



Jeoistatistik Tahmin ve Simulasyon Yöntemleri ile Artvin İlindeki Doğal Kaynak Suları için Toplam Alfa ve Toplam Betanın Ara Değer Modellemesi ve Haritalanması

Cafer Mert YEŞİLKANAT^{1,*}, Yaşar KOBYA², Halim TAŞKIN³, Uğur ÇEVİK⁴

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 08000 Artvin, Türkiye

²Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 08000 Artvin, Türkiye

³TAEK, Çekmece Nükleer Araş. ve Eğit. Mer. , Altınşehir Yolu 5 Km, Halkalı, 34303 İstanbul, Türkiye

⁴Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 61000 Trabzon, Türkiye

Received: 27.10.2014; Accepted: 05.11.2014

Özet. Bu çalışmada jeoistatistik tahmin yöntemleri (ordinary kriging ve universal kriging) ile Artvin ilindeki doğal kaynak sularında ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivitesinin örnek alınmamış noktalarda tahmini değerleri hesaplanmış ve simulasyon (benzetim) yöntemi ile (şartlı gauss simulasyonu) hem toplam alfa hem de toplam beta için bölgedeki dağılım belirlenmiştir. Ayrıca hesaplamalardan elde edilen verilerin yardımı ile alfa ve beta aktiviteleri için tanımlayıcı haritalar üretilmiştir. Çalışma alanını tanımlayacak bir şekilde 102 istasyondan su örnekleri alınmış ve bunların rastgele seçilmiş %50 si (51) model için kullanılırken geriye kalan %50 si (51) model sonundaki doğrulama testi için kullanılmıştır. Sırasıyla alfa ve beta aktiviteleri için maksimum ölçüm değeri, 0.771 Bq/L, ve 0.808 Bq/L ve minimum değerleri 0.005 Bq/L ve 0.0013 Bq/L olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda universal kriging yönteminin ara değer tahmininde ordinary kriging yönteminden daha iyi olduğu belirlenmiş ve oluşturulan haritalarda küçük alanlı yerel değişimlerin daha iyi gözlemlendiği görülmüştür. Simulasyon ve tahmin haritaları karşılaştırıldığında sulardaki toplam alfa ve betanın dağılımının iyi bir şekilde temsil edildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toplam alfa, Toplam beta, Geoistatistik, Artvin, Doğal kaynak suyu

Interpolated Modelling and Mapping of Gross Alpha and Gross Beta for Natural Spring Water in Artvin Province by Using Geostatistical Prediction and Simulation Methods

Abstract. This study figures out the estimated values of total beta and alpha activities for non-sampled points in the study area of natural spring water in Artvin province by using geostatistical prediction methods (ordinary kriging and universal kriging). Water samples were taken from 102 stations which describes the study area and randomly chosen 50% of the samples (51) were used for the modelling and the other 50% were used for the validation test at the end of the model. The maximum measurement values were found to be 0.771 Bq/L and 0.808 Bq/L and minimum values were 0.005 Bq/L and 0.013 Bq/L, respectively. In addition, both gross alpha and gross beta distributions were specified by using simulation method (conditional gauss simulation). With the help of acquired data from prediction and simulation, descriptive maps were drawn for gross alpha and gross beta activities. Comparing simulation and prediction maps, it is specified that gross alpha and gross beta distribution in water was represented efficiently. At the end of the study, it was seen that universal kriging method was better than ordinary kriging method for interpolated estimation value.

Keywords: Gross Alpha, Gross beta, Geostatistic, Artvin, Natural spring water

1. GİRİŞ

İnsan, yaşadığı çevrede hem doğal hem de yapay kaynaklardan yayınlanan değişik tipteki radyasyonlara her an maruz kalmaktadır. Radyasyon dozu değerlendirilmelerinde doğal kaynaklar oldukça önemli yer tutarlar. Çünkü insanlar hayatları süresince doğal kaynaklardan

* Corresponding author. Email address: cmertyesilkanat@gmail.com

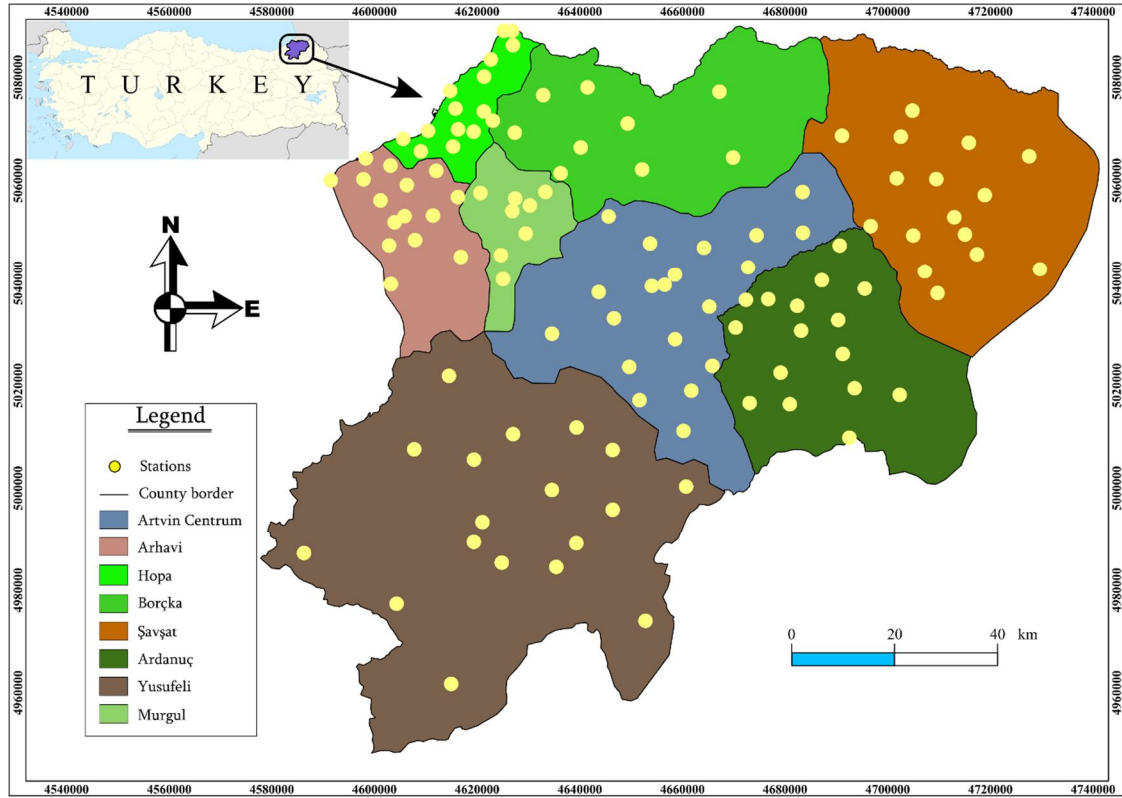
yayınlanan radyasyonlardan belli oranlarda doz almaktadırlar. Yıllar boyunca alınan bu radyasyon, vücutta belirli tahribatlara yol açabilmektedir. Bu sebeple insanların yaşadığı ortamdaki radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi ve maruz kaldıkları radyasyon dozlarının bulunması amacıyla çalışmalar yakın geçmişten günümüze yapılmaktadır [1–10]. Çevresel radyasyon ölçümlerindeki temel amaç, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon türü ile dozunun belirlenmesi ve oluşturacağı riskin değerlendirilmesidir.[11, 12] Bunun için de, doğal ve yapay radyasyon kaynaklarını oluşturan radyonüklidlerdir çevresel ortamdaki konsantrasyonları ile radyasyonun özellikle insanda olmak üzere, biyolojik sistemler üzerindeki tesirinin tayin edilmesi gerekir [13]. Ancak bu hem zor hem de masraflı bir süreçtir. Özellikle geniş çalışma alanları, engebeli arazi tipi, numune toplama ve ölçüm süreçlerinin uzun sürmesi ve pahalı olması, numune istasyonlarının bölgeyi karakterize etmede yetersiz olmasına sebep olmaktadır. Bu bakımdan ölçüm alınmayan noktaların en az hata ile tahmin edilmesi ve radyolojik olarak bölgenin haritalanması, çevresel radyoaktivitenin izlenmesi ve dağılımının belirlenmesi için oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, jeostatistik tahmin yöntemleri ile Artvin yöresindeki doğal kaynak sularında toplam alfa ve toplam beta aktivite değerlerinin ara değer tahminlerini hesaplanarak en az hata ile bölgenin radyolojik haritasını oluşturmak amaçlanmıştır. Ayrıca Jeostatistik simulasyon metodu ile çalışma alanı için toplam alfa ve toplam beta'nın dağılımının belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda tahmin ve simulasyon haritaları karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Çalışma Alanı ve Numunelerin Toplanması

Artvin 40° 36' ile 41° 31' N enlemlerinde ve 41° 09' ile 42° 35' E boylamlarında Türkiye'nin en kuzey doğu ucunda yerleşmiş bir şehirdir (Şekil 1). 7436 km² lik yüz ölçümü ile Ülkenin yaklaşık %1'lik bir kısmını kaplar ve 2013 verilerine göre bölge nüfusu kırsal da 75.018, şehirler de 94316 olmak üzere toplam 169334 dır [14]. Bölgenin topografik yapısı çok engebelidir, 1000 ile 3000 metre arasında değişen yükseklikler mevcuttur. Bu yörede ortalama yükseklik 2000 metredir. Yükseklik artışına bağlı olarak kozmik ışınlardan etkilenme miktarının artışı, radyasyon aktivitesinin yüksekliğe bağlı olarak artmasına neden olur [15, 16]. Artvin yöresinde doğal kaynak sularındaki toplam alfa ve toplam beta aktivitelerini ölçmek için 102 farklı istasyondan numuneler toplanmıştır. Bu istasyonlar Şekil-1'de gösterilmiş olup ayrıca da numunelerin istatistiksel özeti Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı ve numune alınan istasyonlar

2.2 Deneysel Süreç

Numunelerin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiflik analizleri için, ÇNAEM Sağlık Fiziki Bölümü laboratuvarında bulunan Berthold marka LB770 model 10 kanallı düşük seviyeli alfa-beta sayım cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, 10 numunenin alfa ve beta sayımlarını aynı anda yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayım sistemi dedeksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir. Dedeksiyon ortamı olarak en çok kullanılan gazlar argon, ksenon, izobütan, helyum ve metandır. Bir tüp, bu gazlardan biri veya ikisinin karışımı ile doldurulup içine iki elektrot konular. Gaz içinde meydana gelen iyonlar zıt işaretli elektrotlarda toplanırlar. İyonların elektrotlarda toplanmasından meydana gelen elektrik akımı laboratuvar sayım cihazının elektronik devresinde dedekte edilir.

Alfa veya beta sayımında kullanılan bu gaz akışlı orantılı sayıcılar genellikle yarım küre şeklinde bir sayım odasına sahiptir. Ortalarında tungstenden yapılmış bir tel halka bulunur. Tel, anot görevi, oda duvarları da katot görevi görür. Akışkan gaz, oda içinden geçirilerek oda içinde

pozitif iyonlar oluşturulur. Detektörün çalışma voltajı 1650 V olup çapı 5 cm'dir. Bu sayıcılarda kullanılan akışkan gaz %90 argon ve %10 metan karışımı içermektedir [17].

2.3 Jeostatistiksel Modelleme

Jeostatistik, klasik istatistik yöntemlerinden farklı olarak örnekler arası ilişkiyi, örneklerin alındıkları koordinatları da hesaba katarak ele alan ve temelleri fonksiyonlar teorisindeki durağan rastlantı teorisine dayanan istatistiksel bir hesaplama metodudur. Bu hesaplama yönteminin, yapılan hata miktarının belirli güven düzeylerinde belirlenebilmesi gibi çok önemli avantajları bulunmaktadır [18]. Jeostatistik'te, bölgesel değişkenlerin (spatial variable) uzaklığa bağlı değişimleri variogram (veya semivariogram) fonksiyonu ile belirlenir ve bu fonksiyon birbirinden h kadar uzaktaki iki değişken arasındaki farkın varyansı olarak ifade edilir. Varyansın artması, aralarındaki ilişkinin azalması şeklinde yorumlanabilir. Bir başka deyişle iki nokta arasındaki farkın varyansının büyüklüğü noktalar arasındaki mesafenin büyüklüğüne bağlıdır [19]. Ölçüm yapılan tüm uzay için semivaryans aşağıdaki eşitlikle tanımlanır,

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

Burada, $\gamma(x)$ Semivaryans değeri, h , i ve j noktaları arasındaki mesafe, $N(h)$: h uzunluğundaki nokta çiftleri sayısı (ya da bölge içindeki h vektörü sayısı), $Z(x_i)$: Değişkenin i noktasındaki ölçülen değeri, $Z(x_j+h)$: Değişkenin noktasında ölçülen değeridir. Bu deneysel semivariogram fonksiyonu her doğrultuda ve her ölçüm çifti için hesaplanır daha sonra uygun bir parametrik bir fonksiyon fit edilir. Literatürde en çok kullanılan modeller, küresel (Eşitlik 2), Üstel (exponential) (Eşitlik 3), gauss (Eşitlik 4), pentaspherical (Eşitlik 5), lineer (Eşitlik 6) ve çembersel (Eşitlik 7) modellerdir [20].

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) & \text{for } h \leq a, \\ c_0 + c & \text{for } h > a. \end{cases} \quad (2)$$

$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\frac{h}{r}\right) \right), \quad \text{for } h \geq 0 \quad (3)$$

$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\frac{h^2}{r^2}\right) \right), \quad \text{for } h \geq 0 \quad (4)$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{15h}{8a} - \frac{5}{4} \left(\frac{h}{a} \right)^3 + \frac{3}{8} \left(\frac{h}{a} \right)^5 \right) & \text{for } h \leq a, \\ c_0 + c & \text{for } h > a. \end{cases} \quad (5)$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{h}{a} \right) & \text{for } h \leq a, \\ c_0 + c & \text{for } h > a. \end{cases} \quad (6)$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{h}{a} \right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right) & \text{for } h \leq a, \\ c_0 + c & \text{for } h > a. \end{cases} \quad (7)$$

Burada a etki mesafesi (range), yani konumsal bağılılığın mesafesidir. c eşik değer (sill), yani maksimum varyansdır, c_0 kontrolsüz etki varyansı (nugget effect), yani çalışma alanının homojenliğini ifade eden kısım ve h uygulama mesafesidir. Fit edilen model kriging interpolasyonu için gerekli olan giriş parametrelerini (ağırlık katsayılarını) sağlar. Ayrıca bölgenin spatial yapısı hakkında bilgi verir. Uygun modeli bulmak için çapraz doğrulama işlemi gerçekleştirilir. Çapraz doğrulamada bir gözlem noktası veri setinin dışında tutulur ve diğer noktalar kullanılarak oluşturulan kriging modeli ile bu nokta tahmin edilir. Dışarıda bırakılan noktaların tahminlerinin standart hataları hesaplanır ve üç tanımlayıcı istatistik uygulanır. Bunlar; ortalama hata (ME, Eşitlik 8), hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE, Eşitlik 9) ve ortalama hata karesi oranı (MSDR, Eşitlik 10)'dır. Kriging yansız olduğundan ortalama hata (ME) ideal olarak "0" olmalıdır. Kriging yarıvariogramdaki hatalar için duyarsız olduğundan hesaplanan ME, zayıf bir tanımlayıcıdır. RMSE'nin küçük olması istenir (yaklaşık "0"). Eğer yarıvariogram modeli doğruysa, RMSE krigleme varyansının karesine eşit olmalıdır. Bu nedenle de MSDR "1" olmalıdır [21].

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - \check{Z}(x_i)\} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - \check{Z}(x_i)]^2} \quad (9)$$

$$MSDR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{[Z(x_i) - \check{Z}(x_i)]^2}{\hat{\sigma}^2(x_i)} \quad (10)$$

Burada, $s(x_i)$, x_i noktasındaki kriging varyansı, $Z(x_i)$ bilinen değer, $\check{Z}(x_i)$ tahmin edilen değerdir, N veri sayısıdır. Bu çalışmada jeostatistiğin temel yöntemi olan kriging yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, matematiksel olarak, bilinen en iyi lineer yansız hesaplayıcı (BLUE [best linear unbiased estimator]) olarak tanımlanır [22]. Bunun anlamı, kestirim hatasının minimum olması şartına göre ağırlıkların belirlenmesidir. Kriging yöntemi klasik istatistik teoremindeki ağırlıklı ortalama yöntemine benzer bir şekilde yakındaki noktalardan daha fazla etkilenmeyi sağlayan bir ağırlık modeli kullanır [23]. Kriging yönteminin genel hali,

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N W_i Z(x_i) \quad (11)$$

şeklindedir. Burada; $Z(x_0)$, x_0 noktasında bilinmeyen ancak tahmin edilen Z değeri, $W_i Z(x_0)$ 'nin hesabında kullanılan her bir $Z(x_i)$ ye karşılık ağırlık değerleri, $Z(x_i) Z(x_0)$ 'nin tahmin edilmesinde kullanılan deneysel veriler, $N Z(x_0)$ 'nin hesabında kullanılan nokta sayısıdır. Klasik istatistik de olduğu gibi jeostatistik analizde de dağılımın normal dağılıma uyması beklenir [18]. Jeostatistik analizde dağılımın normal olmaması variogramın yapısını bozarak kriging ağırlıklarının yanlış hesaplanmasına yol açar. Bu yüzden sık sık log-normal olan deneysel veriler, normal dağılıma uymasını sağlamak için veri dönüşümleri uygulanır [23, 24]. Son yıllarda araştırmacılar tarafından, Simple kriging [25], Ordinary kriging [26, 27], universal kriging [28], cokriging [29], indicator kriging [30] gibi birçok kriging yöntemi çalışılmıştır. Bu çalışmada en yaygın iki yöntem olan ordinary kriging ve universal kriging kullanılmıştır.

2.3.1 Ordinary Kriging (OK)

OK yönteminde konumsal rastsal alan, $[Z(x)]$, ortalamalarının sabit ve durağan olduğu varsayılır [30] ve buna yansızlık (Unbiasnedness) denir. OK kestirimi Eşitlik 11'de verilmektedir. Kestirimin yansız bir şekilde yapılabilmesi için tahmin hatalarının ortalamasının (the mean of estimation error) $E[Z(x_i)-Z(x_0)]=0$ ve tahmin hatalarının varyansının $Var[Z(x_i)-Z(x_0)]=Min.$, koşulunu sağlaması gerekir. Buradan aradeğer tahmininin yansız olması için ağırlıkların toplamının 1'e eşit $\left(\sum_{n=i}^N W_i = 1 \right)$ olması gerektiği ortaya çıkar.

2.3.2 Universal Kriging (UK)

Bölgesel değişkenlerin durağanlık göstermediği durumlarda belirli bölgelerde trend oluşturabilir. Bu durumda, Eşitlik 12'de verildiği gibi, konumsal olarak trend bileşeni ve hata terimlerinin toplamı olarak yazılır [27].

$$Z(x_0) = W_0 + \sum_{i=1}^N W_i f_i(x) + e(x) \quad (12)$$

Burada W_0 ve W_i bilinmeyen regresyon katsayıları, $e(x)$ Hata terimi ve $f(x_i)$ x noktasındaki i 'nci tahmin edici değerdir. Trendi tanımlayan bu fonksiyon çalışılan bölgenin yapısına bağlı olarak değişir. Buradaki $e(x)$ hata teriminin ortalaması 0, $e(x)$ ve $e(x+h)$ ve arasındaki kovaryansı sadece h mesafe vektörü ile belirlenir [31, 32]. Bu çalışmada universal kriging de tahmin edici olarak Toplam alfa ve Toplam beta aktivitesini etkileyen Rakım, yağış miktarı, jeolojik yapı ve toprak tipi kullanılmıştır.

2.3.3 Ardışık Koşullu Gauss Simulasyonu (AKGS)

Jeoistatistiksel simulasyon da amaç konumsal rastsal alanların $[Z(x)]$ ın yapısını dağılımını ne kadar değiştiğini ortaya koyan ve istatistiksel olarak numune alınan veri setinin

özelliklerine yakın yeni veri setleri üretmektir. Böylelikle çalışılan alan örneklem değerlerin dağılımına uyarlanıp, olası realizasyonlar elde edilir [33]. Simulasyon ile örneklem istatistiğine uyan birçok realizasyon oluşturulabilir. Dolayısı ile simulasyon tekniği nokta tahminine dair çıkarımlar için kullanılamaz. Ancak genel istatistiksel özellikleri taşıyan ve değerlerin birbirine bağıntılı değerlendirilebileceği çıkarımlar yapılabilir [32]. Bu bakımdan kriging yöntemi ile arasında fark vardır. Ancak Kriging yönteminin sonuçları yumuşatma etkisinden dolayı lokal detayları yansıtmada yetersiz olduğu ve AKGS ile üretilen simulasyon haritalarının lokal değişimi daha doğru yansıttığı bildirilmiştir [34].

2.4 Yazılım Kaynakları ve Haritalama

Tüm analizler istatistiksel hesaplama ve veri analizi için geliştirilen R programlama dili [35] ile yapılmıştır. Burada açık kaynak kodlu olarak kullanılan Gstat [36] ve sp R paketleri kullanılmıştır. Haritalar Quantum geographic information system (QGIS) vs 1.8.0 [37] ile oluşturulmuştur. Tüm interpolasyon ve simulasyon haritaları 100×100 m² (1 ha mekansal çözünürlük) piksel boyutunda hazırlanmıştır.

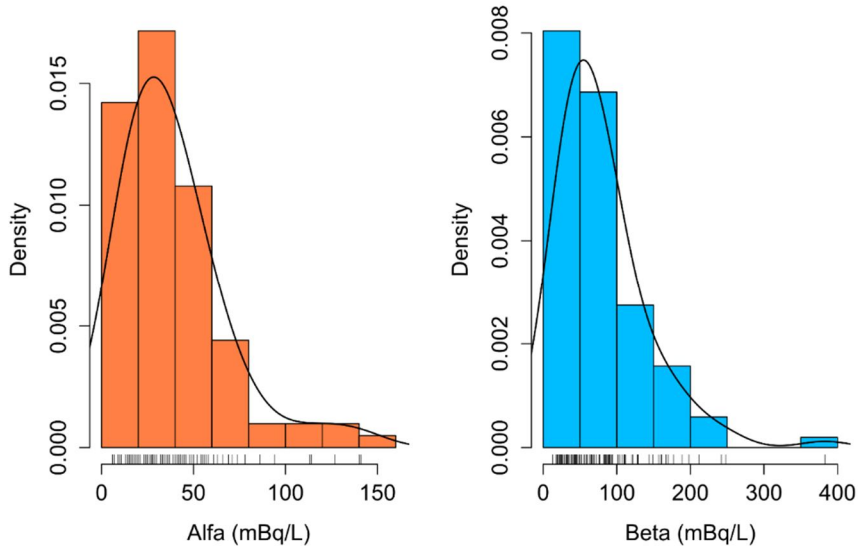
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1 İstatistiksel Özet ve Verilerin Dönüştürülmesi

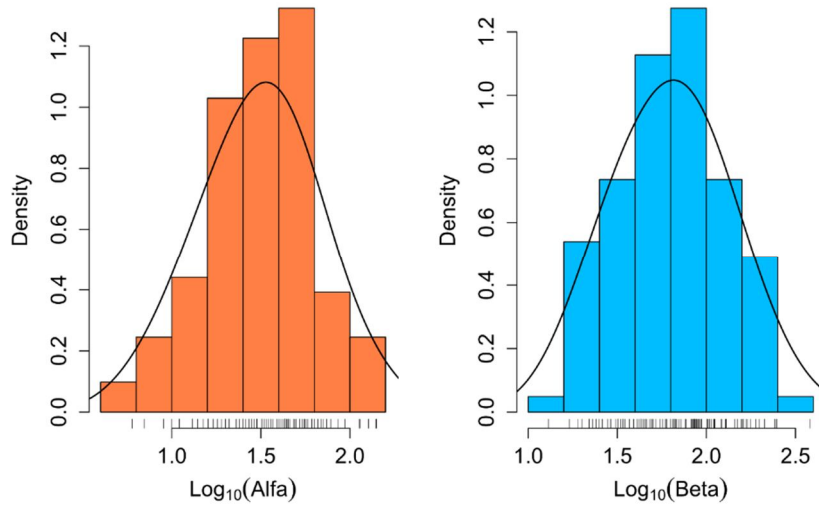
Tablo 1, toplam alfa ve Toplam beta ölçümleri için hem işlenmemiş hem de logaritma dönüşümü yapılmış veri seti için özet istatistikleri vermektedir. Toplam alfa ve toplam beta değerlerinin her ikisi için ham veri sütunundaki yüksek Skewness, kurtosis, değerleri dağılımın normal dağılım olmadığı göstermektedir. Ayrıca bu durum Shapiro-Wilk normallik Testi ($p < \%1$) ve Şekil 2’de gösterilen verilerin histogram grafikleri ile de doğrulanmıştır. Dağılımı normal dağılıma dönüştürmek için Logaritma dönüşümü yapılmıştır. Şekil 3’de Logaritma dönüşümü yapılmış verilerin dağılımı gösterilmektedir. Logaritma dönüşümlü verilerin (log-transformed data) Shapiro wilk normallik testi ($p > \%1$) sonucunda normal dağılıma sahip olduğu bulunmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Toplam alfa ve beta konsantrasyonlarının istatistiksel özeti

	Toplam Alfa(mBq/L)		Toplam Beta (mBq/L)	
	Ham veri	Log-dönüştürülmüş	Ham veri	Log-dönüştürülmüş
Numune sayısı	102	102	102	102
Ortalama	38.71	1.48	79.25	1.79
Min.	6.00	0.77	13.00	1.11
Max.	141.00	2.14	383.00	2.58
Stan. sapma	27.76	0.30	59.43	0.30
Medyan	32.00	1.50	65.00	1.81
Kurtosis	3.54	-0.22	6.44	-0.44
Skewness	1.73	-0.13	2.06	0.05
Shapiro-Wilk Normallik Test	W=0.84 (p<0.01)	W=0.99 (p>0.01)	W=0.82 (p<0.01)	W=0.99 (p>0.01)



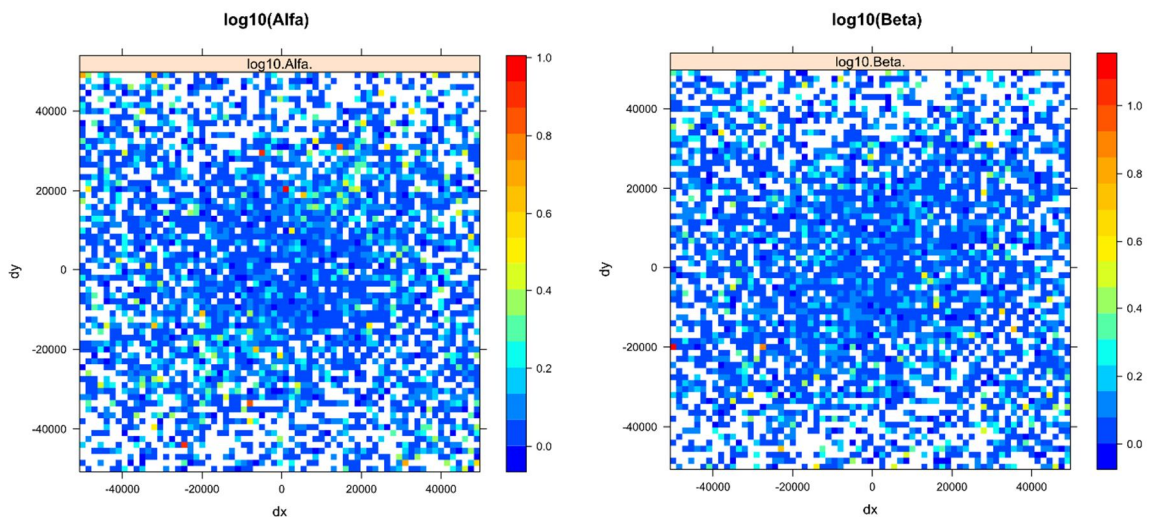
Şekil 2. Toplam alfa ve beta konsantrasyonları için yoğunluk dağılımı



Şekil 3. Toplam alfa ve beta konsantrasyonlarının logaritma dönüşümü uygulandıktan sonraki yoğunluk dağılımları

3.2 Verilerin Konumsal Yapısının Belirlenmesi

Şekil 4, toplam alfa ve toplam beta ölçüm sonuçları için konumsal yapıyı (Spatial Structure) açıklayan semivariogram yüzeyini (semivariogram map) göstermektedir. Bu desenin tüm yüzeye homojen şekilde dağılmasından dolayı konumsal ilişkinin yöne bağlı olmadığı (anizotropi yok) belirlenmiştir. Bu sebepten dolayı ordinary kriging tahmini, izotropik deneysel yarıvariogramın oluşturulması ve uygun modelin bu semivariograma fit edilmesi ile mümkündür.



Şekil 4. Çalışma alanının konumsal yapısını gösteren variogram haritası

3.2.1 Ordinary Kriging Aradeğer Tahmini

Tablo 2, ordinary kriging yöntemi kullanılarak toplam α ve β aktivite konsantrasyonlarının ara değer tahmin haritasını (interpolated maps) oluşturmak için kullanılan deneysel semivariogramı en iyi temsil eden modelin seçilmesinde kullanılan tanımlayıcı istatistiklerin özeti verilmektedir. Bu tablo her bir model için kriging çapraz doğrulama işlemi sonucunda elde edilen verilerden oluşturulmuş ve toplam alfa için küresel modelin, toplam beta için exponential modelin en uygun model olduğu belirlenmiştir.

Şekil 5, her iki aktivite konsantrasyonu değerleri için uygun deneysel ve teorik variogramlar gösterilmiştir. Toplam Alfa ve Toplam Beta değeri için nugget effect (C0) çok küçüktür ve sırasıyla 0.054 ve 0.049. Bu değer konumsal yapıyı ortaya çıkartmak için numuneleme yoğunluğunun uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca konumsal korelasyonun ekti mesafesini gösteren Range (a), her iki radyonüklid değeri içinde numuneleme uzaklığı (ortalama 5000 m) değerinden oldukça fazladır. Toplam alfa ve toplam beta Aktivite konsantrasyonları için range sırasıyla 31945 m ve 23202 m dir.

Tablo 2. En iyi teorik variogramı bulmak için hesaplanan model parametreleri

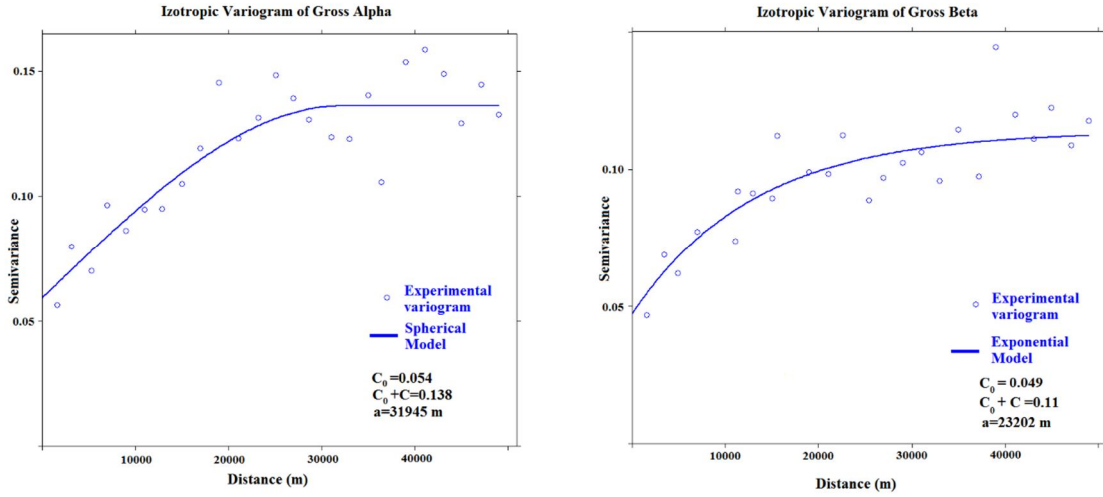
Model	Toplam Alfa(mBq/L)			Toplam Beta (mBq/L)		
	ME	RMSE	MSDR	ME	RMSE	MSDR
Spherical *	0.001	0.307	0.998	0.001	0.305	1.072
Exponential**	0.002	0.313	0.988	0.001	0.297	1.013
Gauss	0.002	0.317	0.970	0.001	0.303	1.064
Pentaspheical	0.001	0.314	1.036	0.001	0.304	1.061
Linear	0.002	0.308	0.972	0.002	0.309	1.115
Circular	0.002	0.309	0.961	0.001	0.307	1.088

* Toplam α ' yı en iyi fit eden parametrik model

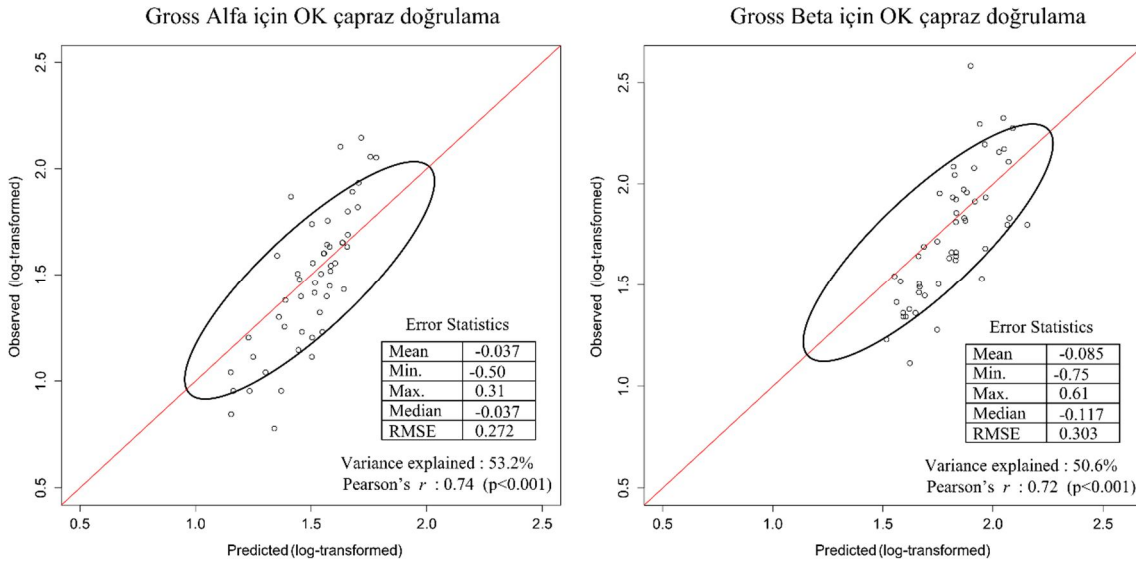
** Toplam β ' yı en iyi fit eden parametrik model

Variogramın uygun fonksiyon ile fit edilmesinin ardından belirlenen model parametrelerinin yardımı her iki aktivite konsantrasyonunun, Ordinary kriging tahminleri belirlenmiştir. Burada 51 istasyondan alınan verilerin yardımı ile modelleme yapılmış ve geri kalan 51 istasyon için tahminler hesaplanmıştır. Elde edilen veriler için çapraz doğrulama grafiği oluşturulmuştur (Şekil 6). Her iki grafik için tahmin edilen ve gerçek değerleri arasında iyi bir lineer ilişki elde edilmiştir. Tahmin edilen noktaların çok büyük kısmı (Alfa için %80.4,

beta için %84.3) ihtimaliyet eğrisi elipsi içinde kalmıştır. Her iki grafikte de ortalama hata değerleri oldukça düşük oranlarda bulunmuş ve anlamlı bir şekilde tahminlerle gözlem değerleri arasında yüksek bir korelasyon belirlenmiştir.



Şekil 5. Toplam alfa ve toplam Beta için deneysel ve teorik variogram



Şekil 6. Toplam alfa ve toplam beta için Ordinary kriging (OK) çapraz doğrulama grafikleri

3.2.2 Universal Kriging Aradeğer Tahmini

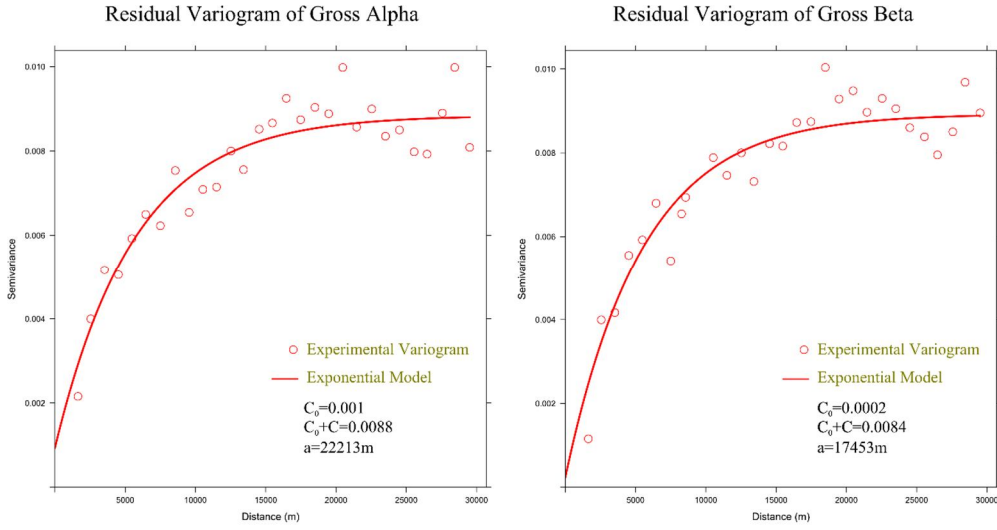
Universal kriging de drift etkeni olarak yükseklik ve toprak yapısı kullanılmıştır. Böylelikle konumsal yapıyı yeniden ortaya koymak için kalıntı variogramı hem toplam alfa hem de toplam beta için yeniden oluşturulmuştur. Bu kalıntı variogramını en iyi şekilde temsil eden parametrik fonksiyonu belirlemek için tıpkı OK yönteminde olduğu gibi çapraz doğrulama tablosundan tanımlayıcı istatistiklerin durumu incelenmiştir. Tablo 3’de kalıntı variogramını fit eden parametrik fonksiyonların model parametreleri verilmiştir.

Tablo 3. En iyi teorik variogramı bulmak için hesaplanan model parametreleri (UK)

Model	Toplam Alfa(mBq/L)			Toplam Beta (mBq/L)		
	ME	RMSE	MSDR	ME	RMSE	MSDR
Spherical	0.0001	0.287	1.040	0.0002	0.251	1.013
Exponential*	0.0001	0.223	1.008	0.0001	0.213	0.997
Gauss	0.0002	0.272	0.973	0.0002	0.343	1.121
Pentaspherical	0.0001	0.282	1.023	0.0001	0.312	1.451
Linear	0.0002	0.305	1.243	0.0002	0.345	0.982
Circular	0.0001	0.309	1.116	0.0001	0.318	1.108

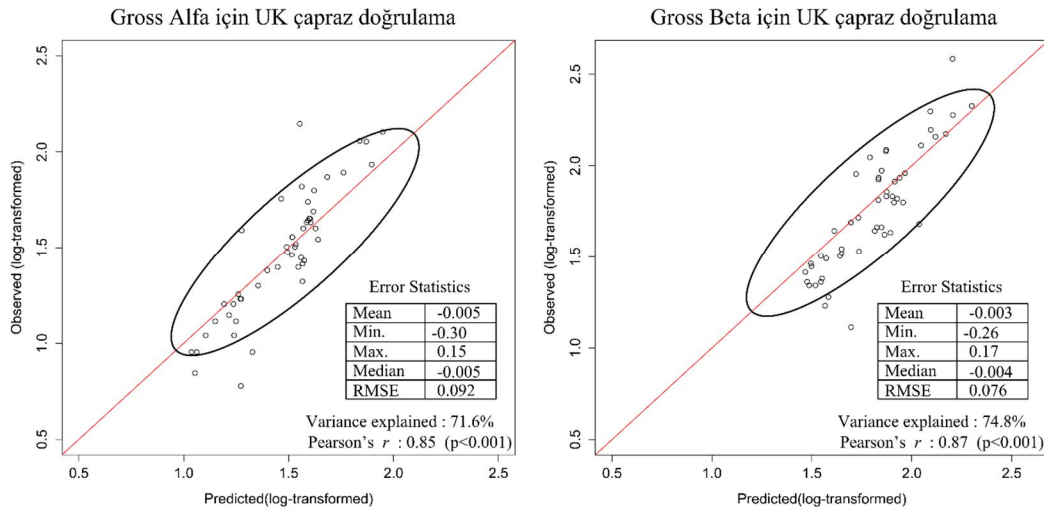
Şekil 7’de bu drift etkenleri ile oluşturulmuş kalıntı variogramları görülmektedir. Burada her iki variogram için nugget effect (C_0) oldukça küçüktür ve toplam alfa ve toplam beta için sırasıyla 0.001 ve 0.0002’dir. Bu değer konumsal yapıyı ortaya çıkartmak için numuneleme yoğunluğunun uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca konumsal korelasyonun ekti mesafesini gösteren Range (a), her iki radyonüklid değeri içinde numuneleme uzaklığı (ortalama 5000 m) değerinden oldukça fazladır. Toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları için range sırasıyla 22213 m ve 17453 m’dir.

YEŞİLKANAT, KOBYA, TAŞKIN, ÇEVİK



Şekil 7. Toplam alfa ve toplam Beta için kalıntı variogramı ve fit edilen modeller

Kalıntı variogramının uygun model ile fit edilmesinin ardından her iki aktivite konsantrasyonunun, Universal kriging tahminleri belirlenmiştir. Burada 51 istasyondan alınan verilerin yardımı ile modelleme yapılmış ve geri kalan 51 istasyon için tahminler hesaplanmıştır. Elde edilen veriler için çapraz doğrulama grafiği oluşturulmuştur (Şekil 8). Her iki grafik için tahmin edilen ve gerçek değerleri arasında iyi bir lineer ilişki elde edilmiştir. Tahmin edilen noktaların çok büyük kısmı (Alfa için %92.15, beta için %92.15) ihtimaliyet eğrisi elipsi içinde kalmıştır. Her iki grafikte de ortalama hata değerleri oldukça düşük oranlarda bulunmuş ve anlamlı bir şekilde tahminlerle gözlem değerleri arasında yüksek bir ilişki belirlenmiştir.

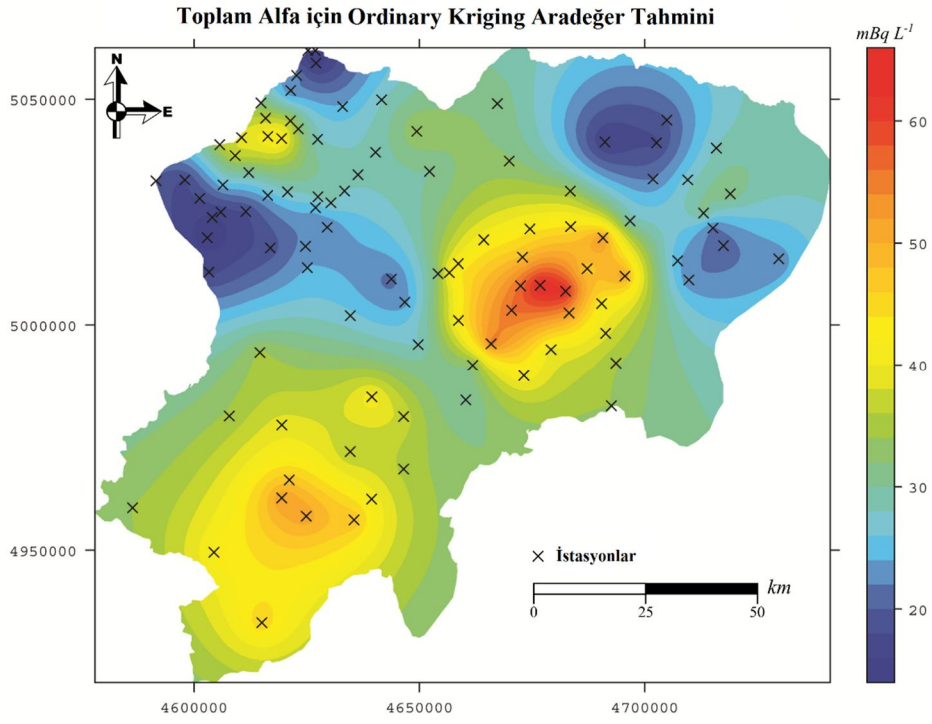


Şekil 8. Toplam alfa ve toplam beta UK için çapraz doğrulama grafikleri

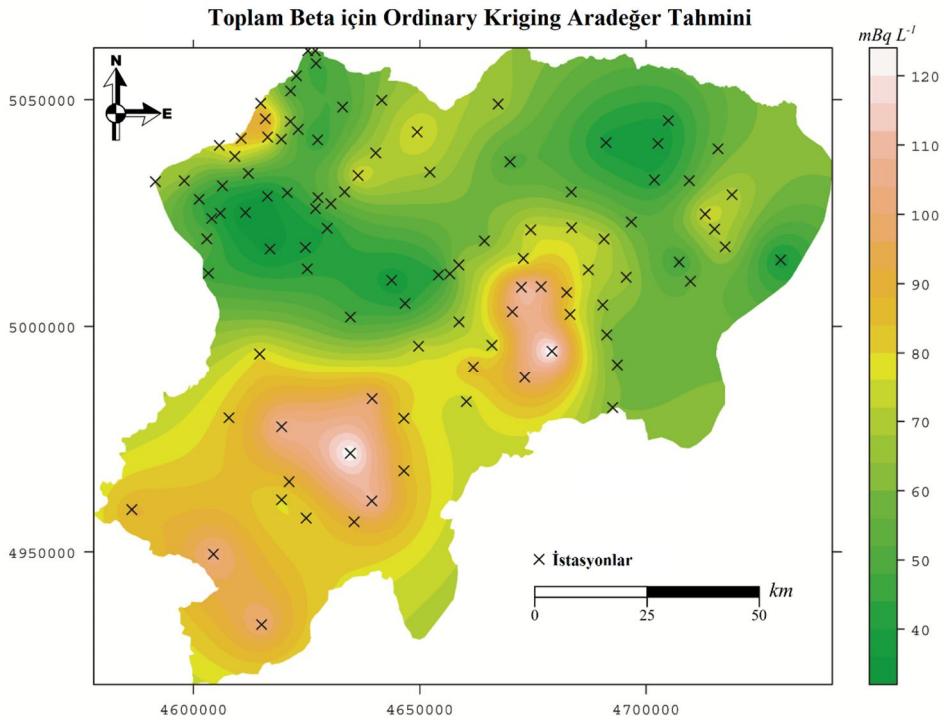
3.3 Aradeğer tahmin Haritalarının oluşturulması

Örnek alınmamış noktaların tahmini ve haritalandırılması için çalışma alanı 100 m x 100 m lik (1 ha'lık mekânsal çözünürlük) hücrelere ayrılmış grid sistemi ile temsil edilmiştir. Bölgenin tamamı için 1634 sütun (E-W yönü 163400 m) ve 1409 satırlık (N-S yönü 140900m) grid noktası oluşturulmuştur. Her bir grid noktası için hem OK hem de UK ile ayrı ayrı tahminler belirlenmiş ve her iki tahmin yöntemi içinde haritalar oluşturulmuştur. Şekil 9, 10, 11 ve 12 sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta'nın ordinary kriging ve Universal Kriging ile oluşturulmuş tahmin haritalarını göstermektedirler. OK tahmin haritasında (Şekil 9-10) kriging yönteminin yumuşatma (smooth) etkisinden dolayı lokal değişimler belirgin bir şekilde görülmemesine karşın çalışma alanındaki toplam alfa ve toplam beta genel hatları ile dağılımı belirlenebilir. Özellikle rakımın düşük ve yağışın yüksek olduğu bölgelerde (Karadeniz kıyıları ve yüksek yaylalar) toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin düşüklüğü dikkati çekmektedir. Ayrıca haritalar Hem toplam alfa hemde toplam beta aktivitesinin benzer karakteristik özellikler gösterdiğini vurgulamaktadır. Universal kriging aradeğer tahmin haritasında (Şekil 11-12) drift faktörleri nedeniyle kriging yönteminin yumuşatma (smooth) etkisinin biraz daha azalmış olduğu görülmektedir. Bu model ile oluşturulan haritada toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin lokal değişimleri daha belirgindir. Çalışma alanının çok engebeli bir arazi olması sebebi ile rakım değerlerinin ani değişimi toprak yağış ve jeolojik formasyonun ani değişime yol açmış ve bu durum oluşturulan haritada gösterilmiştir.

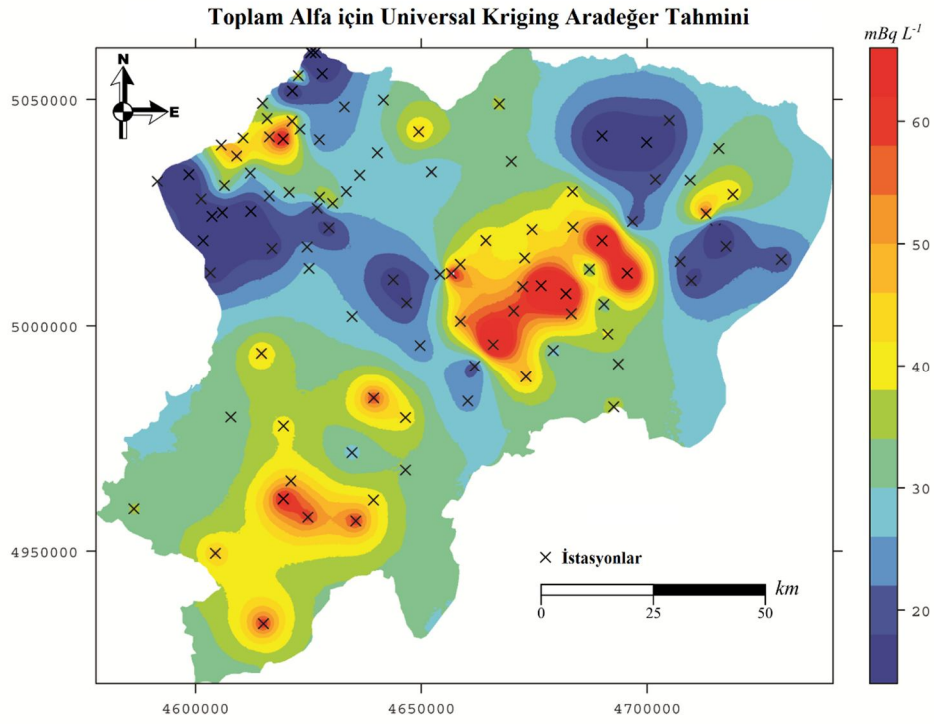
YEŞİLKANAT, KOBYA, TAŞKIN, ÇEVİK



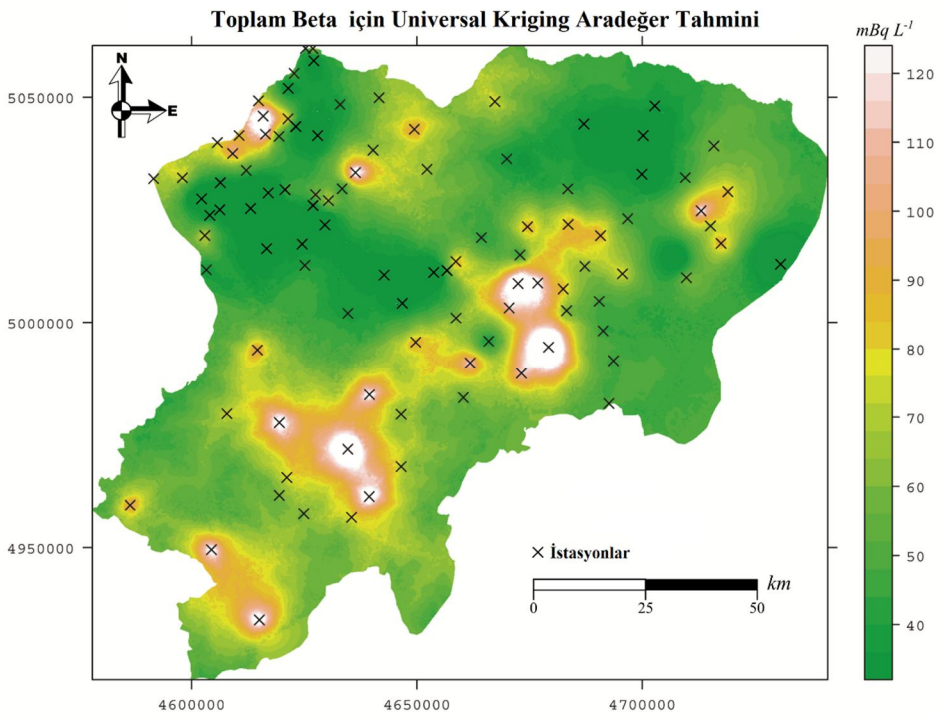
Şekil 9. Toplam alfa için OK aradeğer tahmin haritası



Şekil 10. Toplam beta için OK aradeğer tahmin haritası



Şekil 11. Toplam alfa için UK aradeğer tahmin haritası



Şekil 12. Toplam beta için UK aradeğer tahmin haritası

3.4 Simulasyon Haritalarının oluşturulması

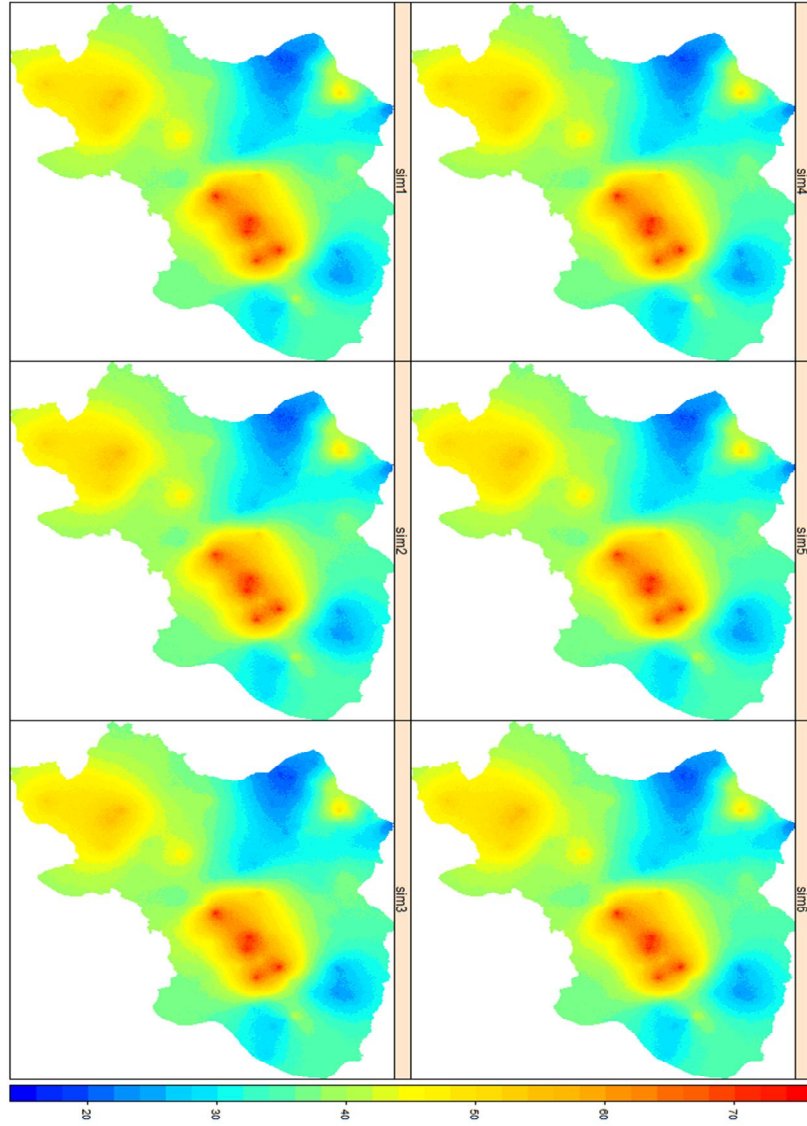
Simulasyonlar, her 100 metrede bir olarak, 1633 x 1408 boyutunda gridlere bölünmüş Artvin ilinin geneli için yapılmıştır. Simulasyonlarda kullanılan komşuluk parametresinin nokta sayısı 40 olarak belirlenmiştir. Her bir değişken için 6 simulasyon üretilmiştir. Şekil 13 ve 14’de sırasıyla toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları için oluşturulan Ardışık koşullu gauss simulasyon (AKGS) haritaları görülmektedir. Tablo 4 ise, simulasyon sonucu oluşturulan veriler ile gerçek verilerin istatistiklerinin karşılaştırmasını göstermektedir. Burada özet istatistik değerlerde birbirine yakın çıkan değerler simulasyonun doğru bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Çalışma sonunda elde edilen bu haritalarının genel yapısının OK ve UK de elde edilen haritaları yansıttığı gözlenmektedir. Ayrıca verilen OK, UK ve AKGS haritaları genel değişkenlik deseni dikkate alınarak değerlendirildiğinde yüksek ve düşük Toplam alfa ve Toplam beta düzeyleri büyük benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Ancak kısa mesafe değişkenliğini temsil etmede AKGS haritaları OK ve UK haritalarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. AKGS ile üretilen haritalarda OK ve UK metoduna göre lokal detayların daha belirgin hale geldiği görülmektedir (Şekil 9-10-11-12-13 ve 14). Daha önceki çalışmalarda da OK ve UK yönteminin sonuçları yumuşatma etkisinden dolayı lokal detayları yansıtmada yetersiz olduğu ve AKGS ile üretilen simulasyon haritalarının lokal değişimi daha doğru yansıttığı bildirilmiştir [33, 34, 38].

Tablo 4. Toplam alfa için oluşturulan 6 adet AKG simulasyon verisinin istatistiksel özeti

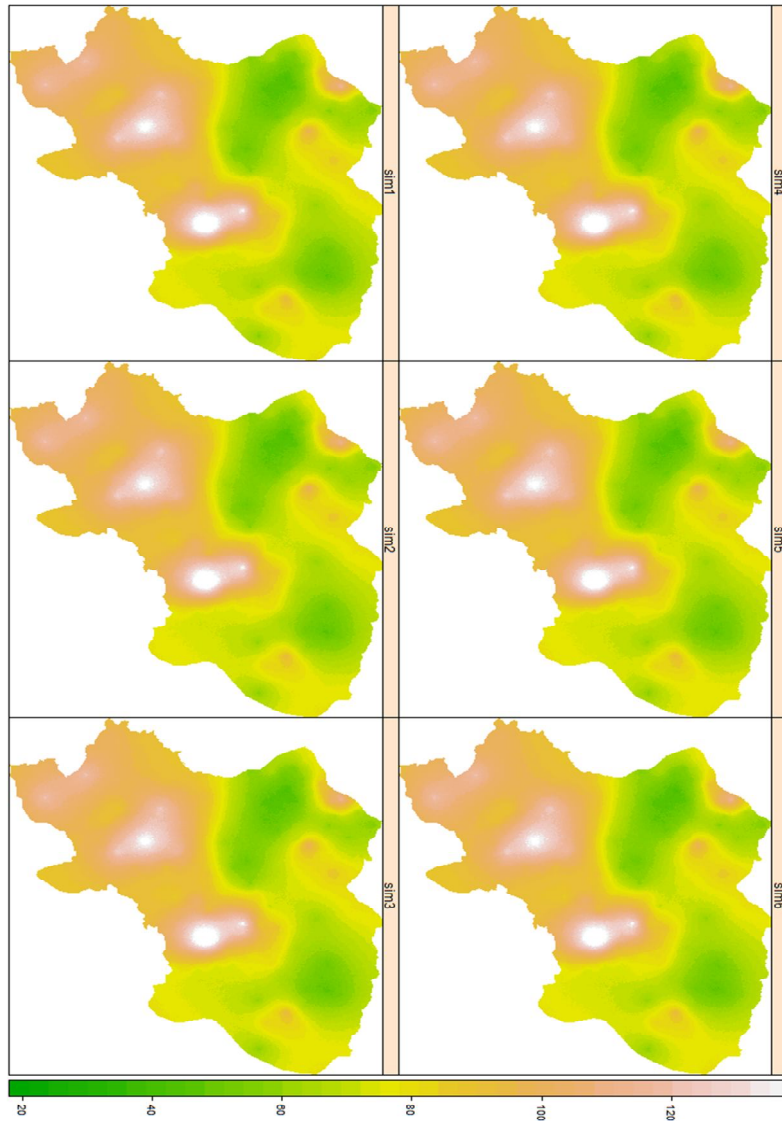
mBq/L	Gerçek	Sim1	Sim2	Sim3	Sim4	Sim5	Sim6
Min.	13.00	20.82	20.45	20.31	20.80	20.66	21.20
1stQu.	37.50	58.99	58.92	59.00	58.93	59.02	58.94
Med.	65.00	72.37	72.31	72.41	72.02	72.93	72.94
Mean	79.25	79.21	79.93	79.92	79.30	79.25	79.70
3rdQu	99.25	96.73	96.83	96.70	96.75	96.85	96.78
Max.	383.00	183.58	184.00	183.90	183.93	184.10	183.94

Tablo 5. Toplam beta için oluşturulan 6 adet AKG simulasyon verisinin istatistiksel özeti

mBq/L	Gerçek	Sim1	Sim2	Sim3	Sim4	Sim5	Sim6
Min.	6.00	17.86	17.88	17.79	17.47	17.53	17.92
1stQu.	18.25	32.90	32.84	32.87	32.88	32.85	32.84
Med.	32.00	37.98	37.93	37.91	37.91	37.91	37.86
Mean	38.71	38.77	38.72	38.75	38.72	38.72	38.72
3rdQu.	48.75	43.18	43.13	43.16	43.14	43.12	43.13
Max.	141.00	74.02	74.26	74.18	73.90	73.79	73.75



Şekil 13. Toplam alfa için ardışık şartlı Gauss simülasyonu ile oluşturulan benzetim haritaları



Şekil 14. Toplam beta için ardışık şartlı Gauss simulasyonu ile oluşturulan benzetim haritaları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Artvin'deki doğal kaynak sularındaki toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları incelenerek ve jeoistatistiksel metotlar ile numune alınmayan noktalar için tahmin değerleri hesaplanmış ve sonuçlar haritalandırılmıştır. Böylece belirli bir ölçüm verisi ile çalışma alanının radyolojik olarak genel yapısının minimum hata ile belirlenmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada Ordinary kriging ve universal kriging aradeğer tahmin metotları ile Ardışık koşullu gauss simulasyon tekniği kullanılmıştır. Universal kriging tekniğinde tahmin edici

olarak hem genel toprak grupları hem de rakım değerleri hesaplamaya dâhil edilmiştir. Toplam alfa ve toplam beta aktivite değerlerinin çalışma alanındaki dağılımının normal olmamasından dolayı veriler logaritma dönüşümü (log-transformed) ile normalleştirilmiştir. Konumsal yapıyı ortaya çıkartmak için anizotropik variogramlar incelenmiş ve sonuçta bu variogramların yöne bağlı olarak değişmediği belirlenmiştir. Hem izotropik (toplam alfa ve toplam beta için) hem de kalıntı variogramı (toplam alfa ve toplam beta için) için doğru bir variogram yapısı belirlenmiştir. İzotropik variogramda toplam alfa için en uygun parametrik fonksiyon olarak küresel model, toplam beta içinse üssel (exponential) model olduğu gösterilmiştir. Kalıntı variogramında ise her iki aktivite konsantrasyonu için uygun model olarak exponential model bulunmuştur. Böylece Ordinary kriging ve Universal kriging ağırlıklarının hesaplanması için gerekli parametreler fit edilen modeller yardımı ile belirlenmiştir. OK ve UK yöntemlerinin karşılaştırılması için test verileri ile çapraz doğrulama yapılmıştır. Sonuç olarak OK ile açıklanan varyans toplam alfa için %53.2 (pearson's $r = 0.74$, $p < 0.001$) ve toplam beta için %50.6 (pearson's $r = 0.72$, $p < 0.001$) olarak bulunurken UK ile açıklanan varyans Toplam alfa için 71.6% (pearson's $r = 0.85$, $p < 0.001$) ve toplam beta için %74.8 (pearson's $r = 0.87$, $p < 0.001$) olarak bulunmuştur. Aradeğer tahmin haritası için çalışma alanı 100 m x 100 m'lik (1 ha'lık mekânsal çözünürlük) hücrelere ayrılmış grid sistemi ile temsil edilmiş ve hem OK hem de UK yöntemleri kullanılarak doğal kaynak suları için örnek alınmayan noktalarda Toplam alfa ve Toplam beta tahmin değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta her bir grid noktasında değerler hesaplanarak haritalar oluşturulmuştur. Benzer şekilde aynı variogram yapısı kullanılarak aynı noktalar için ardışık şartlı gauss simülasyonu hesaplanmış ve hem toplam alfa hem de toplam beta aktivite konsantrasyonları için 6 adet simülasyon haritaları oluşturulmuştur. Çalışma sonunda elde edilen bu haritalarının genel yapısının OK ve UK de elde edilen haritaları yansıttığı gözlenmiştir. Ayrıca verilen OK, UK ve AKGS haritaları genel değişkenlik deseni dikkate alınarak değerlendirildiğinde yüksek ve düşük Toplam alfa ve Toplam beta düzeyleri büyük benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Ancak kısa mesafe değişkenliğini temsil etmede AKGS haritaları OK ve UK haritalarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların yardımı ile herhangi rutin veya acil bir durumda en kısa zamanda en az veri ile belirli bir güven aralığında, bölgenin radyolojik karakterizasyonunun aradeğer tahmini için jeostatistiksel tahmin ve simülasyon metotlarının iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Kobya Y, Taşkın H, Yeşilkanat CM, et al. (2014) Natural and artificial radioactivity assessment of dam lakes sediments in Çoruh River, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. doi: 10.1007/s10967-014-3420-7
2. Karahan G, Öztürk N, Bayülken A (2000) Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey. *Water Research* 34:4367–4370.
3. Taskin H, Kam E, Bozkurt A (2012) Determination of gross alpha and beta activity concentrations in drinking waters in Bursa region of north-western Turkey. *Desalination and Water Treatment* 45:21–25. doi: 10.1080/19443994.2012.691956
4. Celik N, Cevik U, Celik a, Koz B (2009) Natural and artificial radioactivity measurements in Eastern Black Sea region of Turkey. *Journal of hazardous materials* 162:146–53. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.05.017
5. Cevik U, Damla N, Karahan G, et al. (2006) Natural radioactivity in tap waters of Eastern Black Sea region of Turkey. *Radiation protection dosimetry* 118:88–92. doi: 10.1093/rpd/nci325
6. Kurnaz a, Kucukomeroglu B, Damla N, Cevik U (2011) Radiological maps for Trabzon, Turkey. *Journal of environmental radioactivity* 102:393–9. doi: 10.1016/j.jenvrad.2011.02.009
7. Degerlier M, Karahan G (2010) Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey. *Desalination* 261:126–130. doi: 10.1016/j.desal.2010.05.020
8. Dueñas C, Fernández MC, Gordo E, et al. (2011) Gross alpha, gross beta activities and gamma emitting radionuclides composition of rainwater samples and deposition to ground. *Atmospheric Environment* 45:1015–1024. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.10.045
9. Hannan MA, Nguyen N, Rivas M (2013) Natural radioactivity and its gamma dose rate in Mission (Texas) soils. 729–736. doi: 10.1007/s10967-012-1840-9
10. Navarrete JM, Martínez T, Cabrera L (2007) Comparative study between radioactive contamination in powder milk by Chernobyl accident (^{137}Cs) and natural radioactivity (^{40}K). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 272:277–279. doi: 10.1007/s10967-007-0515-4
11. Turhan S, Özçıtak E, Taşkın H, Varinlioğlu A (2013) Determination of natural radioactivity by gross alpha and beta measurements in ground water samples. *Water Research* 47:3103–3108. doi: 10.1016/j.watres.2013.03.030
12. Görür FK, Keser R, Dizman S, Okumuşoğlu NT (2011) Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in various waters from Samsun, Turkey. *Desalination* 279:135–139. doi: 10.1016/j.desal.2011.05.071
13. Degerlier M, Karahan G, Ozger G (2008) Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *Journal of environmental radioactivity* 99:1018–25. doi: 10.1016/j.jenvrad.2007.12.015
14. Statistic Department of Turkey (2014) <http://www.webcitation.org/6NPUa8fse>. Available date: 08.09.2014

15. O'Brien K, Friedberg W, Sauer HH, Smart DF (1996) Atmospheric cosmic rays and solar energetic particles at aircraft altitudes. *Environment international* 22:9–44.
16. Mishev AL, Hristova E (2012) Recent gamma background measurements at high mountain altitude. *Journal of environmental radioactivity* 113:77–82. doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.04.017
17. Kobya Y, Damla N, Cevik U, et al. (2010) Radiological characterization of natural spring waters in the Eastern Black Sea Region, Turkey. *Environ Forensics* 11:187–192.
18. Clark I (1979) *Practical Geostatistics*, First Edit. 119.
19. Diggle P, Riberio P j. (2007) *Model-Based Geostatistics*, First edit. 228.
20. Webster R, Oliver MA (2007) *Geostatistics for Environmental Scientists*, second ed. 330.
21. Boogaart KG Van Den, Schaeben H (2002) Kriging of Regionalized Directions , Axes , and Orientations I . Directions and Axes. *Mathematical Geology* 34:479–503.
22. McGrath D, Zhang C, Carton OT (2004) Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland. *Environmental Pollution* 127:239–248. doi: 10.1016/j.envpol.2003.07.002
23. Krige DG (1966) Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for ore-evaluation. *J South Afr Inst Min Metall* 66:13–38.
24. Li C, Lu Z, Ma T, Zhu X (2009) A simple kriging method incorporating multiscale measurements in geochemical survey. *Journal of Geochemical Exploration* 101:147–154. doi: 10.1016/j.gexplo.2008.06.003
25. Elbasiouny H, Abowaly M, Abu_Alkheir A, Gad A (2014) Spatial variation of soil carbon and nitrogen pools by using ordinary Kriging method in an area of north Nile Delta, Egypt. *CATENA* 113:70–78. doi: 10.1016/j.catena.2013.09.008
26. Sanusi MSM, Ramli AT, Gabdo HT, et al. (2014) Isodose mapping of terrestrial gamma radiation dose rate of Selangor state , Kuala Lumpur and Putrajaya , Malaysia. *Journal of Environmental Radioactivity* 135:67–74. doi: 10.1016/j.jenvrad.2014.04.004
27. Hiemstra PH, Pebesma EJ, Twenho CJW (2009) Real-time automatic interpolation of ambient gamma dose rates from the Dutch radioactivity monitoring network. *Computers & Geosciences* 35:1711–1721. doi: 10.1016/j.cageo.2008.10.011
28. Lark RM, Ander EL, Cave MR, et al. (2014) Mapping trace element deficiency by cokriging from regional geochemical soil data: A case study on cobalt for grazing sheep in Ireland. *Geoderma* 226-227:64–78. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.03.002
29. Chica-Olmo M, Luque-Espinar JA, Rodriguez-Galiano V, et al. (2014) Categorical Indicator Kriging for assessing the risk of groundwater nitrate pollution: the case of Vega de Granada aquifer (SE Spain). *The Science of the total environment* 470-471:229–39. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.09.077
30. Armstrong M (1998) *Basic Linear Geostatistics*. 153.
31. Chilès J-P, Delfiner P (1999) *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. 720.
32. Deutsch C V., Journel AG (1998) *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*, second ed. 369.

33. Goovaerts P (2001) Geostatistical modelling of uncertainty in soil science. *Geoderma* 103:3–26. doi: 10.1016/S0016-7061(01)00067-2
34. Grunwald S, Reddy KR, Prenger JP, Fisher MM (2007) Modeling of the spatial variability of biogeochemical soil properties in a freshwater ecosystem. *Ecological Modelling* 201:521–535. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2006.10.026
35. Ihaka R, Gentleman R (1996) R: A Language for Data Analysis and Graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 5:299–314. doi: 10.1080/10618600.1996.10474713
36. Pebesma EJ, Wesseling CG (1998) Gstat: a program for geostatistical modelling, prediction and simulation. *Computers & Geosciences* 24:17–31. doi: 10.1016/S0098-3004(97)00082-4
37. Quantum GIS Development Team (2014) Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
38. Akbaş F (2012) Tokat Kazova Topraklarının Yarayırlı Fosfor Düzeyinin Jeostatistik Tahmin ve Simulasyon Metodlarıyla Modellenmesi ve Haritalanması. *Tarım Bilimleri Dergisi* 18:63–76.