

ISPARTA İL MERKEZİ YERALTISUYU KALİTESİNİN JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ İLE HARİTALANMASI

Selma DEMER¹ (ORCID: 0000-0003-4031-9633)*
Kerem HEPDENİZ² (ORCID: 0000-0003-4182-5570)

¹Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölüm, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

²Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur

Geliş / Received: 17.10.2017

Kabul / Accepted: 07.05.2018

ÖZ

Yeraltısuyu kalitesi, mekansal dağılıma bağlı olarak analiz edilmesi ve yönetilmesi gereken önemli bir çevresel unsurdur. Bu çalışmanın amacı, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve jeoistatistiksel algoritmalar kullanılarak Isparta il merkezinin yeraltısuyu kalitesinin değerlendirilmesine genel bir bakış sağlamaktır. Çalışmada suların kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), sodyum (Na^+), klorür (Cl^-), nitrat (NO_3^-), elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) parametreleri kullanılmıştır. Yeraltısuyu kimyasal parametrelerinin dağılımlarındaki çarpıklığı azaltmak için veri dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiş; kök ortalama kare hatasına (RMSE) dayalı en iyi yarıvარიogram modelinin her su kalitesi parametresi için değiştiği görülmüştür. Yeraltısuyu kimyasının mekansal dağılımını haritalamak için ise normal kriging yöntemi uygulanmıştır. İçme suyu açısından TS 266 (2005)'e göre değerlendirilen örnekler için iki lokasyon hariç diğer tüm lokasyonlar kriterlere uygun olarak bulunmuştur. Uygun olmayan lokasyonlardaki (IC-3 ve IC-8) yüksek NO_3^- konsantrasyonlarının bölgedeki tarımsal faaliyetlere bağlı olduğu düşünülmektedir. Hazırlanan mekansal dağılım tahmin haritalarına göre bölgedeki suların EC, Ca^{2+} ve Mg^{2+} konsantrasyonları çalışma alanının kuzeyine doğru artış göstermektedir. Bölgedeki suların Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , EC ve T parametreleri güçlü bir mekansal bağımlılığa, Cl^- ve NO_3^- parametreleri ise orta mekansal bağımlılığa sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltısuyu kalitesi, coğrafi bilgi sistemleri, kriging, yarıvარიogram, Isparta

GROUNDWATER QUALITY MAPPING OF ISPARTA CITY CENTER WITH GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS USING GEOSTATISTICAL TECHNIQUES

ABSTRACT

Groundwater quality is an important environmental factor that must be analyzed and managed depending on spatial distribution. The aim of this study was to provide an overview for assessing the groundwater quality of Isparta province center using Geographical Information System (GIS) and geostatistical algorithms. In this study calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), chloride (Cl^-), nitrate (NO_3^-), electrical conductivity (EC) and temperature (T) parameters of waters were used. To reduce the skewness in the distributions of the groundwater chemical parameters, a data transformation process has been performed and it has been determined that the best semivariogram model based on the root mean square error (RMSE) changes for each water quality parameter. The normal kriging method has been applied to map the spatial distribution of groundwater chemistry. In terms of drinking water quality standards, all locations except for two locations have been found in accordance with the TS 266 (2005) criteria. High concentrations of NO_3^- in unsuitable locations (IC-3 and IC-8) were thought to be related to agricultural activities in the region. According to the spatial distribution prediction maps, EC, Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations of the waters in the region increase towards the northern part of the study area. Ca^{2+} ,

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 246 211 13 29 ; e-mail / e-posta: selmademer@sdu.edu.tr

S. DEMER, K. HEPDENİZ

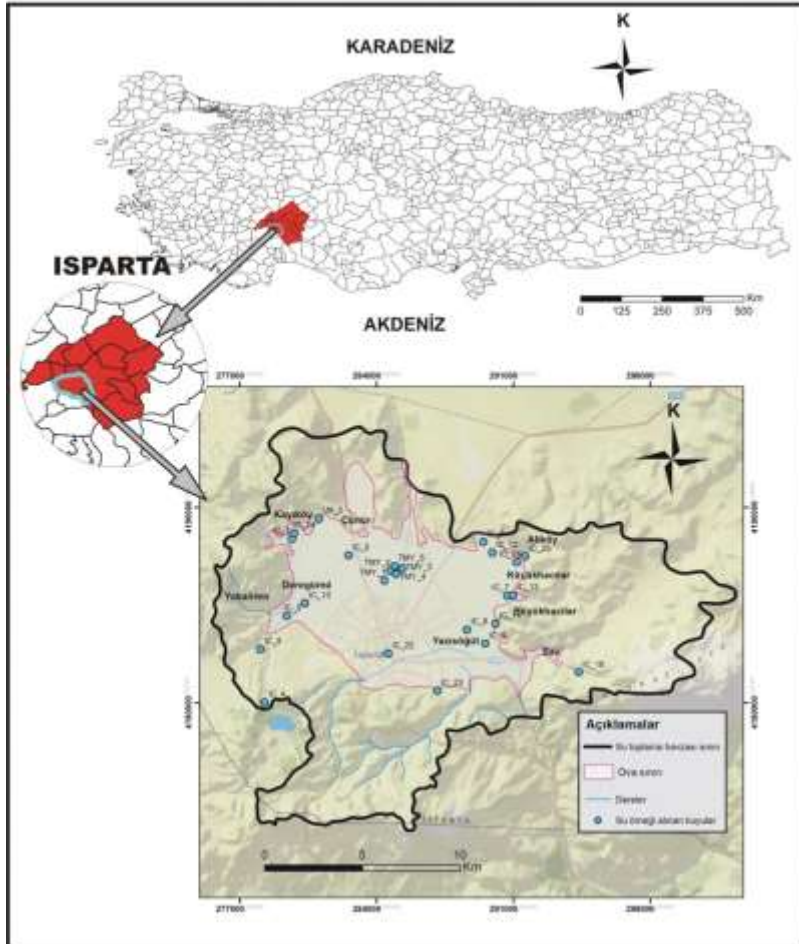
Mg²⁺, Na⁺, EC and T parameters of the waters in the region have a strong spatial dependence whereas Cl⁻ and NO₃⁻ parameters have medium spatial dependence.

Keywords: Groundwater quality, geographical information systems, kriging, semivariogram, Isparta

1. GİRİŞ

Yeraltısuları, Isparta’da tarımsal, evsel ve endüstriyel tüketim için yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Artan nüfusa paralel olarak kaliteli suya olan talep de artmaktadır. Artan bu talep karşısında su kaynakları doğal yada yapay faktörlere bağlı olarak sürekli tehdit altındadır. Bu nedenle yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve kalitelerinin korunmasına yönelik çalışmalar büyük önem arz etmektedir. Hidrojeokimyasal çalışmalar da suların kimyasal özelliklerini, kalitelerini, kullanım alanlarını belirlemede önemli bir yere sahiptir. Hidrojeokimyasal değişkenlerdeki mekânsal korelasyon, yeraltısuyu kimyasının analizinde önemli bir araç olup, kriging jeostatistikte sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu teknik, yeraltısuyu seviyesinin belirlenmesi, toprağın kimyasal özelliklerinin dağılımının tahmin edilmesi gibi durumlarda uygulanabilir [1, 2, 3, 4, 5]. Bu araştırmanın amacı, çeşitli mekansal modellerin ve veri dönüşümlerinin yeraltısuyu kalitesinin mekansal dağılımını yorumlamak için incelenmesi ve Isparta’daki yeraltısuyunun mekansal dağılımının genel eğiliminin tahmin edilmesidir.

Çalışma alanı Isparta il merkezinde 30° 28' 00"-30° 44' 30" doğu, 37° 41' 00"-37° 52' 00" kuzey koordinatları arasında olup yaklaşık 300 km²’lik bir alan kaplamaktadır (Şekil 1). Alanda, topografik olarak en yüksek rakım, 2635 metre (Davraz Dağı-Ulparçukur Tepe) ile çalışma alanının doğusunda, en düşük yükseklik ise 1008 metre (Toptaş Tepe) ile çalışma alanının kuzeyinde yer alır. Meteorolojik verilere göre, Isparta ilinde 1929-2016 yılları arasında aylık yağış ortalaması en düşük 12,1 mm, en yüksek 87,1 mm; yıllık toplam yağış ortalaması ise 564,8 mm olarak belirlenmiştir. Aynı yıllar arasında sıcaklık değerleri ise en düşük -21 °C, en yüksek 42,3 °C ve ortalama sıcaklık ise 12,2 °C olarak gerçekleşmiştir [6].



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası ve su noktalarının çalışma alanındaki dağılımları

ISPARTA İL MERKEZİ YERALTISUYU KALİTESİNİN JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE HARİTALANMASI

Çalışma alanındaki su noktaları tarımsal ve evsel kullanımın yanı sıra içme suyu amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 2006 ve 2007 yıllarında Isparta ili ve yakın çevresinde yapılan bir çalışmanın [7] Mayıs 2007 dönemine ait analiz sonuçları jeoistatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde 25 adet su noktasına ait (21 adet yeraltısuyu kuyusu ve 4 adet kaynak suyu) su kalitesi analiz verilerinden kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), sodyum (Na^+), klorür (Cl^-), nitrat (NO_3^-), elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) parametreleri kullanılmış ve analiz verileri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışma alanındaki su noktalarına ait hidrojeokimyasal analiz sonuçları [7]

Örnek no	X	Y	T (°C)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	Cl (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	EC (µS/cm)
IC 1	279700	4188500	15,60	123,50	26,90	21,87	4,50	7,70	720
IC 2	282600	4187650	13,80	118,80	14,40	26,91	4,00	9,50	665
IC 3	279450	4184550	13,30	145,40	22,80	24,70	13,70	57,00	885
IC 4*	278288	4180132	10,70	55,86	3,48	15,09	2,50	4,40	354
IC 5	278106	4182845	14,70	37,18	5,67	20,96	4,40	9,50	293
IC 6	289496	4188342	18,60	122,00	35,40	8,137	3,80	4,40	745
IC 7	290729	4185589	12,70	87,53	13,30	19,90	11,80	27,30	556
IC 8	288650	4183850	12,60	157,50	24,10	30,21	34,00	52,50	805
IC 9	289600	4183133	12,60	115,70	32,20	14,31	17,90	28,90	688
IC 10	280369	4185203	17,80	155,40	23,80	26,69	9,60	21,80	772
IC 12	289960	4187791	25,70	123,10	27,80	16,66	4,40	8,80	660
IC 13	291013	4185612	16,50	70,10	16,30	11,17	6,70	15,50	427
IC 14	290120	4184163	14,20	95,49	20,80	16,78	20,30	28,00	582
IC 18*	294378	4181659	8,70	40,33	5,06	1,19	2,50	5,30	171
IC 22*	284638	4182626	14,60	47,32	8,29	9,94	2,80	4,40	250
IC 23*	287139	4180718	13,20	48,79	8,71	10,07	5,30	4,40	276
IC 24	279800	4188800	20,80	127,60	24,80	18,68	15,80	39,10	573
IC 25	291625	4187600	20,40	162,40	45,20	13,17	4,50	7,60	702
IC 26	291200	4187300	17,20	103,70	27,40	13,90	4,30	7,80	503
TMY 1	284439	4186372	12,60	80,43	6,65	32,94	4,40	12,60	505
TMY 2	284725	4186875	13,00	129,40	8,61	34,71	5,50	12,30	533
TMY 3	285350	4186990	13,40	102,80	9,30	35,69	4,70	14,60	552
TMY 4	285025	4186700	13,00	105,30	8,64	39,56	3,90	10,10	546
TMY 5	284950	4187100	14,50	110,00	10,50	33,43	4,60	10,30	581
UK 2	281078	4190610	19,70	116,70	35,7	10,43	9,10	10,70	628
Mak.	Kuyu		25,70	162,40	45,20	39,56	34,00	57,00	885
	Kaynak		14,60	55,86	8,71	15,09	5,30	5,30	354
Min.	Kuyu		12,60	37,18	5,67	8,14	3,80	4,40	293
	Kaynak		8,70	40,33	3,48	1,19	2,50	4,40	171
Ortalama	Kuyu		15,84	118,81	20,97	22,42	9,14	18,86	615
	Kaynak		11,80	48,08	6,39	9,07	3,28	4,63	263
Medyan	Kuyu		14,60	116,20	21,88	21,42	5,10	12,45	599
	Kaynak		11,80	48,08	6,39	9,94	2,80	4,40	263
St.sapma	Kuyu		3,54	29,96	10,98	9,34	7,64	14,91	135
	Kaynak		2,62	6,37	2,53	5,78	1,36	0,45	75
[8]			-	-	-	200	250	50	-
[9]			-	75	50	-	100	-	-

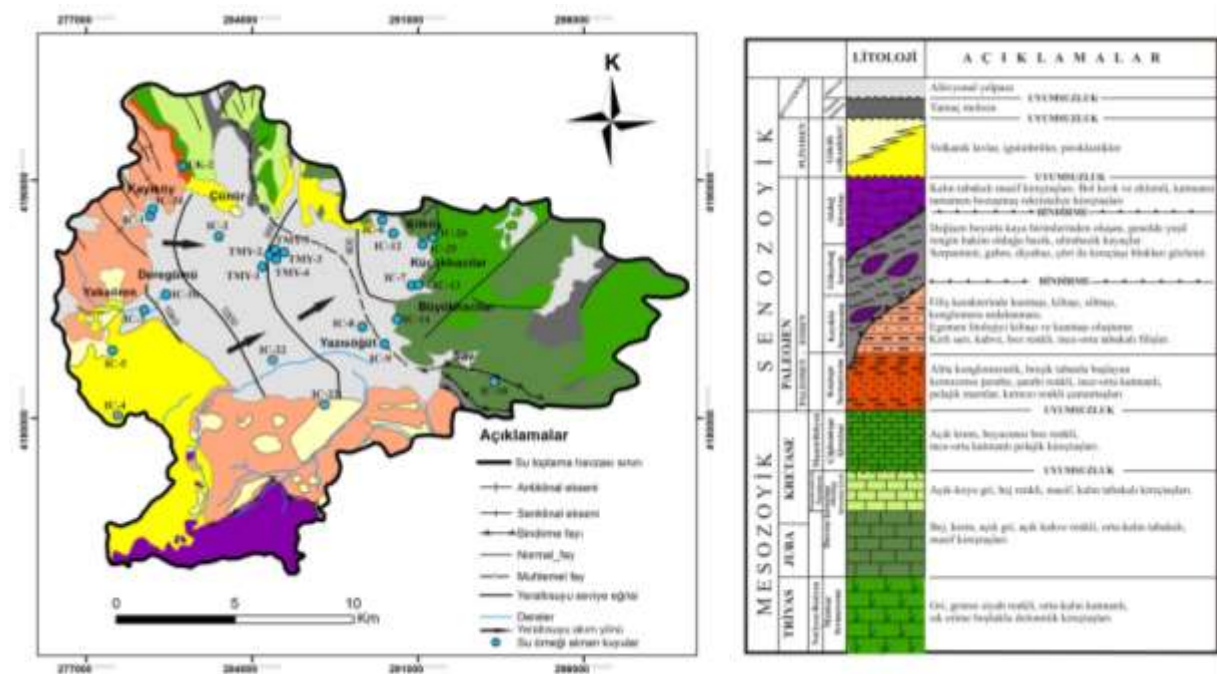
*: kaynak suyu

Bölgede kireçtaşları ile temsil edilen Menteşe Formasyonu, Davraz Kireçtaşı ve Çiğdemtepe Kireçtaşı, filiş karakterinde litolojiye sahip olan Koçtepe Formasyonu ve Kayıköy Formasyonu otokton birimleri, Gökçebağ Karışığı ve Akdağ Kireçtaşı ise allohton birimleri oluşturmaktadır. Tüm bu birimler Pliyo-Kuvaterner yaşlı Gölcük volkanikleri tarafından kesilmekte, Kuvaterner yaşlı piroklastik ürünler ve alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Piroklastikler, ignimbritler ve volkanik lavlardan oluşan Gölcük volkanikleri, Gölcük volkanizması ile şekillenmiştir. Gökçebağ Karışığı bazik-ultrabazik kayalardan; Akdağ Kireçtaşı ise

S. DEMER, K. HEPDENİZ

kalın tabakalı masif rekristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır [10, 11, 12, 13; Şekil 2]. Genel olarak filiş karakterinde gözlenen Kayıköy ve Koçtepe Formasyonları kiltası, silttaşı ve marn seviyeleri nedeniyle geçirimsiz birim özelliğindedir. Benzer şekilde serpantin, gabro, diyabaz, çört, radyolarit ve kireçtaşı bloklarının kuvvetli tektonizma ile karışması sonucu oluşan Gökçebağ karışığı da akifer özelliği taşımamaktadır. Çalışma alanında alüvyon, kireçtaşları ve volkanikler (özellikle tüfler) akifer özelliği taşıyan birimlerdir [7, 14].

Çevredeki volkanik ve karbonatlı birimlerden türeyen tutturulmamış kil, silt, kum ve çakıldan oluşan, 15-150 m kalınlığa sahip alüvyon akiferden 10-40 l/s debi ile yeraltısuyu alınmaktadır. Isparta Ovasındaki alüvyon içerisinde değişen kalınlıklarda Gölcük volkanizmasına ait tuf seviyeleri gözlenmekte olup, tüfler alt seviyelerde nispeten daha sıkı dokulu ve sertleşmiş geçirimsiz sayılabilecek düzeye sahipken, üst kısımları ise çoğunlukla gevşek tutturulmuş ve daha gözeneklidir. Bu tuf seviyeleri içerisinde yaklaşık 3-10 m kalınlıklarda pomza seviyeleri de bulunmaktadır. Ova içerisinde açılan kuyuların derinlikleri 72-300 m, statik seviyeleri 20-85 m, dinamik seviyeleri 50-90 m arasında değişmektedir [7, 14, 15, 16]. Dolayısıyla yeraltısuyunun alındığı seviye genel olarak tutturulmamış kil, silt, kum, çakıl ve tüflerin oluşturduğu kırıntılı malzemelerden oluşan birim içinde kalmaktadır. Ovanın doğu kesimlerinde yüzeyleyen kireçtaşlarının yakınında açılmış kuyularda ise (Alıköy, Küçükhacılar, Büyükhacılar civarı) yaklaşık olarak 20-40 l/s debi ile su alınmaktadır [14, 16]. Bu kuyuların derinlikleri 100-165 m, statik seviyeleri 50-80 m, dinamik seviyeleri 58-93 m arasında değişmektedir. Bu kuyularda 70 m civarında kireçtaşları kesilmiş olup yeraltısuyu kireçtaşlarından alınmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası [12, 13, 17, 18, 19, 20'den yararlanarak]

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma alanından alınan örneklerin hidrojeokimyasal analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Suların sıcaklık (T; Termometre-Testo-95-1) ve elektriksel iletkenlik (EC; Elektriksel iletkenlik ölçer-WTW cond 330i) ölçümleri arazi çalışmaları sırasında taşınabilir cihazlarla, Ca^{2+} , Mg^{2+} ve Na^+ ölçümleri laboratuvarında ICP-OES cihazı (Perkin Elmer ICP-OES 2100 DV) ile Cl^- ve NO_3^- ölçümleri ise spektrofotometre (Merck-Spectroquant Nova 60) ile yapılmıştır [7]. Bu hidrojeokimyasal parametreler, ArcGIS 10 programı kullanılarak analiz edilmiş ve konsantrasyon değerlerinin sınıflandırılmasında [8] ve [9]'a göre değerlendirme yapılmıştır.

Jeoistatistik, yerbilimlerinde karşılaşılan kestirim problemlerinin çözümünde kullanılan istatistiğin bir dalı olup, yeraltısuyu kimyasının mekansal dağılımını modellemek için kullanılmaktadır. Başka bir ifade ile jeoistatistiksel yöntemler, mekansal verilere ait değişkenleri modelleme (variogram) ve bilinen değişkenlere ait veriler ile bilinmeyenleri tahmin etme (kriging) yöntemlerini içerir [21]. Jeostatistikte konumsal değişken değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ifade edilir. Variogram

ISPARTA İL MERKEZİ YERALTISUYU KALİTESİNİN JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE HARİTALANMASI

fonksiyonu, birbirinden h uzaklığındaki iki konumsal değişken arasındaki farkın varyansı olarak ifade edilir ve $2\gamma(h)$ ile gösterilir. Yarıvaryogram (semivariogram) ise variogramın yarısı olarak ifade edilir ve teorik olarak 1 nolu eşitlikteki formül kullanılarak ifade edilir [22]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Burada;

$\gamma(h)$ = gecikme mesafesi (h) için yarıvaryogram değeri

$n(h)$ = h mesafedeki nokta çiftleri sayısı

$Z(x)$ = değişkenin değeri

Kriging analizi ise, ölçme yapılmayan alanlardaki değerlerin tahmin edilmesinde, sahadan alınan nokta verilerin, belirlenen saha içerisinde tüm alana yayılarak tahmin edilmesinde kullanılan bir tekniktir ve teorik olarak 2 nolu eşitlikle ifade edilir:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=0}^n \lambda_0^i Z(x_i) \quad (2)$$

Burada;

λ_0^i = Her i (i=1,2,3,...n) veri noktası ile ilişkili ağırlık

$Z(x_i) = x_i$ noktasındaki gözlenen değer

$Z^*(x_0) = x_0$ noktasındaki tahmin edilen değer

n = örnek noktalarının sayısı

Farklı variogram modelleri ve veri dönüşümü arasında karşılaştırma yapmak için RMSE (kök ortalama kare hatası) kriteri (Eşitlik 3) kullanılır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z^*(x_i)]^2} \quad (3)$$

RMSE, en iyi model değerini karşılaştırmak için kullanılır ve en küçük RMSE değeri verilere en uygun modeli gösterir [23]. Bu çalışmada, yeraltısuyu kimyasının mekansal analizi için CBS yazılımı çerçevesinde uygulanan akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.

İnterpolasyon işlemi verilerin normalliği dikkate alınmış, elde edilen verilerin yüksek çarpıklık göstermesi nedeniyle uygun dönüşüm yöntemi kullanılarak veriler normalize edilmiştir. Verilerin mekansal dağılımını incelemek için ArcGIS 10 yazılımı jeoistatistik analiz modülü içindeki ESDA (Exploratory Spatial Data Analysis-Tanımlayıcı Mekansal Veri Analizi) yazılımından yararlanılmıştır. ESDA yazılımında Box-Cox ve logaritmik olarak iki tip dönüşüm mevcuttur. Bu yöntemde, pozitif veri değerleri nedeniyle logaritmik dönüşüm tüm parametrelere uygulanmış ve çarpıklıkların değerleri Tablo 2'de bazı diğer temel istatistiksel parametrelerle birlikte verilmiştir. Tablo 2'de dönüşüm öncesi ve sonrası çarpıklık katsayısı değerleri arasındaki fark görülmektedir. Logaritmik dönüşümden sonra Ca, Mg, EC ve Na'da çarpıklık daha yüksek çıkmış olup, bu nedenle sözkonusu parametrelerin mutlak değerleri kullanılmıştır. Kalsiyum iyonlarının histogram şeklindeki değişimi, Şekil 4'te bir örnek olarak sunulmuştur.

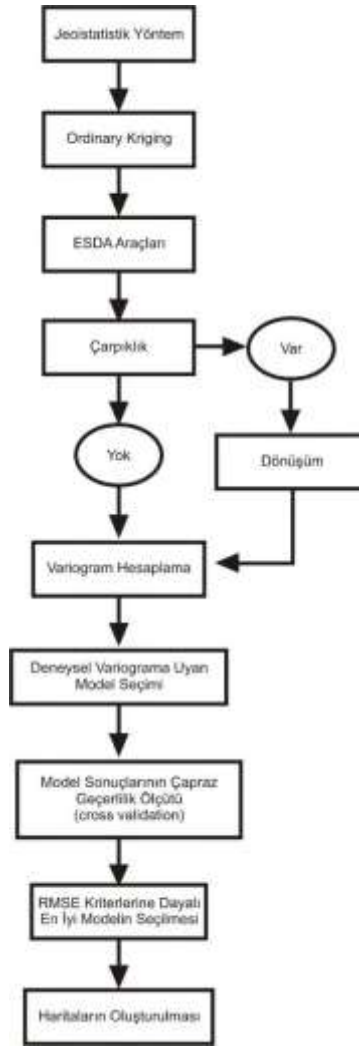
Yeraltısuyu kimyasının mekansal dağılımı için yarıvaryogram, cross validation (çapraz geçerlilik ölçütü) basamaklarını kapsayacak şekilde normal kriging interpolasyon yöntemi uygulanmış ve yeraltısuyu kimyası haritaları oluşturulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yeraltısuyu Kimyası

Yeraltısuyu kimyası, suların kimyasal özelliklerini oluşturan süreçleri ve kullanım alanlarını belirlemekte yararlı bir araçtır. Çalışma alanında 25 adet lokasyondan alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal parametrelerine ait yeraltısuyu kimyasının mekansal dağılım haritaları ArcGIS 10 yazılımından yararlanılarak hazırlanmıştır (Şekil 5 a-g).

S. DEMER, K. HEPDENİZ



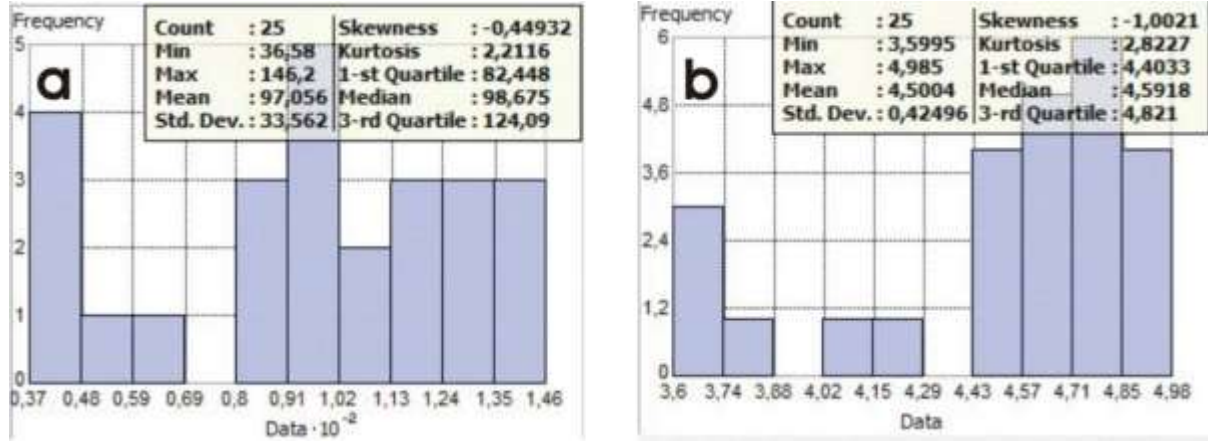
Şekil 3. Geoistatistik analizler için takip edilen akış şeması

Tablo 2. Yeraltısuyu hidrokimyasal parametrelerinin istatistiksel analizi

No	Hidrokimyasal Parametre	Veri Sayısı	Min	Maks	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık
1	Ca Ca (ln)	25	36,58 3,5995	146,2 4,985	97,056 4,5004	33,562 0,42496	-0,44932 -1,0021	2,2116 2,8227
2	Mg Mg (ln)	25	3,4315 1,233	37,17 3,6155	17,742 2,6806	10,215 0,68059	0,32231 -0,44707	1,9124 2,0956
3	Na Na (ln)	25	1,007 0,007	33,49 3,5112	18,498 2,7403	9,0358 0,73555	0,097786 -2,0547	2,0336 8,5991
4	Cl Cl (ln)	25	2,5 0,91629	34,5 3,541	8,29 1,8504	7,4941 0,6826	2,103 0,93789	7,1905 2,9521
5	NO ₃ NO ₃ (ln)	25	4,4 1,4816	53,3 3,9759	15,896 2,4679	13,788 0,7579	1,4244 0,55374	3,9205 2,18
6	EC EC (ln)	25	172,4 5,1498	878 6,7776	562,38 6,2682	180,68 0,3937	-0,42512 -1,1949	2,4785 3,9065
7	T T (ln)	25	8,75 2,1691	26,1 3,2619	15,558 2,717	3,8234 0,23816	0,82831 0,1601	3,5703 3,0748

(ln): Logaritma kullanılarak dönüştürülmüştür.

ISPARTA İL MERKEZİ YERALTISUYU KALİTESİNİN JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE HARİTALANMASI



Şekil 4. (a) Logaritmik dönüşümden önce ve **(b)** logaritmik dönüşümden sonra Ca iyonlarının histogram ve istatistiksel parametre değerleri (diğer hidrokimyasal parametrelerin bir örneği olarak)

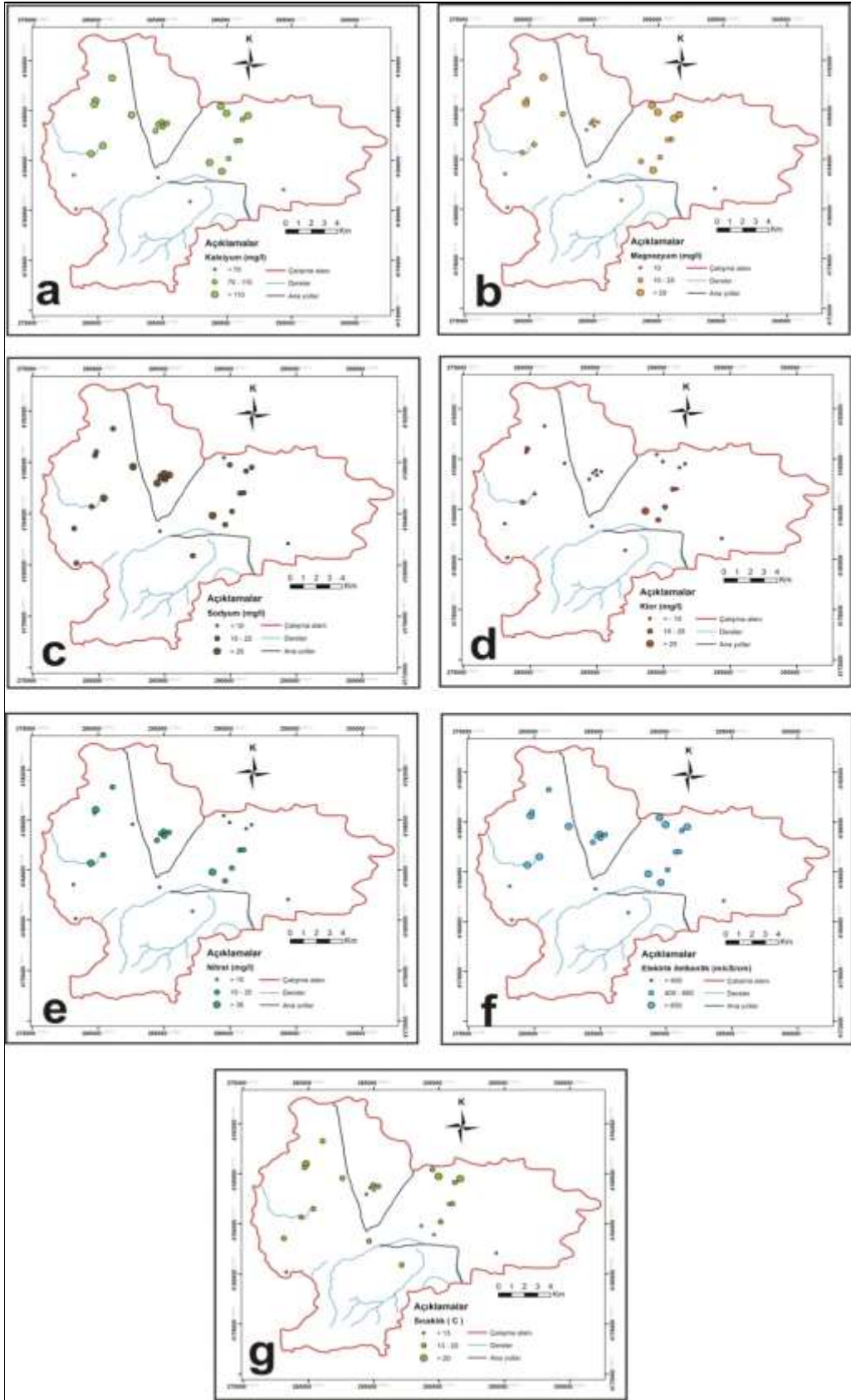
Sularda kalsiyum (Ca^{2+}) miktarı kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, fluorit, plajiolklas (anortit), piroksen (diyopsit), amfibol ve feldspat çeşitlerindeki kalsiyumun çözünmesinden kaynaklanabilir [24, 25]. Çalışma alanındaki yeraltısuyu kuyularının Ca^{2+} konsantrasyonu 37,18-162,40 mg/l arasında değişmekte (ortalama 113,81 mg/l) iken, kaynak sularının Ca^{2+} konsantrasyonu 40,33-55,86 mg/l (ortalama 48,08 mg/l) arasında değişmektedir. Effendi [26] Ca^{2+} konsantrasyonun, doğal sularda genellikle 15 mg/l'den daha az, karbonat kayaçlardan çıkan sularda 30-100 mg/l arasında ve deniz suyunda ise 400 mg/l civarında olduğunu belirtir. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenen içme suyu standardında [8] Ca için sınır değeri verilmemiştir. McNeely vd [9] ise içme suyu amacıyla kullanımda Ca^{2+} konsantrasyonunun 75 mg/l'yi aşmaması gerektiğini belirtmektedirler. Çalışma alanında kaynak suyu olan lokasyonlar (IC-4, IC-18 ve IC-22) en düşük Ca^{2+} konsantrasyonlarına sahip olup, Şekil 5a'da görüldüğü gibi Ca^{2+} konsantrasyonu çalışma alanının kuzeyine doğru artış göstermektedir.

Doğal sularda magnezyum (Mg^{2+}) kaynağı magmatik ve metamorfik kayaçlar içinde bulunan ferromagnezyen mineraller (olivin, diyopsit, biyotit, hornblend) ve sedimanter kayaçlardaki dolomittir [24]. Çalışma alanındaki yeraltısuyu kuyularının Mg^{2+} konsantrasyonu 5,67-45,20 mg/l arasında değişmekte (ortalama 20,97 mg/l) iken, kaynak sularının Mg^{2+} konsantrasyonu 3,48-8,71 mg/l (ortalama 6,39 mg/l) arasında değişmektedir. Çalışma alanında örnek alınan kaynak sularında (IC-4, IC-18 ve IC-22) da en düşük Mg konsantrasyonları gözlenmiştir (Şekil 5b). Effendi [26] Mg^{2+} konsantrasyonunun doğal sularda 1-100 mg/l arasında, deniz suyunda ise 1000 mg/l'ye ulaştığını belirtmektedir. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenen içme suyu standardında [8] magnezyum için sınır değeri verilmemiştir. McNeely vd [9] ise içme suyu amacıyla kullanımda Mg^{2+} konsantrasyonunun 50 mg/l'yi aşmaması gerektiğini belirtmektedirler. Şekil 5b'ye göre çalışma alanındaki Mg^{2+} konsantrasyonunun genel olarak kuzeye doğru artış gösterdiği söylenebilir.

Yeraltısularının sodyum (Na^+) içeriği ya temel kayadan Na-plajiolklasın ayrışması, ya da kil minerallerinin yapısında bulunan Ca^{2+} ve Na^+ iyonlarının yer değiştirmesine bağlıdır [27, 28]. Çalışma alanında yeraltısuyu kuyularının Na^+ konsantrasyonu 8,14-39,56 mg/l arasında değişmekte (ortalama 22,42 mg/l) iken, kaynak sularının Na^+ konsantrasyonu 1,19-15,09 mg/l (ortalama 9,07 mg/l) arasında değişmektedir. Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenen içme suyu standardında [8] Na^+ için sınır değeri 200 mg/l olarak verilmiştir. Şekil 5c'de verilen Na dağılım haritasında bölgedeki yüksek Na^+ değerlerinin volkanik malzemelerin ayrışmasından oluşan ova çökellerinin yayılım gösterdiği alanlarda olduğu görülmektedir.

Klorür (Cl^-), yeraltısularına deniz suyundan, evaporitlerden, yağmur ve kar sularından katılmaktadır. Yarı kurak-kurak iklim bölgelerinde yüksek ayrışma nedeniyle, Cl^- konsantrasyonunun 100 mg/l'ye kadar çıkabileceği belirtilmiştir. Doğal sularda 2-20 mg/l civarında, deniz suyunda ise 19300 mg/l Cl^- konsantrasyonu bulunabileceği belirtilmektedir [26]. Çalışma alanındaki yeraltısuyu kuyularının Cl^- konsantrasyonu 3,80-34,00 mg/l arasında değişmekte (ortalama 9,14 mg/l) iken, kaynak sularının Cl^- konsantrasyonu 2,50-5,30 mg/l (ortalama 3,28 mg/l) arasında değişmektedir. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenen içme suyu standardında [8] Cl^- için sınır değeri 250 mg/l olarak verilmiştir. McNeely vd [9] ise içme suyu, tarımsal ve endüstriyel kullanım için sularda Cl^- konsantrasyonunun 100 mg/l'yi aşmaması gerektiğini belirtmişlerdir.

S. DEMER, K. HEPDENİZ



Şekil 5. Yeraltısuyu kimyasının mekansal dağılım haritaları (a) kalsiyum, (b) magnezyum, (c) sodyum (d) klorür, (e) nitrat, (f) elektrik iletkenlik ve (g) sıcaklık

ISPARTA İL MERKEZİ YERALTISUYU KALİTESİNİN JEOSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE HARİTALANMASI

Alınan örneklerin tümü Cl⁻ konsantrasyonu bakımından standart değerlere uygundur. Şekil 5d’de görüldüğü gibi IC-8 ve IC-14 (Yazısöğüt) lokasyonlarında çalışma alanındaki en yüksek Cl⁻ konsantrasyonları (20,30-34,00 mg/l) gözlenmiştir. Bu bölgede Isparta Atıksu Arıtma Tesisi bulunmaktadır. Arıtma tesislerinde bulunan kirleticiler ve konsantrasyonları, saatlik, haftalık, aylık ve diğer yerel şartlara bağlı olarak değişim gösterebilir [29]. Atıksudaki kirleticiler konsantrasyonlarına bağlı olarak zayıf, orta ve kuvvetli olarak sınıflandırılmaktadır. Ham evsel atıksuyun Cl⁻ konsantrasyonunun da zayıf (30 mg/l), orta (50 mg/l) ve kuvvetli (100 mg/l) şeklinde olabileceği ifade edilmektedir [29, 30]. Isparta Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunda 65-86 mg/l Cl⁻ belirlenmiştir. Bu değerler standart olarak kullanılan değerlerle uyumludur [31]. Ancak IC-8 ve IC-14 lokasyonlarında diğer lokasyonlara göre yüksek olarak ölçülen Cl⁻ değerlerinin arıtma tesisi ile ilgili olabileceği düşünülmektedir.

Nitrat (NO₃⁻), yeraltısularına daha çok antropojenik olarak karışmaktadır. Effendi [26] yeraltısularında NO₃⁻ konsantrasyonunun 100 mg/l’ye kadar olabileceğini, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübreler ile bu değer 1000 mg/l’ye çıkabileceğini belirtmişlerdir. Çalışma alanında yeraltısuyu kuyularının NO₃⁻ konsantrasyonu 4,40-57,00 mg/l arasında değişmekte (ortalama 18,86 mg/l) iken, kaynak sularının NO₃⁻ konsantrasyonu 4,40-5,30 mg/l (ortalama 4,63 mg/l) arasında değişmektedir. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenen içme suyu standartında [8] NO₃⁻ için sınır değer 50 mg/l olarak verilmiştir. Çalışma alanında gözlenen yüksek NO₃⁻ konsantrasyonları da daha çok tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bölgelerde ölçülmüştür (IC-3 ve IC-8; Şekil 5e). IC-8 lokasyonu aynı zamanda arıtma tesisine yakın olduğu için NO₃⁻ değeri yüksek olabilir. Bu lokasyonlardaki NO₃⁻ değerleri TS 266 [8]’de verilen sınır değer 50 mg/l üzerindedir (>50 mg/l). Sınır değer üzerindeki NO₃⁻ konsantrasyonlarının bebekler için zararlı olduğu ve mavi bebek (methemoglobinemia) hastalığına sebep olduğu kabul edilmekle birlikte [32, 33], nitratın bu hastalık oluşmasında etkili olabilecek birçok faktörden biri olabileceği ifade edilmektedir [34].

Sudaki iyonların derişimi arttıkça elektriksel iletkenlik (EC) de artar. Effendi [27] EC değerinin doğal sularda 20-1500 µS/cm iken deniz suyunda bu değer 10 000 µS/cm’ye ulaşabileceğini belirtmiştir. Çalışma alanındaki yeraltısularının EC değeri 293,00-885,00 µS/cm arasında, kaynak sularının EC değeri ise 171,30-354,00 µS/cm arasında değişmektedir. Şekil 5f’de görüldüğü gibi çalışma alanındaki suların EC değerleri kuzeye doğru artış göstermektedir.

Sıcaklık (T), yüzey ve yeraltısularının şekil (katı, sıvı, gaz) ve yer değiştirmesine, çeşitli yerlere göç edip birikmesine ve kullanılmasına etki yapan en önemli faktördür. Şekil 5g’de görülen sıcaklık dağılım haritasında suların sıcaklık değerlerinin çalışma alanının kuzeyine doğru daha fazla olduğu görülmektedir.

Su içindeki bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkisini belirlemek için korelasyon matrisi hazırlanmıştır (Tablo 3). Yüksek korelasyon katsayısı değerleri (r= +1 veya -1) değişkenler arasında güçlü bir ilişki olduğunu gösterir. Pozitif korelasyon iki değişken arasındaki doğru oranıyı, negatif korelasyon ters oranıyı, 0’a yakın değerler ise değişkenlerin arasında ilişki olmadığını gösterir. r>0,7 ise kuvvetli korelasyon, r=0,5-0,7 ise orta derecede korelasyonu ifade eder [35]. Burada Ca-Mg (r=0,701), Ca-EC (r=0,924), Cl-NO₃ (r=0,848) parametre çiftleri kuvvetli pozitif korelasyon, Mg-EC (r= 0,681), Mg-T (r=0,672), ve EC-NO₃ (r=0,550) parametre çiftleri orta derecede pozitif korelasyon vermiştir. Bu durum, jeojenik ve element hareketliliğinden kaynaklanabilen benzer bir kökeni işaret edebilir [36]. Yeraltısuyunun kimyasal bileşenleri, su ve jeolojik malzemenin reaksiyonuna bağlı olarak ortaya çıkan hidrojeokimyasal süreçlere (buharlaşma, ayrışma, çökeltme, iyon değişim prosesleri gibi) bağlıdır [37, 38]. Su içinde çözülmüş bileşenlerin konsantrasyonu arttıkça EC de artar. Çalışma alanında egemen iyonlar olan Ca, Mg ve HCO₃ konsantrasyonlarında meydana gelen artış EC’yi dolayısıyla TDS’yi artırmaktadır. Cl ve NO₃ arasındaki kuvvetli korelasyon ise bölgede yapılan tarımsal faaliyetlerle ilişkili olabilir. Diğer parametre çiftlerinin ise anlamlı bir ilişki vermemesi bunların birbirinden bağımsız olduğunu göstermektedir [39].

Tablo 3. Çalışma alanındaki suların bazı hidrojeokimyasal parametrelerine ait korelasyon matrisi

	Ca	Mg	Cl	NO ₃	Na	EC	T
Ca	1						
Mg	0,701	1					
Cl	0,421	0,296	1				
NO ₃	0,475	0,207	0,848	1			
Na	0,371	-0,302	0,121	0,252	1		
EC	0,924	0,681	0,465	0,550	0,358	1	
T	0,442	0,672	-0,070	-0,081	-0,191	0,368	1

3.2. Jeoistatistik Analiz

Jeoistatistiksel analizlerde mekansal bağımlılık için yarıvariogram analizinden ve interpolasyon için kriging analizlerinden yararlanır [40, 41, 42, 43, 44]. Dolayısıyla, variogram analizi, ölçme yapılan noktalar arasındaki konumsal (mekansal) bağımlılığı belirlemeyi, kriging analizi ise ölçme yapılmayan nokta veya alanlardaki özelliklerin kestirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [22, 45, 46]. Yarıvariogramlar, ArcGIS 10 jeoistatistik analizinde normalleştirildikten sonra hesaplanmış ve normal kriging uygulanmıştır. Yarıvariogram modellemesi, Tablo 4’te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Her yarıvariogram modeli için kök ortalama kare hatası (RMSE) tahmini

Parametreler	Lag size	Orijinal veriler üzerindeki modeller			Dönüştürülmüş verilerdeki modeller		
		Küresel (Spherical)	Üssel (Exponential)	Gauss (Gaussian)	Küresel (Spherical)	Üssel (Exponential)	Gauss (Gaussian)
Ca	1360	26,42	25,48	26,58	25,21	25,19	25,44
Mg	1360	7,33	7,52	7,62	7,53	7,05	8,37
Na	970	6,34	6,27	6,18	5,81	6,50	4,93
Cl	605	6,26	6,81	6,20	6,07	6,15	5,69
NO ₃	1200	15,17	14,87	15,68	13,84	14,21	14,22
EC	1360	161,23	150,56	162,47	147,46	148,11	153,61
T	770	3,47	3,44	3,66	3,43	3,46	3,49

En iyi yarıvariogram modelini belirlemek için RMSE değeri kullanılmış, en küçük RMSE değerini gösteren model seçilmiştir [23]. Tablo 4’te görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar, RMSE’ye dayalı en iyi yarıvariogram modelinin her su kalitesi parametresi için değiştiğini göstermektedir. Ca ve Mg için, logaritmik dönüşümlü üssel (exponential) model; Cl ve Na için logaritmik dönüşümlü Gauss (Gaussian) modeli ve NO₃, EC ve T için küresel (spherical) model uygun görülmektedir. Şekil 6, çok yönlü yarıvariogram modelinin çevresindeki deneysel yarıvariogramı (dağılım noktaları) göstermektedir.

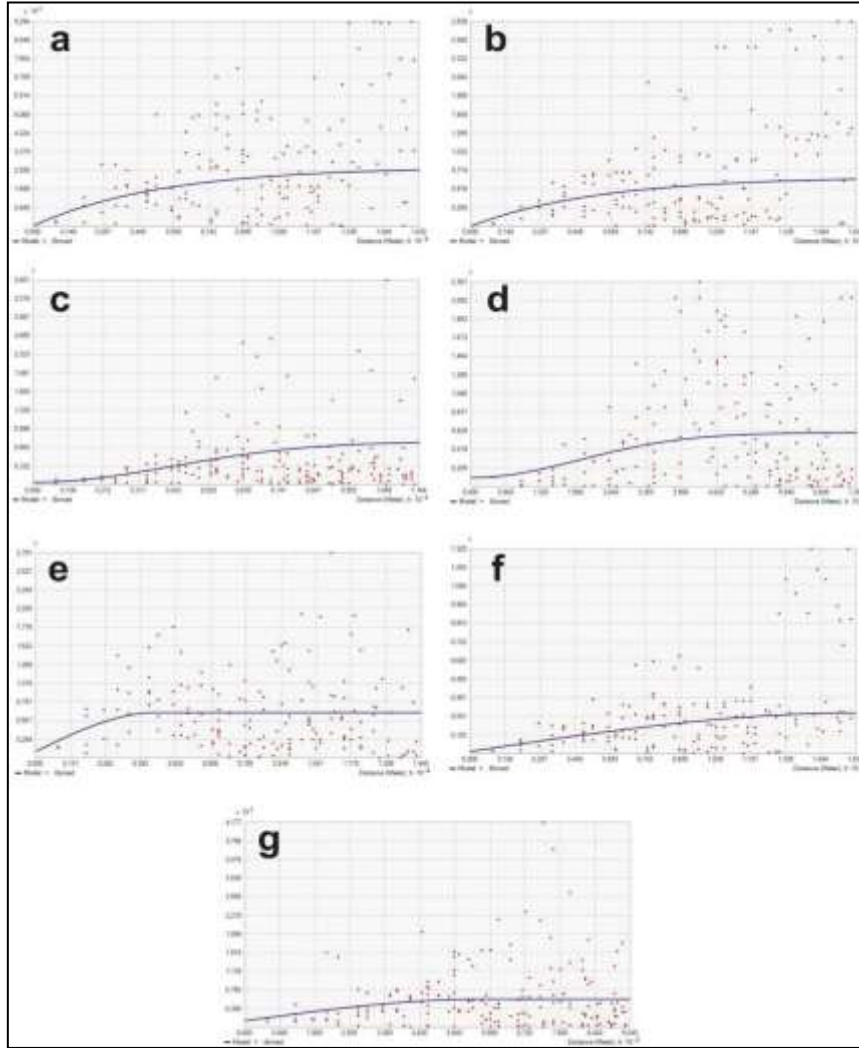
Yeraltısuyu kalite parametrelerinin mekansal bağımlılığı nugget/sill oranı ile belirlenir [47, 48, 49]. Bu değer %25’in altında olması durumunda yüksek, % 25-75 arasında olması durumunda orta ve % 75’in üzerinde olması durumunda ise zayıf mekansal bağımlılığın (zayıf yersel otokorelasyonun) varlığından bahsedilebilir [50]. Tablo 5, her yeraltısuyu kalite parametresi için tüm modelleri kontrol ederek ve çalışma alanında en uygun modeli seçerek, en uygun yarıvariogram modellerinin karakteristik parametrelerini göstermektedir. Eğer mekansal bağımlılık yüksek ise örnek noktaları arasındaki mekansal korelasyon da o derecede yüksektir. Bu çalışma alanında mekansal bağımlılık Ca, Mg, Na, EC ve T değerlerine için yüksek, Cl ve NO₃ değerleri için orta olarak bulunmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. En uygun yarıvariogram model karakteristikleri

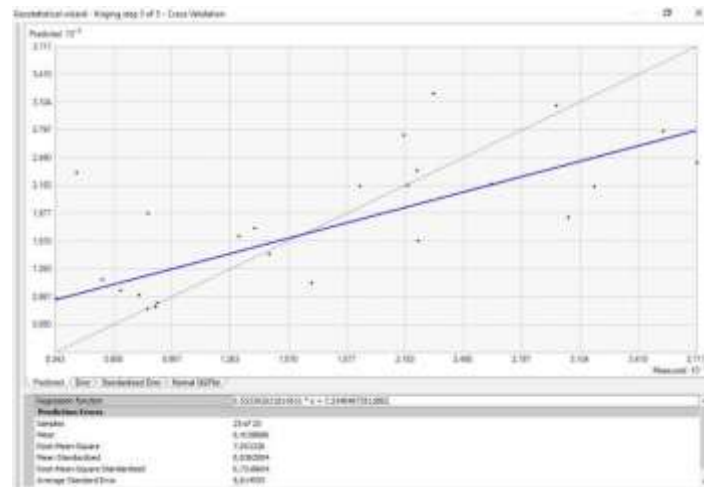
Parametre	Örnek sayısı	Dönüşüm	Model	Lag Size	Nugget (C ₀)	Sill (C+C ₀)	Aralık (m)	Nugget/sill (C ₀ /C+C ₀) %	Mekansal bağımlılık
Ca	25	Orijinal veri	Üssel	1360	0	1456,48	10783,06	0	Yüksek
Mg	25	Orijinal veri	Üssel	1360	0	125,36	8662,82	0	Yüksek
Na	25	Orijinal veri	Gauss	970	17,55	85,32	7337,62	20,50	Yüksek
Cl	25	Logaritmik	Gauss	605	0,16	0,46	7005,03	35,00	Orta
NO ₃	25	Logaritmik	Küresel	1200	0,20	0,41	5002,34	48,20	Orta
EC	25	Orijinal veri	Küresel	1360	0	34170,83	5130,27	0	Yüksek
T	25	Logaritmik	Küresel	770	0,01	0,05	5646,29	21,70	Yüksek

Yarıvariogram modelini uyguladıktan sonra, yeraltısuyunun örneklenmemiş bölgelerde ne kadar iyi tahmin edildiğini incelemek için çapraz doğrulama (cross validation) aracı kullanılmıştır. Şekil 7’de Mg²⁺ konsantrasyonu için ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki dağılım grafiği görülmektedir. Tahmin edilen ve ölçülen değerler arasında eğimi 1:1 olan çizgi olması beklenir. Bunun yanında “tahmin hatası” terimi gerçekte ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkı tanımlamak için kullanılır. Tahmin sonuçlarının doğruluğu için, ortalama hata (ME) 0’a yakın olmalı, kök ortalama kare hatası (RMSE) ve ortalama standart hata (MSE) mümkün olduğunca küçük olmalı ve kök ortalama kare standartlaştırılmış hata (RMSSE) 1’e yakın olmalıdır [23, 51]. Sonuçlar, tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki karşılaştırmaların makul derecede iyi olduğunu göstermektedir (Şekil 7).

ISPARTA İL MERKEZİ YERALTISUYU KALİTESİNİN JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE HARİTALANMASI



Şekil 6. Yeraltısuyu kimyasal parametreleri için yarıvariogram modelleri (a) kalsiyum (b) magnezyum (c) sodyum, (d) klorür, (e) nitrat, (f) elektrik iletkenlik ve (g) sıcaklık



Şekil 7. Ölçülen ve tahmin edilen yeraltısuyu kimyasal parametrelerine ait dağılım diyagramı (örnek olarak Mg^{2+} verilmiştir)

S. DEMER, K. HEPDENİZ

Çapraz doğrulama tekniğinde belirlenen en uygun modeller kullanılarak tahmin edilen yeraltısuyu kimyası mekansal dağılım tahmin haritaları Şekil 8'de gösterilmiştir. Ca^{2+} , Mg^{2+} , EC ve T değerleri çalışma alanının kuzeyinde bulunan lokasyonlarda artış gösterirken, Na^+ değerlerinin volkanik malzemelerin ayrışmasından oluşan ova çökellerinin olduğu orta kesimde daha yüksek olduğu görülmektedir. Cl ve NO_3 konsantrasyonlarındaki yüksek değerlerin tarımsal faaliyetler ve arıtma tesisi ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Modelin geçerliliğini kontrol etmek için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin korelasyon katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 6). T, EC ve NO_3 dışındaki parametrelerin korelasyon katsayısı 0,5'ten büyüktür, yani ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında bir ilişki bulunmaktadır. T, EC ve NO_3 ölçüm değerleri ile tahmin edilen değerler arasında bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla çapraz doğrulama, T, EC ve NO_3 verileri ile eşleme yapıldığında, düşük korelasyona sahip değerler vermektedir.

Tablo 6. Modelin geçerliliğini kontrol etmek için ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında hesaplanan korelasyon katsayıları

Sıra no	Hidrojeokimyasal parametre	Korelasyon katsayısı
1	Ca	0,65
2	Mg	0,66
3	Na	0,78
4	Cl	0,64
5	NO_3	0,25
6	EC	0,46
7	T	0,43

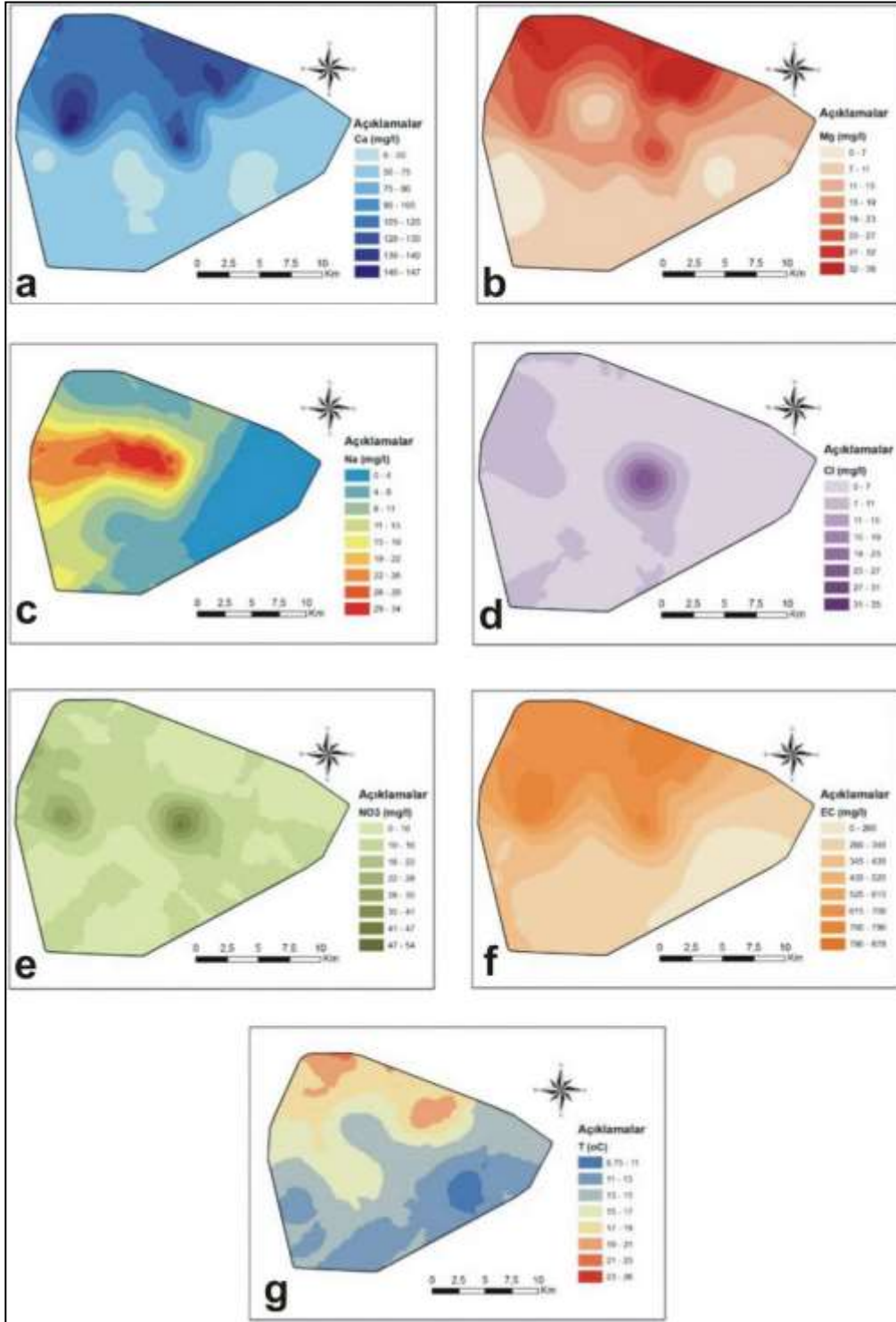
4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yeraltısularının kimyasal konsantrasyonların dağılımını göstermekte yararlı bir araç olan kriging tekniği uygulanmış, kriging tekniği uygulanmadan önce verilerin çarpıklığını azaltmak için logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Bu dönüşümde, Ca, Mg, EC ve Na parametrelerinde çarpıklık yüksek çıktığı için dönüştürülmesine gerek kalmamıştır. Elde edilen en küçük RMSE değerine göre oluşturulan yarıvaryogram modelinde ise Ca ve Mg için, logaritmik dönüşümlü üssel (exponential) model; Cl ve Na için logaritmik dönüşümlü Gauss (Gaussian) modeli ve NO_3 , EC ve T için küresel (spherical) model uygun görülmüştür.

Yeraltısuyu kalite parametrelerinin nugget/sill oranlarına göre Ca, Mg, Na, EC ve T parametrelerinde güçlü bir mekansal bağımlılık vardır. Cl ve NO_3 parametreleri ise orta mekansal bağımlılığa sahiptir. Uygulanan modellere göre, T, EC ve NO_3 dışındaki parametrelerin ölçülen ve tahmin edilen değerleri arasında pozitif korelasyon olduğu görülmüştür.

Yeraltısuyu kimyasının mekansal dağılımı için ise normal kriging interpolasyon yöntemi uygulanarak elde edilen Ca, Mg ve EC hidrojeokimyasal dağılım haritalarında genel olarak kuzeye doğru artış görülmektedir. Na dağılım haritasında ise volkanik malzemelerden oluşan ova çökellerinin olduğu alanlarda daha yüksek Na konsantrasyonları ölçülmüştür. Bölgedeki yüksek Cl ve NO_3 değerleri örnek alım noktasına yakın olan arıtma tesisi ile ilgili olabilir. Yine bölgede NO_3 konsantrasyonlarındaki yüksek değerler tarımsal faaliyetlere bağlı olabilir. Bu değerlerden sadece NO_3 konsantrasyonunun yüksek olduğu iki lokasyon (IC-3 ve IC-8) TS 266 (2005)'te verilen standart değerleri aşmaktadır. Diğer parametreler bakımından tüm örnek alım noktaları standart değerler ile uyumludur.

ISPARTA İL MERKEZİ YERALTISUYU KALİTESİNİN JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE HARİTALANMASI



Şekil 8. Yeraltısuyu kimyasal parametrelerinin mekansal dağılım tahmin haritaları (a) kalsiyum, (b) magnezyum, (c) sodyum, (d) klorür, (e) nitrat, (f) elektriksel iletkenlik ve (g) sıcaklık

KAYNAKLAR

- [1] NAS, B., BERKTAY, A., Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Konya Kenti Yeraltısuyu Sertlik Haritasının Oluşturulması, Fatih Üniversitesi Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, 13-14 Kasım 2001, 135-140, 2001.

S. DEMER, K. HEPDENİZ

- [2] HAMAD, S. “Geostatistical Analysis of Groundwater Levels in the South Al Jabal Al Akhdar Area Using GIS”, Proceedings of 16th International Symposium GIS Ostrava, January 25-28, 2009, 1-10, Czech Republic, 2009.
- [3] NWANKWOALA, H.O., ELUDYOIN, O.S., OBAFEMI, A.A., “Groundwater Quality Assessment and Monitoring Using Geographic Information Systems (GIS) in Port Harcourt, Nigeria”, Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management-EJESM, 5, 4, 583-596, 2012.
- [4] ADHIKARY, S. K., SHARIF, A. A., DAS, S. K., SAHA, G. C., “Geostatistical Analysis of Groundwater Level Fluctuations in the Shallow Aquifer of Northwestern Bangladesh”, Proceedings of the 2nd International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD), 14-16 February 2014, 390-399. Bangladesh, 2014.
- [5] GHARBIA, A. S., GHARBIA, S. S., ABUSHBAK, T., WAFI, H., AISH, A., ZELENKOVA, M., PILLA, F., “Groundwater Quality Evaluation Using GIS Based Geostatistical Algorithms”, Journal of Geosciences and Environment Protection, 4, 89-103, 2016.
- [6] <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISPARTA> (erişim tarihi: 29.03.2018).
- [7] DEMER, S., Isparta ve Yakın Çevresi Yeraltısularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal İncelenmesi ve İçme Suyu Kalitesinin İzlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (yayınlanmamış), 181s., Isparta. 2008.
- [8] TS 266, Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2005.
- [9] MCNEELY, R.N., NELAMNIS, V.P., DWYER, L., Water Quality Source Book: A Guide To Water Quality Parameter, Inland Waters Directorates, Water Quality Branch, Ottawa, 1979.
- [10] KARAMAN, M. E., “Isparta Güneyinin Temel Jeolojik Özellikleri”, Türkiye Jeoloji Bülteni, 33, 57-67, Ankara, 1990.
- [11] KARAMAN, M. E., MERİÇ, E., TANSEL, İ., “Çünür (Isparta) Dolaylarında Kretase-Tersiyer Geçışı”, Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 4, 80-100, Isparta, 1988.
- [12] YALÇINKAYA, S., Isparta-Ağlasun (Burdur) Dolaylarının Jeolojisi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (yayınlanmamış), 176s., İstanbul, 1989.
- [13] GÖRMÜŞ, M., ÖZKUL, M., “Gönen-Atabey (Isparta) ve Ağlasun (Burdur) Arasındaki Bölgenin Stratigrafisi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 43-64, Isparta, 1995.
- [14] IRLAYICI, A., Isparta Ovası Hidrojeolojisi ve Yeraltısuları ile İlgili Çevre Sorunları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s. (yayınlanmamış), Isparta, 1993.
- [15] DSİ, XVIII. Bölge Müdürlüğü, Isparta Ovası Hidrojeolojik Etüt Ön Çalışması, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü, Isparta, 1993.
- [16] KARAGÜZEL, R., IRLAYICI, A., “Groundwater Pollution in Isparta Plain-Turkey”, Environmental Geology and Water Sciences, Springer Verlag, 34/4, 303-308, Berlin, 1998.
- [17] GUTNIC, M., MONOD, O., POISSON, A., DUMONT, J. F., Geologie Des Taurides Occidentales (Turquie). Mem. Soc. Geol. France, 137, 112 p, Paris. 1979.
- [18] YALÇINKAYA, S., ERGİN, A., AFŞAR, Ö. P., TANER, K., DALKILIÇ, H., Batı Torosların Jeolojisi; Isparta Projesi Raporu, MTA Genel Müdürlüğü raporları (yayınlanmamış), MTA Rapor no 7898, Ankara, 131s., 1986.
- [19] ŞENEL, M., 1:250 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Isparta paftası, MTA yayınları No:4, 47 s., Ankara, 1997.
- [20] POISSON, A., YAĞMURLU, F., BOZCU, M., ŞENTÜRK, M., “New Insights on the Tectonic Setting and Evolution Around the Apex of the Isparta Angle (SW Turkey)”, Geological Journal, 38, 257-282, 2003.
- [21] ONGUN, A. R., Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Uzaysal Değişkenliğinin Saptanması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 141s., İzmir, 2008.
- [22] YAPRAK, S., ARSLAN, E., “Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerinin Enterpolasyonu”, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi”, 98, 36-42, 2008.
- [23] MARKO, K., AL AMRI, N.S., ELFEKI, A.M.M., “Geostatistical Analysis Using GIS For Mapping Grounwater Quality: Case Study in the Recharge Area of Wadi Usfan, Western Saudi Arabia”, Arabian Journal of Geoscience, 7, 5239-5252, 2014.
- [24] SINGH, A.K., MAHATO, M.K., NEOGI, B., TEWARY, B.K., SINHA, A., “Environmental Geochemistry and Quality Assessment of Mine Water of Jharia Coalfield, India”, Environmental Geology, 65, 49-65, 2012.
- [25] HOUNSLOW, A.W., Water Quality Data: Analysis and Interpretation. Lewis Publishers, 54, 1995.
- [26] EFFENDI, H., Water Quality Analysis for Living Aquatic Resources Management. Kanisius Press, Yogyakarta, Indonesia, 285p, 2003.

ISPARTA İL MERKEZİ YERALTISUYU KALİTESİNİN JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE HARİTALANMASI

- [27] BACK, W., "Hydrochemical Facies and Ground-Water Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastel Plain", U.S. Geol. Surv. Profess. Papers 488-A, 1-42. 1966.
- [28] ŞİMŞEK, C., Torbalı Çevresinin Hidrojeolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s., İzmir, 1998.
- [29] ÖZTÜRK İ., TİMUR H., KOŞKAN U., Atıksu Arıtımının Esasları-Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, İstanbul, 2005.
- [30] METCALF & EDDY, Wastewater Treatment, Disposal and Reuse (fourth edition), Editor: Tchobanoglous, George and Burton, Franklin L. and Stensel, H. David. Mc Graw Hill Publishing, 2003.
- [31] KİTİŞ, M., BEYHAN, M., TOSUN, İ., HARMAN, B. İ., YİĞİT, N. Ö., Isparta Yöresindeki Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinin İncelenmesi ve Tarımsal Sulama Amacıyla Rehabilitasyon Protokollerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi, Proje Sonuç Raporu (Proje No: SDÜ BAP YUUP-03), 47s., Isparta, 2007.
- [32] ATABEY, E., Tıbbi Jeoloji. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 134 s., Ankara, 2005.
- [33] AKPINAR, K., "Dünyada ve Türkiye’de Suyun Kullanımı ve Geleceğimiz için Önemi. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Hizmetiçi Eğitimi", 6-16. Yalova, 2005.
- [34] FEWTRELL L., "Drinking Water Nitrate, Methemoglobinemia, and Global Burden of Disease: A Discussion", Environmental Health Perspectives, 112, 14, 1371-1374, 2004.
- [35] MANISH, K., RAMANATHAN, A., RAO, M.S., KUMAR, B., "Identification and Evaluation of Hydrogeochemical Processes in the Groundwater Environment of Delhi, India", Environmental Geology, 50, 1025-1039, 2006.
- [36] HALOI, N., SARMA, H. P., "Heavy Metal Contaminations in the Groundwater of Brahmaputra Flood Plain: An Assessment of Water Quality in Barpeta District, Assam (India)", Environmental Monitoring Assessment, 184, 10, 6229-6237, 2012.
- [37] CEDERSTORM, D. J., "Genesis of Groundwater in the Coastal Plain of Virginia", Environ Geology, 41, 218-245, 1946.
- [38] APPELO, C. A. J., "Multicomponent Ion Exchange and Chromatography in Natural Systems", Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 34, 1, 193-227, 1996.
- [39] KAMRANI, S., REZAEI, M., AMIRI, V., SABERINASR, A., "Investigating the efficiency of information entropy and fuzzy theories to classification of groundwater samples for drinking purposes: Lenjanat Plain, Central Iran", Environmental Earth Science, 75, 1370, DOI/10.1007/ s12665-016-6185-1, 2016.
- [40] WARRICK, A.W., MYERS, D.E., NIELSEN, D.E., Geostatistical Methods Applied to Soil Science, In A. Klute (ed), Methods of Soil Analyses Part I: Physical and Mineralogical Methods, (pp 53-57). American Society of Argonomy-Soil Science Society of America, Madison, WI 53711, USA, 1986.
- [41] REESE, R.E., MOORHEAD, K.K., "Spatial Characteristics of Soil Properties Along an Elevational Gradient in a Carolina Bay Wetland", Soil Science Society of America Journal, 60, 1273-1277, 1996.
- [42] BOURGAULT, G., JOURNAL, A.G., RHOADERS, L.D., CORWIN, D.L., LESCH, S.M., "Geostatistical Analysis of a Salinity Data Set", Advances in Agronomy, 58, 241-292, 1996.
- [43] GOOVAERTS, P., "Geostatistics in Soil Science: State of the Art and Perspectives", Geoderma, 89, 1-2, 1-45, 1999.
- [44] BOCCHI, S., CASTRIGNANO, A., FORNARO, F., MAGGIORE, T., "Application of Factorial Kriging for Mapping Soil Variation at Field Scale", European Journal of Agronomy, 13, 295-308, 2000.
- [45] ÖZTAŞ, T., Jeoistatistiğin Toprak Bilimlerindeki Önemi ve Uygulanışı, İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu, Cilt I, 271-280, 1995.
- [46] BAŞKAN, O., Gölbaşı Yöresi Topraklarının Mühendislik, Fiziksel Özellik İlişkilerinde Jeoistatistik Uygulanması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004.
- [47] Li, H. B., Reynolds, J. F., "On Definition and Quantification of Heterogeneity", Oikos, 73, 280-284, 1995.
- [48] MEHRJARDI, R.T., JAHROMI, M.Z., MAHMUDI, S., HEIDARI, A., "Spatial Distribution of Groundwater Quality with Geostatistics", World Applied Sciences Journal, 4, 1, 9-17, 2008.
- [49] NAYANAKA, V.G.D., VITHARANA, W.A.U., MAPA, R.B., "Geostatistical Analysis of Soil Properties to Support Spatial Sampling in a Paddy Growing Alfisol", Tropical Agricultural Research, 22, 1, 34-44, 2010.
- [50] CAMBARDELLA, C. A., MOORMAN, T. B., NOVAK, J. M., PARKIN, T. B., KARLEN, D. L., TURCO, R. F., KONOPKA, A. E., "Field Scale Variability Soil Properties in Central Iowa Soils", Soil Science Society America Journal, 58, 1501-1511, 1994.
- [51] JOHNSTON, K., HOEF, J. M. V., KRIVORUCHKO, K., LUCAS, N., ArcGIS® 9: Using ArcGIS® Geostatistical Analyst, 2001.