülen yüksek uranyumun sebebinin bölgenin eriyonitli volkanik tüf kayalarının volkanik yapısından kaynaklandığını düşündürmüştür. Atabay (2007), eriyonitli volkanik tüf kayalarının Gülşehir ilçesine bağlı Fakıuşağı köyünü de içine alan bölgelerde yüzelediğini ve bu

minerali içeren tuflein gri, beyaz, sarımsı, bej pomza ve volkanik kayaç parçaları ile amfibol, piroksen, plajiyoklas, kuvars, biyotit ve opak mineralleri de içerdiğini bildirmişlerdir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, hem Türkiye hem de diğer ülkelere ait yeraltı suyunda ağır metal, pH, EC, RSC ve SAR gibi sulama suyu kalite belirteçlerinin birbirine benzer veya farklılıklar olduğunu göstermiştir. Çalışma sonuçları, Nevşehir toprakları volkanik tüflerden oluştuğundan bazı mineral maddeler bakımından zengin olması ve ayrıca, yoğun gübreleme, sanayi atıkları ve tarımsal ilaçlamalar nedeniyle bölgede As, Cd, Cr ve Ni gibi insan sağlığına zararlı olabilecek ağır metal birimi olabileceğini göstermektedir. Örneğin, Beyhan ve Algül (2018), Bafa gölü'nde çalıştıkları bazı istasyonlarda tarımsal arazide kullanılan ilaç ve gübrelerin sulama suyuna karıştığını ve bu noktalarda yüksek Ni, Cd, Cr, Cu ve Fe değerlerinin olduğunu bildirmişlerdir. Gülşehir'deki köylerde bu ağır metaller belirtilen sınır değerlerin altında çıkmıştır. Bu durum köylerde tarımsal amaçla kullanılan gübre ve ilaçların yoğun olarak sulama suyuna karışmadığını düşündürmüştür. Kamra vd. (2000), Hindistanın kuzeybatısındaki ovaların yeraltı suyu kalite değerlendirmesiyle ilgili yapmış oldukları çalışmada; EC değerini 1–30 dS m<sup>-1</sup>, pH değerini 8.1–9.6, SAR'ı 4–203 ve RSC'yi 0–70 aralığında bulmuşlardır. Sonuçların geniş bir aralıkta değiştiği buna karşın Gülşehir'deki yeraltı sularından çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Araştırmacılar EC, pH, SAR ve RSC'nin kuyu derinliği arttıkça yükseldiğini bildirmişlerdir. Gülşehir'den elde edilen suların bir çoğunun 60 m'den daha az derinlikten alınmış olması Hindistan'daki yeraltı sularından elde edilen EC, pH, SAR ve RSC değerinden daha düşük çıkma sebebinin doğrulamıştır. Subaşı (2017), Kaman'ın (Kırşehir) kuzey bölgesinde yeraltı suyu kalitesini incelediği çalışmasında; As, F (flor) ve U değerlerini yüksek bulmuştur. Bu değerlerin yüksek çıkmasını bölgede işletilmiş demir ve florit maden alanlarında yapılan tahribatlardan, aşırı gübre ve tarımsal ilaçlardan kaynaklı olabileceğini bildirmiştir. Benzer şekilde bölgeye yakınlığı ile bilinen Gülşehir (Nevşehir)'de de As ve U değerleri yüksek çıkmıştır. Bu değerlerin yüksek çıkmasının Gülşehir ilçesinin volkanik eriyonitli volkanik tuf kayalarından oluşmuş olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür (Atabey, 2007).

### Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışma sonucunda Nevşehir ili Gülşehir ilçesinde bulunan Emmiler, Gümüşyazı, Fakıuşağı, Eskiyaılacık ve Dadağı köylerinde tarımsal sulama için belirlenen As aralığının standartların üzerinde olduğuna rastlanılmıştır. Bu köylerdeki yüksek As içerikli suların arınmak için çeşitli iyileştirme yöntemlerinin kullanılması önerilmiştir. Bunlardan kimyasal ve fiziksel remediasyon yöntemleri maliyetli, biyolojik yöntemlerin kullanılması ise daha etkin bir yöntemdir. Fitoremediasyon teknolojisi de denilen bu yöntemle bitki materyali kullanılarak ağır metal ile kirlenen sulardaki organik ve inorganik maddeler arındırılmaktadır. Uranyum içeriği başta Fakıuşağı olmak üzere Dadağı, Terlemez ve Merkez köylerde çok yüksek bulunmuştur. Bu köylerdeki suların içilmemesi ve bölgenin uranyum kaynak araştırmasının yapılması önerilmiştir. Cr, Fe, Co, Ni, Al ve Zn elementleri hiçbir köyde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin sınır değerinin dışına çıkmamıştır. Tarımsal sulama için uygun olduğu tespit edilmiştir.

EC değeri Kış mevsiminde Yamalı, Fakıuşağı ve Eğrikuyu köylerinde yüksek çıkmıştır. Tuzluluk ile EC değeri arasındaki sıkı ilişkiden ötürü EC değerinin yüksek çıkması suların tuz içeriğinin yüksek olduğunu göstergesidir. Bu sularla sulanan bitkilerin tuz stresine girme olasılığı çok yüksektir. Tuzlu sular kültür bitkisi yetiştiriciliğini sınırlayan önemli faktörlerden biridir. Dolayısıyla tuz seviyesinin yüksek olduğu sularla bitkisel üretim yapılacak ise tuz stresine dayanıklı bitki türleri ve çeşitlerin yetiştirilmesi gerekmektedir. Yamalı, Fakıuşağı ve Eğrikuyu köylerinde üreticilere tuz stresine toleranslı asma anaçları (41 B ve Kober 5 BB, 1616 C Amerikan asma anacı), kültür iğdesi, alıç, muşmula, hünnap, lavanta, sorgum, kinoa ve kapari bitkilerinin yetiştiriciliğinin yapılması önerilmiştir. Bölgede tarımı yapılabilen şeker pancarı, sorgum, arpa, buğday, soya fasulyesi, çerezlik kabak, balkabağı, sakız kabağı gibi toleranslı ve orta derecede toleranslı kültür bitkileri yetiştirilebilir. Bu çalışma özellikle Nevşehir yöresinde, sulama sularında; ağır metal ve tuzluluk oranlarının değişimi konusunda ileride yapılacak daha detaylı çalışmalara ışık tutacaktır.

### Yazar Katkısı

*Mualla Keten Gökkuş*, köylerden kuyu suyu örneklerini topladı, deneysel ortamını hazırladı, deneysel süreci takip etti, makale yazımında yer aldı. *Muhammed Cüneyt Bağdatlı*, haritaların oluşturulmasını sağladı ve verilerin analizlerini gerçekleştirdi. *Halil İbrahim Oğuz*, verilerin değerlendirilmesi ve makale yazımında yer aldı. Yazarlar makaleyi birlikte yazdı, okudu ve onayladı.

### Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.


### Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

### ORCID

*Mualla Keten Gökkuş*  <https://orcid.org/0000-0001-7741-922X>

*Muhammed Cüneyt Bağdatlı*  <https://orcid.org/0000-0003-0276-4437>

*Halil İbrahim Oğuz*  <https://orcid.org/0000-0003-2213-7449>

### Kaynaklar

- Agca, N. ve Özdel, E. (2014). Assessment of spatial distribution and possible sources of heavy metals in the soils of Sariseki-Dörtyol District in Hatay Province (Turkey). *Environmental Earth Science*, 71, 1033–1047. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2507-8>
- Ahmed, M., Matsumoto, M. ve Kurosawa, K. (2018). Heavy metal contamination of irrigation water, soil, and vegetables in a multi-industry district of Bangladesh. *International Journal Environmental Research*, 12, 531–542. <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0113-z>
- Ahmed, M., Matsumoto, M., Ozaki, A., Thinh, N. V. ve Kurosawa, K. (2019). Heavy metal contamination of irrigation water, soil, and vegetables and the difference between dry and wet seasons near a multi-industry zone in Bangladesh. *Water*, 11(3), 583. <https://doi.org/10.3390/w11030583>
- Alobaidy, A. H. M. J., Al-Sameraiy, M. A., Kadhem, A. J. ve Majeed, A. A. (2010). Evaluation of treated municipal wastewater quality for irrigation. *Journal of Environmental Protection*, 1(03), 216. <https://doi.org/10.4236/jep.2010.13026>
- Ayyıldız, M. (1990) *Sulama suyu kalitesi ve tuzluluk*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Ayyıldız, M. (1983). *Irrigation water quality and salty problems*. Atatürk University.
- Beyhan, M. ve Algül, F. (2018). Bafa Gölü sediment ve su kalitesinin ağır metaller bakımından değerlendirilmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 128-138. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.413824>
- Anonim. (2010). Arc GIS 10.3.1. *ESRI environmental system research institute*, Redland.
- Atabey, (2007). Aksaray-Nevşehir arası eriyonit minerali içeren volkanik tüflerin dağılımı ve akciğer kanseri (mezotelyoma) ilişkisi [Sözlü sunum]. 60. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- Bozdağ, A. (2017). Çumra (Konya) Ovasındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri ve sulama suyu kalitesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 559-571. <https://doi.org/10.21923/jesd.283896>

- Cemek, B. ve Oktaş, R. (2020). Evaluation of quality of groundwater in irrigation using fuzzy logic in the Bafra Plain, Northern Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science*, 9(4), 339-348. <https://doi.org/10.18393/ejss.783470>
- Ceylan, M. ve Vural, A. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve analitik hiyerarşi süreci (AHS) yöntemi ile yeraltı suyu potansiyel alanlarının tespiti: Gökdere Havzası (Gümüşhane) örneği. *International Conference on Scientific and Academic Research*, 1, 342-349.
- Chakraborti, D. (2016). Is WHO guideline value of arsenic in drinking water 10 µg l-1 in the developing countries safe to drink?. *BLDE University Journal of Health Sciences*, 1(1), 57. <https://doi.org/10.4103/2456-1975.183289>
- Dağdelen, N. (2012). Sulama Suyu Kalitesi. [https://www.researchgate.net/publication/274582612\\_Sulama\\_Suyu\\_KalitesiFarkli\\_kaynaklardan\\_derleme\\_ve\\_ceviri\\_calismasidir](https://www.researchgate.net/publication/274582612_Sulama_Suyu_KalitesiFarkli_kaynaklardan_derleme_ve_ceviri_calismasidir) adresinden 12 Şubat 2023 tarihinde alınmıştır.
- Elangovan, R., Yadava Mudaliar, P., Rahaman, K., Muttavarapu, R. ve Rajan, V. (2013). Evaluation of noise climate in a campus environment using geospatial technology. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 19, 040057. <https://doi.org/10.1121/1.4800404>
- EC (2015). European Communities. Commission directive 2015 CD (EU) 2015/1787 of 6 October 2015 amending annexes II and III to council directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. European Council.
- EPA (2009). United States Environmental Protection Agency. Edition of the drinking water standards and health advisories. <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf> adresinden 16 Ocak 2020 tarihinde alınmıştır.
- FAO (1985). Water quality for agriculture. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gümüş, N. E. (2021). Akarçay akarsuyu (Afyonkarahisar) su kalitesi ve ağır metal kirliliği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(1), 120-127. <https://doi.org/10.35229/jaes.839147>
- Güngör, Y., Erözel, Z ve Yıldırım, O. (2012). *Sulama ders kitabı*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları (No:1592).
- Islam, M.S. Ahmed, M. K. Habibullah-Al-Mamun ve M. Islam, S. M. A. (2017). Sources and ecological risk of heavy metals in soils of different land uses in Bangladesh. *Pedosphere*, 29(5), 665-675. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60394-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60394-1)
- Joshi, D. M., Kumar, A. ve Agrawal, N. (2009). Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar district. *Rasayan Journal of Chemistry*, 2(2), 285-292. <https://rasayanjournal.co.in/vol-2/issue-2/7.pdf>
- Kavurmacı, M. M. (2010). Çorak, Karakaya ve Gümüşkent (Nevşehir) mineralli sularının ve kaynak alanlarındaki travertenlerin hidrojeokimyası [Yayımlanmamış doktora tezi]. Aksaray Üniversitesi.
- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z. ve Zhu, Y. G. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152(3), 686-692. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.056>
- Kol, Ç. ve Küpçü, S. (2008). *Arc GIS spatial analiz*. İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti.



- Kamra, S. K., Mongia, A. D., Singh, O. P. ve Boonstra, J. (2000). Hydraulic and geo-chemical characterization of saline groundwater aquifers through pumping test studies. *Proceedings of the International Conference on Managing Natural Resources for Sustainable Agricultural Production in the 21st Century, Extended Summaries of Voluntary Papers on Natural Resources*, 2, 534–535.
- Kumbur, H., Özsoy, H. D. ve Özer, Z. (2008) Mersin ilinde tarımsal alanlarda kullanılan kimyasalların su kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Ekoloji* 17, 68, 54-58. <https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=ddb7b127-e0b6-4b4a-a0c5-fa1eafeec3c%40redis>
- Kubier, A., Hamer, K. ve Pichler, T. (2020). Cadmium background levels in groundwater in an area dominated by agriculture. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16(1), 103-113. <https://doi.org/10.1002/ieam.4198>
- Küçüksümbül, A. ve Tarcan, G. (2021). Nalbantlar Ovası (Söke, Aydın) yeraltı suyu ve tarım toprakları inorganik kalite araştırması: Arsenik ve uranyum tehlikesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 45(2), 213-234. <https://doi.org/10.24232/jmd.1049636>
- Oğuz, H. İ., Bağdatlı, M., Erdoğan, O., Karatepe, A. ve Karipçin, F. (2016). Sulama suyu kaynakları ve çerezlik kabak (Cucurbita pepo L.)'ta arsenik kontaminasyonunun belirlenmesi: Nevşehir ilinde örnek bir uygulama. *Derim*, 33(1), 109-118. <https://doi.org/10.16882/derim.2016.49349>
- Ölmez, M. ve Saraç, D. (2009). Su ürünleri için pH'nın önemi. *Ziraat Mühendisliği*, 353, 12-17. <https://dergipark.org.tr/en/pub/zm/issue/52115/680975>
- Setianto, A. ve Triandini, T. (2013). Comparison of kriging and inverse distance weighted (idw) interpolation methods in lineament extraction and analysis. *Journal of Applied Geology*, 5(1), 21-29. <https://doi.org/10.22146/jag.7204>
- Singh, A., Sharma, R.K., Agrawal, M. ve Marshall, F.M. (2010). Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 611-9. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>
- SKKY, (2004). Su kirliliği kontrolü yönetmeliği tabloları. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/12/Su%20Kirliligi%20Yonetmeligi%20Tabloları.htm> adresinden 12 şubat 2023 tarihinde alınmıştır.
- Subaşı, B. 2017. Kaman (Kırşehir) Kuzeyi'nin yeraltı suyu kirliliği açısından incelenmesi [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Karabük Üniversitesi.
- Taylan, E. D. ve Damçayırı, D. (2016). Isparta bölgesi yağış değerlerinin IDW ve kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 459, 7551-7559. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/284992>
- TSE-TS 266. (2005). İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, sular-içme ve kullanma suları. Türk Standartları.
- Verma, R. ve Dwivedi, P. (2013). Heavy metal water pollution-A case study. *Recent Research in Science and Technology*, 5(5), 98-99. [https://www.researchgate.net/profile/Rashmi-Verma-5/publication/303152384\\_Heavy\\_metal\\_water\\_pollution-A\\_case\\_study/links/5a1e8ef90f7e9b9d5efff7f6/Heavy-metal-water-pollution-A-case-study.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rashmi-Verma-5/publication/303152384_Heavy_metal_water_pollution-A_case_study/links/5a1e8ef90f7e9b9d5efff7f6/Heavy-metal-water-pollution-A-case-study.pdf)
- Wagner, S. E., Burch, J. B., Bottai, M., Puett, R., Porter, D., Bolick-Aldrich, S., ... ve Hébert, J. R. (2011). Groundwater uranium and cancer incidence in South Carolina. *Cancer Causes Control*, 22, 41–50 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10552-010-9669-4>

WHO (Dünya Sağlık Örgütü) (2017). Guidelines for drinking-water quality. WHO, World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>

Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi bilgi sistemleri temel kavramlar ve uygulamalar*. İber Ofset.

Zhang, M. K., Liu, Z. Y. ve Wang, H. (2010). Use of single extraction methods to predict bioavailability of heavy metals in polluted soils to rice. *Communication Soil Science and Plant Analysis*, 41(7), 820–831. <https://doi.org/10.1080/00103621003592341>