

## Göksu Deltasında Bazı Yeraltı Suyu Kalite Ögelerinin Probabilistik ve Jeostatistik Yöntemlerle İrdelenmesi

Murat ÇOBANER\*  
Alptekin ÇAKAR\*\*  
Mahmut ÇETİN\*\*\*  
Recep YURTAL\*\*\*\*

### ÖZ

Aşırı su kullanılması, kıyı akiferlerinde tuzlu su girişimine sebep olabilmektedir. Tuzlu su girişiminin saptanması ve önlenmesi amacıyla kuyulardan elde edilen seviye ve kalite ölçüm sonuçları ile yer altı sularında meydana gelen değişiklikler değerlendirilebilmekte gerekli önlemler alınabilmektedir. Bu çalışmada, Göksu deltasındaki 23 adet YAS kuyusundan 2002 yılı Temmuz ayında alınan yer altı suyu örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC, dS/cm), toplam çözünmüş madde (TDS, mg/l) ve klorür (Cl, mg/l) değerlerinin probabilistik ve jeostatistik yöntemlerle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Değişkenlerin kriging tahmin haritaları çizilerek alansal değişimleri incelenmiştir. Çalışma alanının %40'ındaki YAS kuyularının kullanılmasının sakıncalı olduğu; denize yaklaştıkça EC, TDS ve Cl'un tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini tehdit eder düzeylere ulaştığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yeraltı suyu kalitesi, tuzlu su girişimi, jeostatistik, kriging, frekans analizi.

### ABSTRACT

#### Investigation of some Quality Parameters of Underground Water in the Göksu Plain with Probabilistic and Geostatistical Techniques

Exploitation of excessive water may cause saltwater intrusion in coastal aquifers. In order to determine and prevent saltwater intrusion, the results of level and quality measurements together with the variations in underground waters at wells are evaluated and necessary measures are taken. The aim of this study is to evaluate the changes of electric conductivity (EC, dS/cm), total dissolved solids (TDS, mg/l) and chloride (Cl, mg/l) values observed in

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 03.11.2008 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri- mcobaner@erciyes.edu.tr  
\*\* Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana- alptekincakar@gmail.com  
\*\*\* Çukurova Üniversitesi, Ziraat Mühendisliği Bölümü, Adana- mcet64@cu.edu.tr  
\*\*\*\* Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana- ryurtal@cu.edu.tr

23 underground water (UGW) wells located in Göksu plain, in July, 2002 by applying probabilistic and geostatistical methods. Kriging estimated maps are drawn and two dimensional variations of the parameters are investigated. It is concluded that the use of UGW wells at 40% of the studied area is inconvenient. As the seashore is approached, the levels of EC, TDS and Cl parameters are at threatening levels considering the sustainability of agricultural production.

**Keywords:** Groundwater quality, saltwater intrusion, geostatistics, kriging, frequency analysis.

## 1. GİRİŞ

Türkiye’de sulama suyu sağlanmasında yüzeysel su kaynakları yaygınlıkla kullanılmaktadır. Ancak; sulama şebekelerindeki düşük iletim randımanı, çevresel etkiler, taşınan katı madde (sediment) ve buna bağlı olarak sulama sisteminde ortaya çıkan sorunlar (yağmurlama ya da damlama sisteminde olduğu gibi) yer altı su (YAS) kaynaklarının kimi bölgelerde yoğun olarak kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Günümüzde, yer altı sularının emniyetli veriminin üzerinde kullanılması nedeniyle deniz kıyılarına yakın bölgelerde tuzlu su girişi problemi ile sıkça karşılaşmaktadır. Kıyı bölgelerinde tatlı su–tuzlu su ilişkisi iyi incelenmeden açılan YAS kuyularında, akiferlere tuzlu su girişi olmakta ve zamanla su kalitesi bozulmaktadır. Kıyı ve kıyıya yakın bölgelerde bu tür problemlerle karşılaşmamak ve karşılaşılan sorunlara çözüm bulmak amacı ile araştırmalar yapılmaktadır. Bu amaçla YAS derinlik ve kalitesine yönelik arazi verileri toplanmakta; elde edilen arazi verileri objektif analiz teknikleri kullanılarak değerlendirilmektedir.

Tarım alanlarında değişik amaçlara yönelik olarak yapılmış çalışmalarda, örnekleme yerlerinden alınan verilerin göstereceği değişkenliğin incelenmesinde, klasik istatistiksel yöntemler yeterli olmamaktadır. Çünkü klasik istatistikte herhangi bir değişkene ilişkin varyans ve standart sapmanın hesaplanmasında gözlemlerin yapıldığı yerin coğrafi konumu, gözlem noktalarının birbirlerine göre konumları ve gözlemler arasındaki korelasyon dikkate alınmamaktadır [1, 2]. Söz konusu soruna çözüm getirmek amacıyla Matheron [3], 1960’lı yıllarda “yöresel değişkenlik” kuramını ortaya atmıştır. Söz konusu teknik, ilk olarak maden mühendisliğinde maden rezervlerinin belirlenmesinde kullanıldığı için “Jeoistatistik” olarak tanımlanmıştır [4, 5]. Jeoloji biliminde kullanımı yaygınlaşan jeoistatistiksel yöntemler, zamanla diğer bilim alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır [6, 7]. Örneğin; Carlson ve Osiensky [8] yaptıkları bir çalışmada, kuzey Idaho’da yer altı suyundaki nitrat dağılımının yersel olarak tanımlanabilmesi için jeoistatistiksel yöntemleri kullanmışlardır. Çalışma ile elde ettikleri sonuçları haritalamışlar ve bu haritayı yorumlamışlardır.

Çetin ve ark. [9] tarafından yapılan bir çalışmada, toprak ve taban suyuna ilişkin bazı fiziksel ve kimyasal özellikler jeoistatistik ve probabilistik yöntemlerle incelenmiştir. Bu amaçla, incelenen değişkenlerin uzaysal bağımlılık yapıları modellenmiş ve haritalanarak alansal dağılımları saptanmıştır. Öte yandan, Çetin ve Diker [10] çalışmalarında taban suyu derinliğinde meydana gelen değişimleri yersel analiz teknikleri ile değerlendirmişler ve drenaj problemi olan alanların belirlenmesi için Coğrafi Bilgi Sistemini (CBS) kullanmışlardır. Pilot alan olarak Adana, Aşağı Seyhan Ovasında 8494 ha’lık bir alanı seçmişlerdir.

Bu araştırmada, Göksu deltasında sulama amaçlı olarak açılmış YAS kuyuları ile tarımsal drenaj gözlem kuyularından elde edilen EC, TDS ve Cl değişkenlerine ait laboratuvar analiz sonuçları kullanılmıştır. İncelenen özelliklere ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler ve belirlenen olasılık dağılımları kullanılarak her özellik için belirli olasılık düzeyinde alanı temsil eden ortalama değerlerin güven sınırlarının ortaya konulması; değişkenlerin yersel değişimlerinin jeostatistiksel yöntemle değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçların tarımsal açıdan irdelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Çalışma Alanı ve Önemi

Çalışma alanı 1/25 000 ölçekli Silifke P31-b3 ve P32-a4 paftaları içerisinde yer almakta olup, Mersin'e 85 km uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 1). Göksu deltası, Mersin iline bağlı Silifke ilçesinin güneyinde, Göksu nehrinin oluşturduğu kıyı ovası niteliğindedir. Orta doğunun önemli kuş alanlarından biri olan Göksu deltası, Göksu nehrinin Silifke ve Taşucu arasında denize açıldığı bölgeyi kapsamaktadır. Göksu nehrinin batısında Paradeniz ve Akgöl lagünleri yer almaktadır. Göksu deltası toplam 22 615 ha alanı kapsamaktadır. Bu alanın 15 000 ha'ı kara yüzeyi, 7 615 ha'ı su yüzeyinden oluşmakta ve deltada yükselti 0-5 m arasında değişmektedir [11].

Göksu deltası, nadir ve nesli tehlikeye düşmüş kuş türleri ile bitkilerin yaşama, üreme, beslenme ve konaklamalarına imkan sağlayan uluslar arası önemi olan bir sulak alandır. Delta, dünyanın sayılı kuş göçü yolları üzerindedir. Göksu deltasında, 450 türden oluşan Türkiye kuşlarının 332 türü barınmaktadır. Su kuşu türlerinin çeşitliliği ve sayılarının fazla oluşu nedeniyle, özellikle *Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslar Arası Öneme Sahip Sulak Alanlar Hakkındaki Sözleşme (RAMSAR)* kriterlerine göre de uluslar arası öneme sahip alanlardan birisidir [11]. Ülkemiz bu sözleşmeye 1993 yılında taraf olmuş, 1994 yılında Türkiye Büyük Millet Meclisi'nce onaylanmıştır. Deltanın, 1996 yılında da Kültür Bakanlığı'nca Doğal Sit Alanı ilan edildiği bilinmektedir.

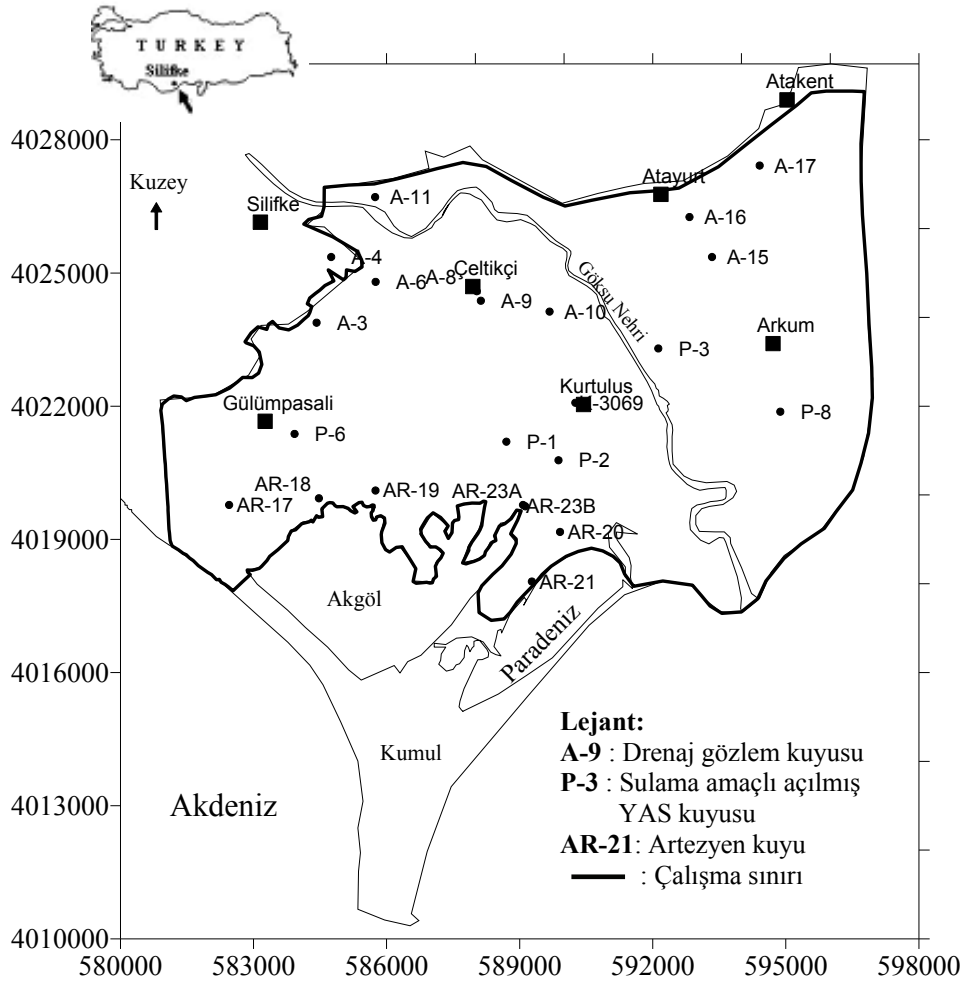
Göksu deltası, Akdeniz iklimine özgü çok çeşitli doğal bitki örtüsüne sahiptir. T.C. Çevre Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü [11] verilerine göre, bölgede 332 bitki türü belirlenmiştir. Türkiye'de korunmaya ihtiyacı olan dünyanın başka hiçbir yerinde bulunmayan 8 adet tür ile 32 adet nadir türün deltada yaşadığı rapor edilmiştir.

Göksu deltası; sahip olduğu doğal, tarihi ve kültürel değerlerinin korunması ve gelecek nesillere aktarılmasının güvence altına alınması amacıyla 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 9. maddesine istinaden, 2 Mart 1990 tarih ve 20449 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 18.01.1990 tarih ve 90/77 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile "*Özel Çevre Koruma Bölgesi*" olarak tespit ve ilan edilmiştir [10]. Bu araştırma, "*Özel Çevre Koruma Bölgesi*" içerisinde yürütülmüştür. Çalışmada, delta üzerinde 23 noktada rastgele dağılmış (Şekil 1) olan YAS ve taban suyu gözlem kuyularında 2002 yılı Temmuz ayında gözlenen EC, TDS ve Cl değerleri Motz ve ark. [12] tarafından yapılan NSF-TÜBİTAK ortak projesinden temin edilerek temel materyal olarak kullanılmıştır.

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. İstatistiksel Analiz ve Uygun Olasılık Dağılım Fonksiyonunun Belirlenmesi

Bilimsel araştırmalarda elde edilen niceliksel verilerin analizinde ve bulguların yorumlanmasında tanımlayıcı istatistikler yoğun olarak kullanılmaktadır. Tanımlayıcı istatistikler verilerin sınıflandırılarak özet tabloların oluşturulmasını; eğilim ve dağılım ölçülerinin elde edilmesini sağlarlar. Bu istatistiklerin hesaplanması ve yorumlanması Chow ve ark. [13] ve Şen [14]'de detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 1. Göksu Deltası genel konumu; EC, TDS ve Cl gözlem noktaları

Değişkenlere uygun olasılık dağılım fonksiyonlarının belirlenmesi Haktanır [15]'de etraflıca değinilmiştir. Normal dağılımın uygulanmasının kolay ve özelliklerinin iyi

bilinmesinden dolayı normal dağılmış olmayan dağılımların da uygun bir dönüşümle normal dağılıma uydurulması yoluna gidilir. Bu amaçla logaritmik dönüşüm (Eşitlik 1) yaygın olarak kullanılır.

$$y = \ln(x - \theta) \quad (1)$$

Burada:  $y$  ve  $x$  sırasıyla logaritmik ve gözlenen değişkenleri;  $\theta$  ise, alt sınır parametresini göstermektedir. Lognormal dağılımda rastgele değişken, pozitif değerler almak zorundadır. Dolayısıyla, bu dağılım pratikte birçok değişkene iyi uyum göstermektedir. Lognormal dağılım ile ilgili hesaplarda ( $y$ ) değişkeni için normal dağılım tablosundan yararlanılır. Bu dağılımda, alt sınır parametresi ( $\theta$ ) sıfır alındığında iki parametrelili Lognormal ( $LN2$ ) olasılık yoğunluk fonksiyonu ( $oyf$ ) elde edilir [16, 17]. Üç parametrelili Lognormal  $oyf$  şöyle deyimlenir:

$$z = (y - \mu_y) / \sigma_y \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right]}{\sigma_y(x - \theta)\sqrt{2\pi}}, \quad x > \theta \quad (3)$$

Burada:  $z$ , standardize değişkeni;  $\mu_y$ , konum parametresini;  $\sigma_y$  ise, ölçek parametresini göstermektedir. Bir değişkenin belirli bir olasılıkla beklenen değeri,  $X_T$ , frekans faktörü eşitliği (Eşitlik 4) kullanılarak tahmin edilebilir [9, 13, 18].

$$X_T = \bar{X} + K_T \times S_x \quad (4)$$

Burada:  $\bar{X}$ , örnek ortalamasını;  $S_x$ , örneğin standart sapmasını;  $K_T$  ise, belirlenen olasılık düzeyine göre değişen frekans faktörünü göstermektedir. Standart olasılık değerleri için Eşitlik (4) ile bulunan değerler proje çalışmalarda veri olarak kullanılabilir [19].

Uygun olasılık dağılım fonksiyonları ve parametrelerinin belirlenmesi, belirli olasılık düzeyinde populasyonun parametrelerinin güven sınırlarının hesaplanması Ott [20], Davis [21]'de verilmiştir. Bu araştırmada, olasılık dağılım fonksiyonlarının belirlenmesinde Minitab 15 [22] paket programı kullanılmıştır.

### 2.2.2. Jeostatistiksel Analiz

Jeostatistik yöntemler doğa olaylarının yersel değişim tavırlarının belirlenmesinde, eksik verilerin tamamlanmasında vb. yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [23, 24]. Bazı ülkelerde jeostatistik çalışma grupları [25, 26] oluşturularak jeostatistik tekniklerin uygulama olanaklarının araştırılması ve bu konudaki literatür eksikliğinin tamamlanması hususunda yoğun çalışmalar yapıldığı dikkat çekmektedir. Jeostatistik analizin ilk aşaması yarivariogram analizlerinin yapılmasıdır. Yarivariogram analizinin kuramsal temeli, aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Yarıvariogram; örnek çiftleri arasındaki  $h$  uzaklığının bir fonksiyonu olarak, incelenen değişkenin uzaysal bağımlılık derecesini ifade eder [5, 9, 27, 28].  $x_i$  ve  $x_j$  sırasıyla  $i$  ve  $j$  gözlem noktalarındaki koordinatlarını;  $z(x_i)$  ve  $z(x_j)$  ise,  $i$  ve  $j$  gözlem noktalarında gözlenen değerleri göstermek üzere;  $N$  sayıdaki gözlemden oluşan yöresel (yersel) değişken  $Z$ 'nin deneysel yarıvariogramı, gözlemler arasındaki Öklid uzaklığı  $h$ 'ye bağımlı olarak aşağıdaki gibi deyimlenmektedir [2, 29, 30, 31].

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var}[Z(x_i) - Z(x_j)]; \quad i, j = 1, N \quad (5-a)$$

$$\gamma(h) = \sigma^2 - C(h) \quad (5-b)$$

Populasyon varyansı  $\sigma^2$  ve kovaryansı  $C(h)$  ile yarıvariogram değerleri arasında sıkı bir ilişki olup, bu ilişki Eşitlik 5-b ifadesi ile verilmektedir [32]. Gözlem çiftleri arasındaki vektörel uzaklık  $h$ , koordinatlara bağlı olarak Eşitlik 6 ile hesaplanabilir [31, 33].

$$h = |u_i - u_j| = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

$$u_i = (x_i, y_i), \quad u_j = (x_j, y_j)$$

Eşitlik 5 ile deyimlenen deneysel yarıvaryans değerlerinin hesaplanabilmesi için gözlemlerin ikili kombinezonlarının [34] oluşturulması ve gözlem çiftleri arasındaki  $h$  uzaklığının koordinatlar yardımı ile belirlenmesi gerekmektedir.  $h$  uzaklıklarına karşılık gelen yarıvaryans değerleri karşılıklı olarak grafiklendiğinde, deneysel yarıvariogram elde edilmektedir. Elde edilen deneysel yarıvariograma teorik bir model uydurulması ve model parametrelerinin saptanarak uygunluk testinin yapılması ile yarıvariogram analizi tamamlanmaktadır [35]. Teorik yarıvariogram modellerinin matematiksel eşitlikleri ve parametreleri Çetin [5] tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Genelleştirilmiş Doğrusal Model : } \gamma(h) = Ch^k \quad 0 < k < 2 \\ \text{Küresel Tip Model : } \gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] & h \leq a = R \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases} \\ \text{Üssel Tip Model : } \gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - e^{-\frac{3h}{a}} \right] \\ \text{Gauss Tip Model : } \gamma(h) = C \left[ 1 - e^{-3(h/a)^2} \right] \end{array} \right\} (7)$$

Burada;

- $h$  : Gözlem çiftleri arasındaki vektörel uzaklık,
- $a$  : Gözlemlerin birbirinden bağımsız kabul edildiği etki uzaklığı,
- $C_o$  : Kontrolsüz etki varyansı,
- $C_l$  : Yapısal ya da stokastik varyans,
- $C$  :  $C_o + C_l$  (Eşik değer veya tepe varyans)

İncelenen yöresel değişkenin teorik yarıvariogram yapısı matematiksel olarak belirlendikten sonra, gözlemi bulunmayan ya da eksik gözlemlerle yörelerin noktasal ya da alansal değerleri sıradan kriging (Ordinary Kriging) tekniği ile tahmin edilebilir.

### 2.2.3. Yarıvariogram Modeli Uygunluk Testi

Belirlenen teorik yarıvariogram modelinin çalışma alanını temsil etme özellikleri Jack-knifing ya da çapraz doğrulama olarak da bilinen yöntemle [6, 36] yapılabilir. Bu yöntemde indirgenmiş hataların ortalamasının sıfır, varyanslarının bir olup olmadığı kontrol edilir [37]. İndirgenmiş hataların ortalaması (mean reduced error, MRE) ve varyansı (reduced variance, RVAR) şöyle hesaplanabilir:

$$MRE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{E_{Measured} - E_{Estimated}}{\sigma_k} \right) \quad (8)$$

$$RVAR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{E_{Measured} - E_{Estimated}}{\sigma_k} \right)^2 \quad (9)$$

Burada,  $N$ , toplam örnek sayısını,  $E_{Measured}$  ölçülmüş değeri,  $E_{Estimated}$  kriging tahminini,  $\sigma_k$  ise tahmin edilen değerlerin kriging standart sapmasını (kriging hata değerini) göstermektedir.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 3.1. Tanımlayıcı İstatistikler ve Olasılık Dağılım Fonksiyonu Analiz Sonuçları

Göксу deltasındaki EC, TDS ve Cl değerleri 23 kuyuda (Şekil 1) ölçülmüştür. EC, TDS ve Cl değerlerinin tanımlayıcı bazı önemli istatistikleri hesaplanarak Çizelge 1'de verilmiştir. EC, TDS ve Cl değerlerinin sağa çarpık bir dağılımla karakterize edildiği belirlenmiştir. Cs ve Ck katsayıları birlikte değerlendirildiğinde; EC, TDS ve Cl değerlerinin normal dağılmadığı sonucuna varılmıştır. Yer altı suyu çalışmalarında EC, TDS ve Cl değerlerinin temel parametre olması nedeni ile geniş alanlarda çalışılması durumunda değişkenliğinin ve çarpık dağılım göstermesinin göz ardı edilmemesi gerekir.

EC, TDS ve Cl değerlerinin oluşturduğu frekans dağılım grafikleri histogram biçiminde elde edilmiş ve uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu Anderson-Darling istatistiği [38] sonuçlarına göre saptanmıştır. Uygunluk test sonuçlarına göre EC, TDS ve Cl değerlerinin 3 parametrelili *lognormal* (LN3) dağılımına uyduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Ortalamaların farklı olasılık düzeylerindeki güven aralıkları hesaplanarak Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 1’de verilen EC, TDS ve Cl değerlerine ilişkin ortalamaların, çarpık dağılım göstermelerinin doğal bir sonucu olarak ortanca değerlere kıyasla yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, verilerde yüksek oranda değişkenlikler saptanmıştır ( $CV>60$ ). Bu durum, gözlenen ortalamaların temsil edebilir bir istatistik olarak karar vericiler tarafından kullanılmasının doğru olmayacağını göstermektedir. Çizelge 2 incelendiğinde, incelenen değişkenlerin ortalamalarına ilişkin güven aralıklarının geniş olduğu görülecektir. Değişkenlerin alan üzerindeki değişkenliklerinin büyük olması güven aralıkları üzerine olumsuz yönde etki etmiştir.

Mühendislik çalışmalarında, alanı temsil ettiği düşüncesi ile örneklerden hesaplanan ortalama değerlerin kullanımı yoluna gidilmektedir. Ancak; verilerin çarpık dağılım göstermesi durumunda gözlenen ortalamaların kullanılmasının bazı sakıncaları vardır. Bu sakıncaların giderilebilmesi ve risk faktörünün de çalışmalara dahil edilebilmesi için belirlenmiş bir olasılık düzeyinde beklenen değer kullanılması tercih edilmelidir [9]. Normal dağılım gösteren bir değişkene ait ortalamanın olma olasılığı %50 olup, tarımsal faaliyetlerde %80 olasılıkla beklenen değerlerin kullanılması güvenilir kabul edilmektedir [19, 39]. Ancak, bu çalışmada da açıkça görüldüğü gibi varyantlar her zaman normal dağılıma uymamaktadır. Bu durumda da hesaplanan ortalamalar verinin temsil edebilir bir istatistiği olamamaktadır. Bu noktadan hareketle, çalışmada kullanılan değişkenlerin uyduğu olasılık dağılımına ait %50 ve %80 olasılıkla değişkenlerin beklenen değerleri tahmin edilmiştir (Çizelge 3). EC, TDS ve Cl değerlerinin tümü çarpık dağılım göstermesi ve normal dağılımdan önemli ölçüde sapması nedeni ile (Çizelge 1 ve Şekil 2), gözlenen ortalamalar %50 olasılıkla beklenen değerlerden daha büyük bulunmuştur (Çizelge 3). Bu oranın büyüklüğü, incelenen değişkenin çarpıklık derecesine ve gözlem setinde aykırı değerlerin bulunmasına bağlı olarak değişecektir. Sonuçta; deniz suyu girişi sorunu olan alanların belirlenmesi ve proje çalışmalarında EC, TDS ve Cl değerlerinin önemli parametreler olması nedeniyle, %50 olasılıkla beklenen değerlerin proje çalışmalarında kullanılması daha gerçekçi olacaktır. Böylece, risk faktörü de göz önüne alınabilecektir.

Sulama suyu sınıflarının eşik değerlerinin ( $EC>2.0$  dS/m,  $TDS>1400$  mg/l,  $Cl>426$  mg/l, [40]) aşılma olasılıkları Eşitlik 4 ve Şekil 2 yardımı ile hesaplanmıştır. Buna göre; EC, TDS ve Cl parametrelerinin sulama suyu kalitesi açısından riskli bölgede (ihtiyatla kullanılabilir ve zararlı su) olma olasılığı sırasıyla %9, %7 ve %21 bulunmuştur. EC ve TDS arasında sıkı bir ilişki olduğu için bu değişkenlere ait eşik değerlerin olasılıkları da birbirine yakın çıkmıştır. Göksu deltasındaki YAS kuyularının, Cl konsantrasyonları bakımından oldukça yüksek risk taşıdığı açıktır ( $P>%20$ ). Bu sonuç, çalışma alanında popülasyonun %20’sindeki Cl konsantrasyonunun 426 mg/l ya da daha büyük olduğuna işaret etmektedir. Bu nedenle; EC, TDS ve Cl değişkenlerinin hangi bölgelerde riskli olduğunun bilinmesi tarımsal açıdan önem arz etmektedir. Göksu deltasında, özellikle Cl değerlerine ait yersel değişimlerin jeostatistiksel yöntemle değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçların tarımsal açıdan irdelenmesinde yarar görülmektedir.



Çizelge 1. İncelenen Değişkenlerin bazı tanımlayıcı istatistikleri

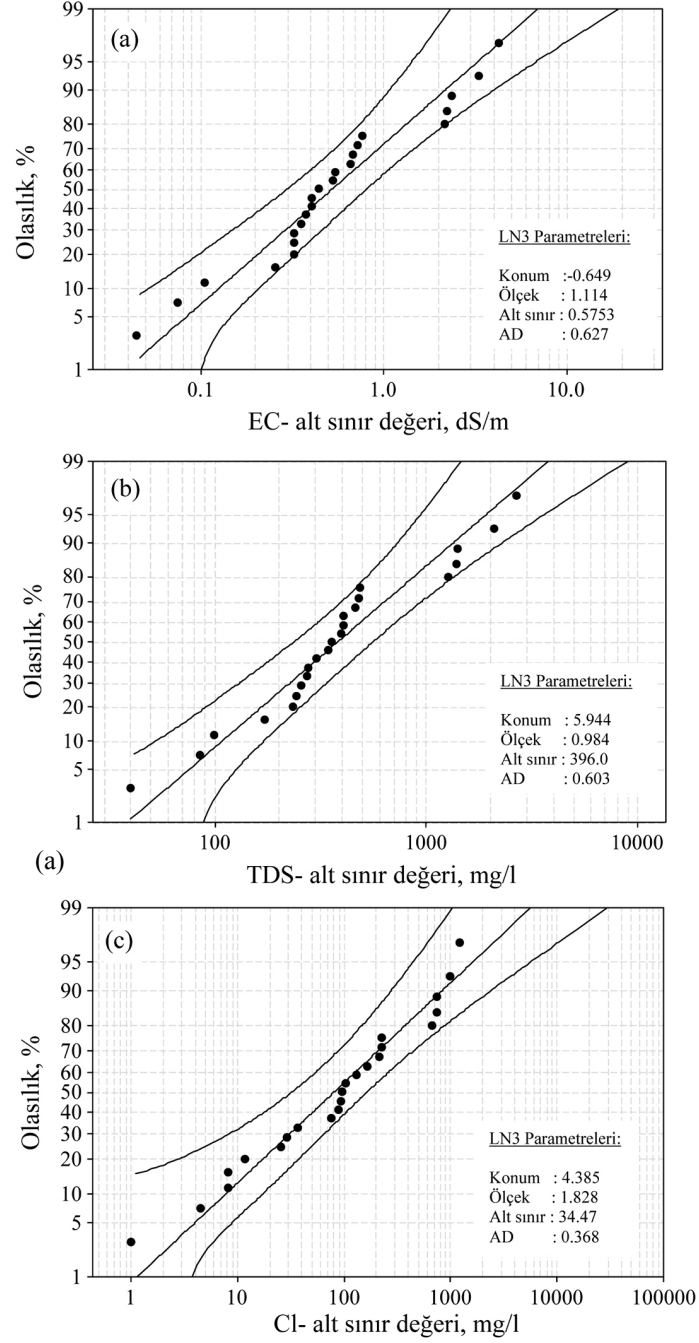
	EC (dS/m)	TDS (mg/l)	Cl (mg/l)
Gözlem Sayısı	23	23	23
En Büyük, Xmax	4.84	3065.0	1241.1
En Küçük, Xmin	0.62	436.0	35.5
Değişim Aralığı	4.22	2629.0	1205.6
Ortalama, $\bar{x}$	1.52	1010.5	291.4
Ortanca, $X_m$	1.02	752.6	131.2
Standart Sapma, S	1.12	679.4	352.2
Varyans, $S^2$	1.26	461635	124059
Değişim Kat Sayısı (%), Cv	74	67	121
Basıklık Kat Sayısı, Ck	2.808	3.199	1.529
Çarpıklık Kat Sayısı, Cs	1.867	1.928	1.623

Çizelge 2. Populasyon ortalamalarının farklı olasılık düzeyleri için güven aralıkları

Olasılıklar	EC (dS/m)		TDS (mg/l)		Cl (mg/l)	
	alt güven sınırı	üst güven sınırı	alt güven sınırı	üst güven sınırı	alt güven sınırı	üst güven sınırı
95%	1.03	2.00	717	1304	139.1	443.7
90%	1.11	1.92	767	1254	165.3	417.5
80%	1.21	1.82	823	1198	194.4	388.4

Çizelge 3. Değişkenlerin gözlenen ortalamaları ve beklenen olasılıklı değerleri

	EC (dS/m)	TDS (mg/l)	Cl (mg/l)
Gözlenen Ortalama	1.52	1011	291.4
P=%50	1.10	777	115.0
P=%80	0.78	559	51.0

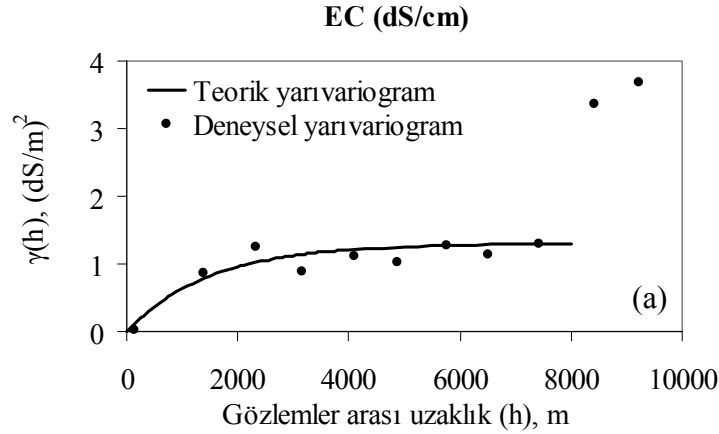


Şekil 2. (a) EC, (b) TDS ve (c) Cl değişkenlerinin gözlenen (•) ve teorik frekans dağılımları (—) ile teorik frekans doğrusunun alt ve üst güven sınırları (↷)

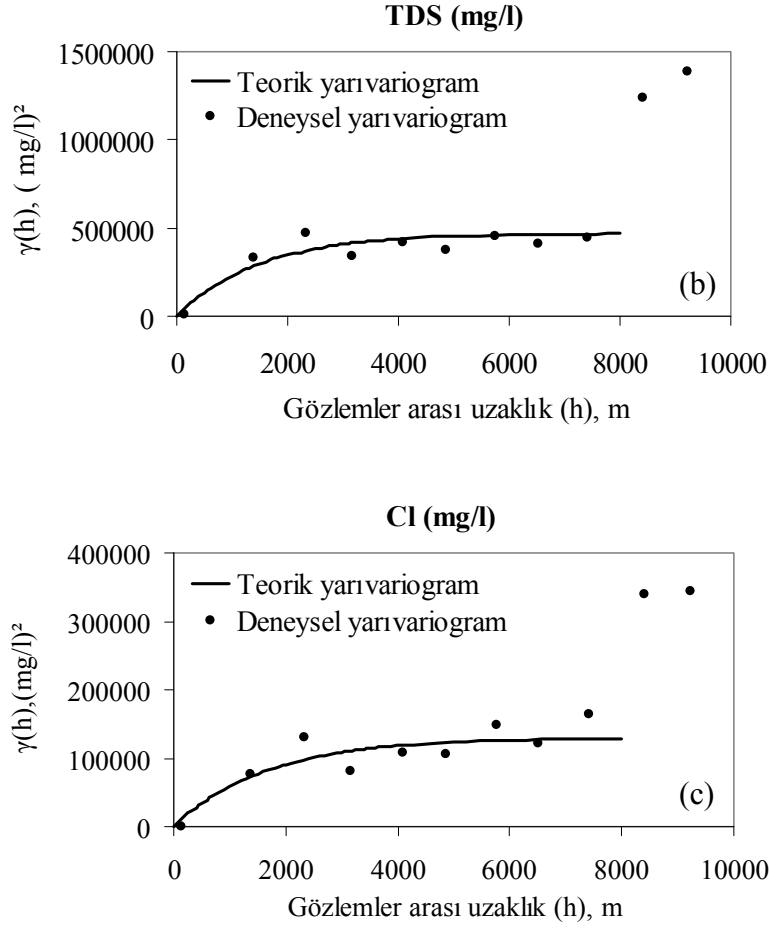
### 3.2. Jeostatistik Analiz Sonuçları

ΔÇalışma alanında rastgele dağılmış 23 gözlem noktasındaki YAS ve taban suyu gözlem kuyularına ilişkin EC, TDS ve Cl değerlerinin ikili kombinasyonları oluşturulmuş, gözlem çiftleri arasındaki Öklid uzaklıkları  $h$  ve bu uzaklıklara ait deneysel yarıvaryans değerleri  $[\gamma(h)]$  her bir varyant için yönlü ve yönsüz olarak hesaplanmıştır. Çiftler arasındaki  $h$  uzaklıkları Çetin [4]' de belirtildiği gibi sınıflandırılarak ortalama uzaklık ( $\bar{h}$ ) ve buna karşılık gelen ortalama deneysel yarıvaryans ( $\overline{\gamma(\bar{h})}$ ) değerleri yeniden oluşturulmuş; ortalama  $\bar{h} - \overline{\gamma(\bar{h})}$  değerleri karşılıklı olarak grafiklenerek varyantların deneysel yarıvariogramları elde edilmiştir (Şekil 3).

En iyi deneysel yarıvariogram yapısı,  $\Delta h = 884$  m ,  $\alpha = 110^\circ$  ,  $\alpha_{tol} = 50^\circ$  seçildiği durumda elde edilmiştir. Saptanan deneysel yarıvariogram şekline uygun olarak üssel tip teorik yarıvariogram modeli seçilmiştir. Teorik yarıvariogram modelinin parametreleri saptanmış, model ve parametrelerinin alanı temsil edebilir nitelikte olup olmadığına karar vermek için GEOEAS [37] paket programı yardımıyla *jack-knifing* testi uygulanmıştır. Jack-knifing testi sonuçları EC, TDS ve Cl değerleri için sırasıyla Çizelge 4-6'da verilmiştir. İndirgenmiş hataların ortalamasının sıfır (0.0), varyansının ise bir (1.0) olup olmadığı %5 önem düzeyine göre sırasıyla  $t$  ve  $\chi^2$  testleriyle [5] kontrol edilmiştir. Sonuçta, modellerin alanı temsil edebilir nitelikte olduğuna karar verilmiştir. Çizelge 4-6'da verilen gözlenen minimum ve maksimum değerler ile aynı değişkenin tahmin edilen minimum ve maksimum değerleri kıyaslandığında, kriging tahmin tekniğinin yumuşatma, bir diğer ifade ile regresyon etkisi açıkça görülmektedir.



Şekil 3. (a)EC, (b)TDS, (c) Cl değerlerinin deneysel ve teorik yarıvariogramı



Şekil 3. (a)EC, (b)TDS, (c) Cl değerlerinin deneysel ve teorik yarıvaryogramı (devam)

Şekil 3'te verilen EC, TDS ve Cl değişkenlerine ilişkin deneysel yarıvaryogram grafiği incelendiğinde, gözlem çiftleri arasındaki uzaklığın  $>8$  km olduğu durumlarda, grafiğin sağ üst kısmında yer alan iki tane ortalama yarıvaryans değerinin diğer noktalardan farklı davranış gösterdiği dikkati çekmektedir. Yarıvaryogramlar, veri setinde yer alan aykırı değer [9] niteliğindeki gözlem değerlerine karşı oldukça hassastır. Bu tür değerler, veride var olan uzaysal bağımlılık yapısını [5] gölgeleyebilirler. Çalışmada kullanılan verilerin alındığı YAS kuyularının alan üzerindeki dağılımları (Şekil 1) ve Şekil 5 birlikte değerlendirildiğinde, üç adet YAS kuyusunun (AR-17, P-8 ve A-17) uzaklık koşulunu ( $h > 8$  km) sağladığı; EC, TDS ve Cl değişkenlerinin bu kuyularda gözlenen değerlerinin diğer YAS kuyusu değerlerine kıyasla yüksek değerler aldığı görülmektedir.  $h > 8$  km koşulunda, bu üç kuyudan birini ya da daha fazlasını içinde bulunduran gözlem çiftleri

Murat ÇOBANER, Alptekin ÇAKAR, Mahmut ÇETİN, Recep YURTAL

grubuna ilişkin ortalama yarıvaryans değerleri, grafiğin bu kesimindeki farklı noktaların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Çetin ve Kırdan [41] tarafından da işaret edildiği gibi, gözlem çiftleri arasındaki maksimum uzaklığın yarısından daha fazla olan uzaklıklar yarıvarioграмların oluşturulmasında kullanılmadığında, bu sorunla karşılaşılmayacaktır.

Çizelge 4. EC değerleri için Jack-knifing test sonuçları

EC (dS/m)	Gözlenen	Tahmin Edilen	Kriging Standart Sapma	Fark	İndirgenmiş Hata
Minimum	0.62	0.81	0.31	-3.64	-3.147
Q1	0.90	0.96	0.92	-0.44	-0.418
Medyan	1.02	1.22	0.99	0.01	0.012
Q3	1.34	1.43	1.07	0.36	0.412
Maksimum	4.84	2.07	1.21	1.03	1.05
Ortalama	1.52	1.28	0.93	-0.24	<b>-0.187</b>
Std. Sapma	1.12	0.35	0.25	1.06	<b>0.961</b>

Çizelge 5. TDS değerleri için Jack-knifing test sonuçları

TDS (mg/l)	Gözlenen	Tahmin Edilen	Kriging Standart Sapma	Fark	İndirgenmiş Hata
Minimum	436	605.6	184.7	-2250	-3.234
Q1	640	671.7	552.6	-250	-0.425
Medyan	753	815.7	596	27	0.048
Q3	883	936.9	642	259	0.448
Maksimum	3065	1344.9	727.4	656	1.112
Ortalama	1011	867.3	560.6	-143	<b>-0.187</b>
Std. Sapma	679	211.9	148.1	643	<b>0.976</b>

Göksu Deltasında gözlenen ve tahmin edilen EC, TDS ve Cl değerleri Şekil 4'te görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere gözlenen ve tahmin edilen EC ve TDS değerlerinin sırasıyla 2.0 dS/m ve 1500 mg/l'dan daha küçük olan değerler kriging tahmin tekniği ile daha doğru tahmin edilebilmiştir. Cl konsantrasyonlarının sulama suyu

*Göksu Deltasında Bazı Yeraltı Suyu Kalite Ögelerinin Probabilistik ...*

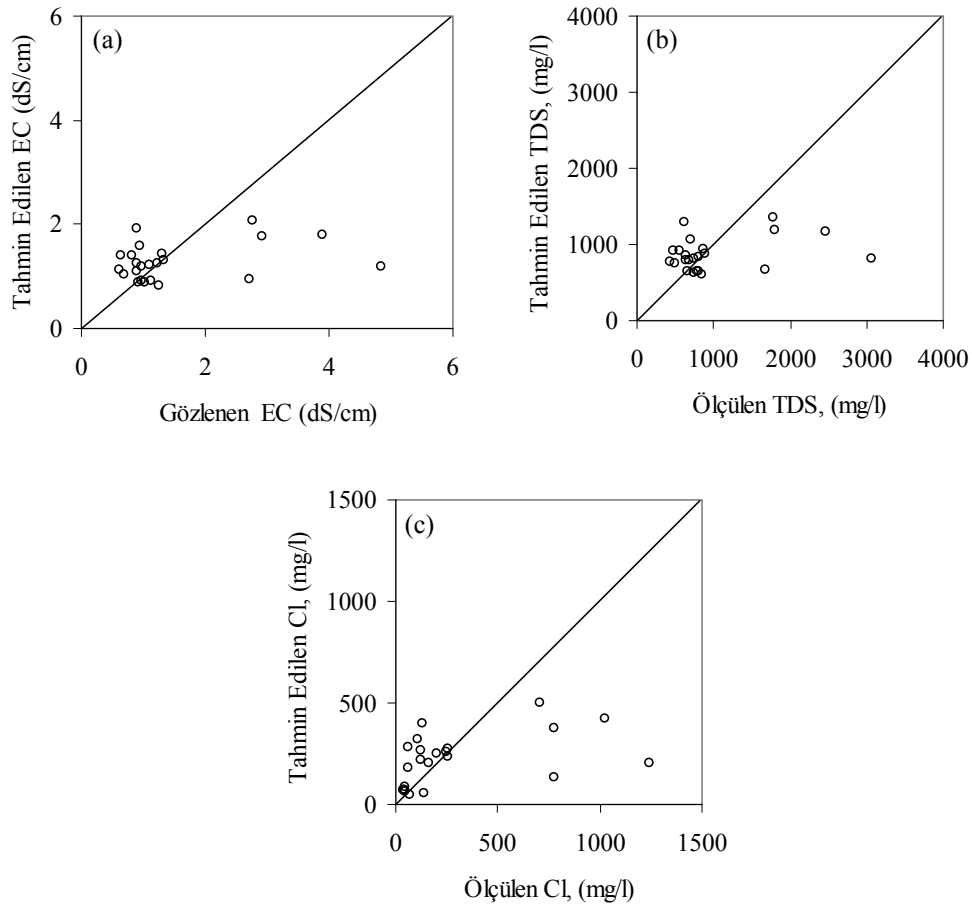
bakımından kritik değer olarak kabul edilen 426 mg/l'den [39] daha büyük olduğu yerlerdeki kriging tahminleri ise, gözlenen değerlere kıyasla oldukça küçük bulunmuştur. Bunun temel nedeninin sınır etkisi olduğu söylenebilir. Çünkü, çalışma alanının doğu ve batı kısımlarında değişkenler en yüksek değerleri almaktadır. Bu nedenle de bu kesimlerde heterojen bir durum söz konusudur. Dolayısıyla, incelenen değişkenlerin yersel değişkenliği oldukça yüksektir. Öte yandan, Şekil 3'den gözlem çiftleri arasındaki uzaklık  $h \geq 8$  km olduğu durumlarda verilerde bir gidiş (drift) eğilimi olduğu söylenebilir. Ancak, veri yetersizliği nedeniyle bu davranış kesin olarak ortaya konulamamıştır. Yarıvariogramların pratik etki uzaklıklarının küçük olması ( $a \leq 4$  km) nedeni ile kriging tahmininde kullanılan veri sayısı da son derece kısıtlı kalmaktadır. Bu durum, eksik tahmin yapmada önemli bir faktör olabilir.

*Çizelge 6. Cl değerleri için Jack-knifing test sonuçları*

Cl (mg/l)	Gözlenen	Tahmin Edilen	Kriging Standart Sapma	Fark	İndirgenmiş Hata
Minimum	35	47.3	92.2	-1040.1	-2.884
Q1	60	71.1	279.8	-82	-0.255
Medyan	131	222.2	303.2	25.1	0.122
Q3	259	281.2	329.1	98.2	0.29
Maksimum	1241	500.7	379.8	266.3	0.888
Ortalama	291.4	217.1	286.2	-74.3	<b>-0.185</b>
Std. Sapma	352.1	130.7	77.5	314	<b>0.912</b>

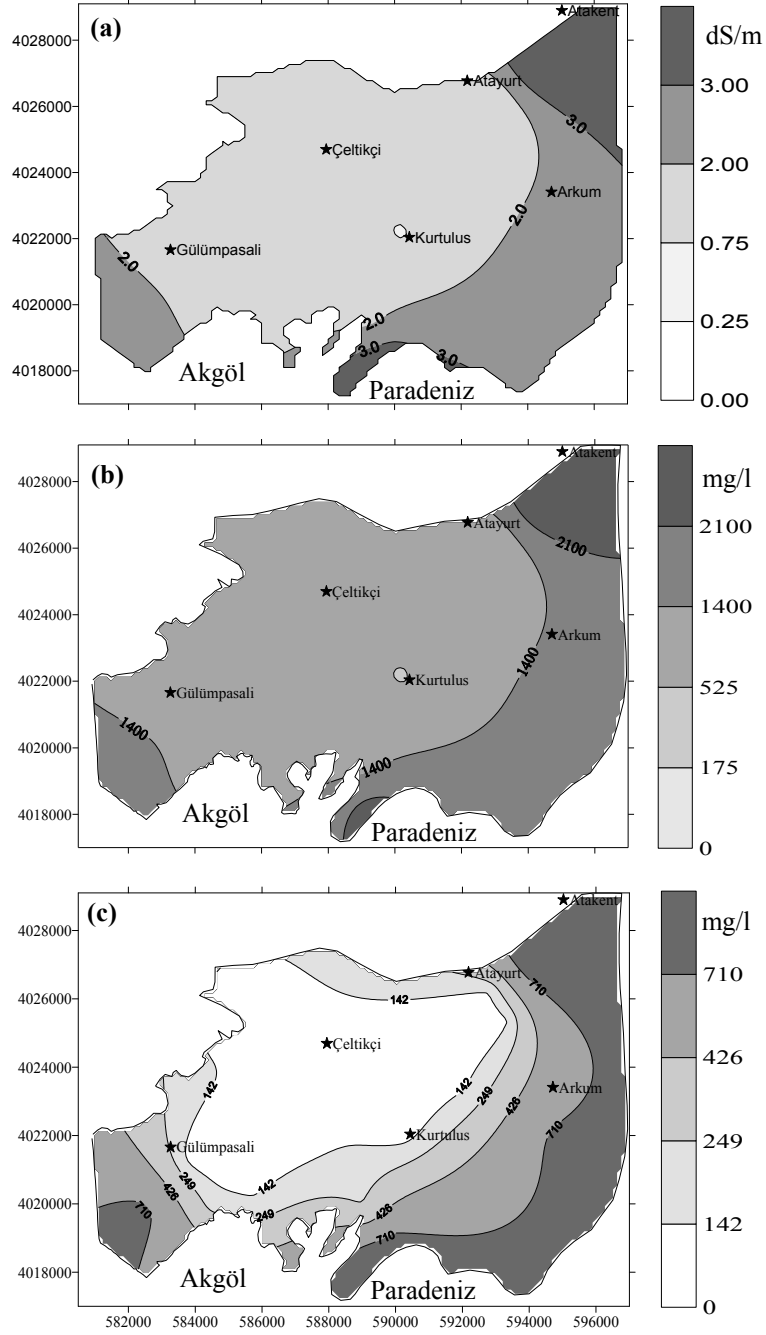
İncelenen değişkenin gözlem yapılmayan noktalardaki alacağı değerlerinin tahmin edilmesinde jeostatistik teknikler kullanılmaktadır. Bu amaçla, kriging tahmin yöntemi ile örneklenmiş yüzeyin istenilen özellikleri tahmin edilmekte ve tahmin sırasında yarıvariogram testi aşamasında belirlenen *kriging tahmin parametrelerinden* faydalanılmaktadır. *Kriging tahmin* ve *kriging hata* haritaları GEOEAS [37] ve SURFER [42] paket programları yardımıyla, Göksu deltasında yer alan 23 adet YAS ve taban suyu gözlem kuyularına ilişkin EC, TDS ve Cl değerleri kullanılarak, *üssel tip yarıvariogram modeli* yardımı ile *kriging tahmin haritaları* hazırlanmıştır (Şekil 5). Haritalardan da görüleceği üzere EC ve TDS değerleri benzer dağılım göstermektedir. Şekil 5'e göre, Atakent beldesi civarındaki YAS kuyularının sulamada kullanılmaya elverişli olmadığı görülmektedir. Atakent, Arkum beldeleri ile Paradeniz gölü hattının doğusundaki YAS, EC ve Cl Kriging tahmin haritalarına göre (Şekil 5) ihtiyatla kullanılabilir suya sahiptir. Bu sonuç tuzlu su girişiminin etkisini göstermektedir. Bu bölgeden sağlanan YAS'nın kontrol altına alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlara göre; Paradeniz lagünüdeki

tuz konsantrasyonunun Akgöl lagününe göre daha yüksek olduğu; dolayısıyla Akgöl lagününün sulamadan dönen sularla daha fazla beslendiği ve seyreltildiği söylenebilir. Şekil 5c’de verilen Cl haritasına bakıldığında ise deltanın doğu-güney doğu ve güney batı sahillerindeki yer altı sularının tarımsal amaçla kullanılmasının uygun olmadığı görülmektedir. Tuzlanmanın Gülümüşpaşalı, Kurtuluş ve Atayurt beldelerinin çevrelediği alanın kuzey kesimlerinde henüz eşik değerlerin altında olduğu anlaşılmıştır. Tuzlanma sınırının, Akgöl ve Paradeniz lagünleri ile Akdeniz civarından başlayarak Kurtuluş-Gülümüşpaşalı beldelerine yaklaştığı görülmektedir.



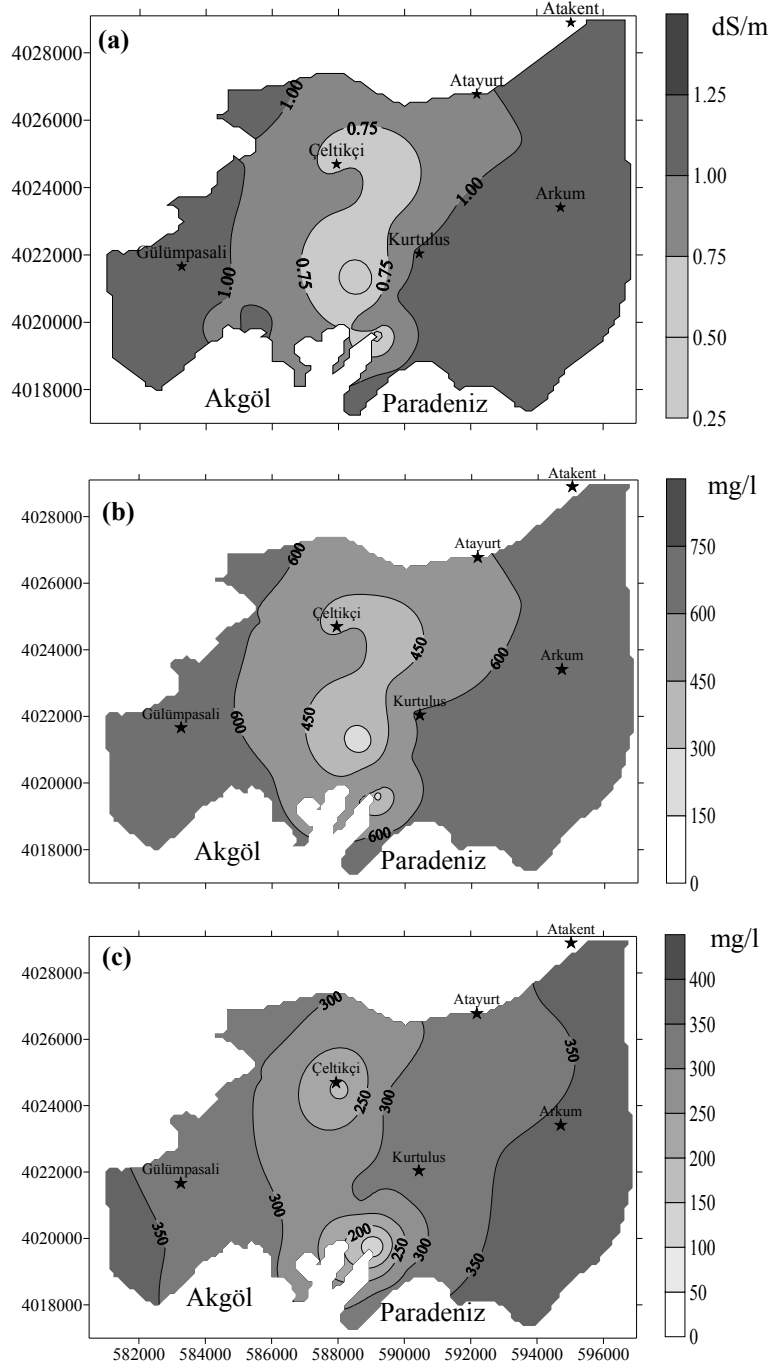
Şekil 4. (a) EC, (b) TDS, (c) Cl değerlerinin karşılıklı etkileşim diyagramı

Göksu Deltasında Bazı Yeraltı Suyu Kalite Ögelerinin Probabilistik ...



Şekil 5. Kriging tahmin haritaları; (a) EC; (b) TDS ve (c) Cl





Şekil 6. Kriging hata haritası; (a) EC; (b) TDS ve (c) Cl

Çizelge 7. SKKY [40]'a Göre Göksu Deltası Yer Altı Sularının Sulamaya Uygunluk Sınıfları ve Kapladığı Alanlar

	Sulama Suyu sınıfı	Limitler	Kapladığı Alan (ha)	Alana %'si
EC (dS/m)	1	0-0.25	0.0	0.0
	2	0.25-0.75	11.3	0.1
	3*	0.75-2.00	7148.7	60.5
	4**	2.00-3.00	3670.7	31.0
	5***	>3.00	992.9	8.4
TDS (mg/l)	1	0-175	0.0	0.0
	2	175-525	13.4	0.1
	3*	525-1400	7596.7	64.2
	4**	1400-2100	3480.8	29.4
	5***	>2100	732.8	6.2
Cl (mg/l)	1	0-142	0.0	0.0
	2	142-249	5636.1	47.7
	3*	249-426	1174.7	9.9
	4**	426-710	2236.6	18.9
	5***	>710	2776.3	23.5

\* : Kullanılabilir, \*\* : İhtiyatla kullanılmalı, \*\*\* : Uygun değil (Zararlı)

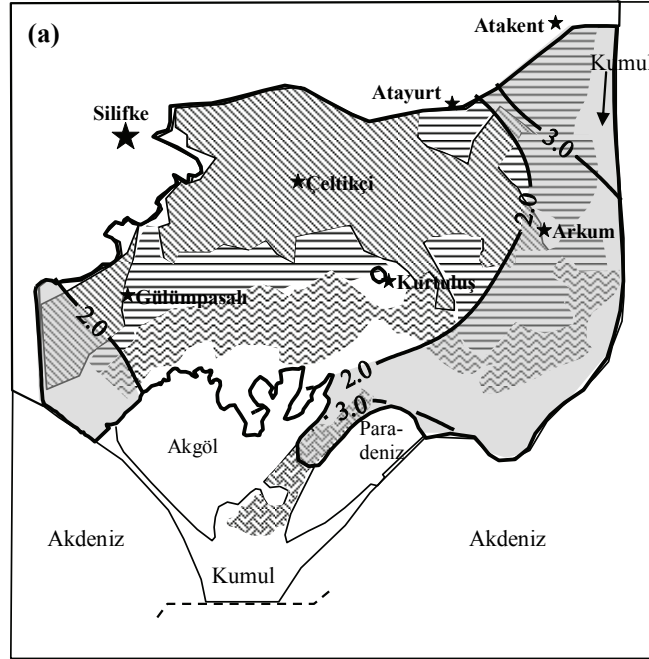
Çalışmada, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) Teknik Usuller Tebliği [40], Tablo 4 de verilen “Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri” ne göre Çizelge 7 oluşturulmuş; elde edilen sonuçlar ve çizilen haritalar Çizelge 7 ile ilişkilendirilerek tarımsal yönden yorumlanmaya çalışılmıştır.

EC ve TDS parametrelerine göre sulanmakta olan tarım arazilerinin %60'ında kullanılabilir YAS varken, yaklaşık %30'unun bazı önlemler almak kaydıyla kullanılabilir (4. sınıf) suya sahip olduğu belirlenmiştir. Klorür konsantrasyonu dikkate alındığında ise, tarım arazilerinin %23'ünde 5. sınıf yer altı suyu (zararlı-uygun değil) bulunduğu anlaşılmıştır. Bu suların tarımsal amaçlı olarak kullanılması, tarımın sürdürülebilirliğini tehlikeye sokacağı için sakıncalıdır. Aynı zamanda tarım arazilerinin %18.9'unda YAS, Cl bakımından riskli kategoride yer almaktadır.

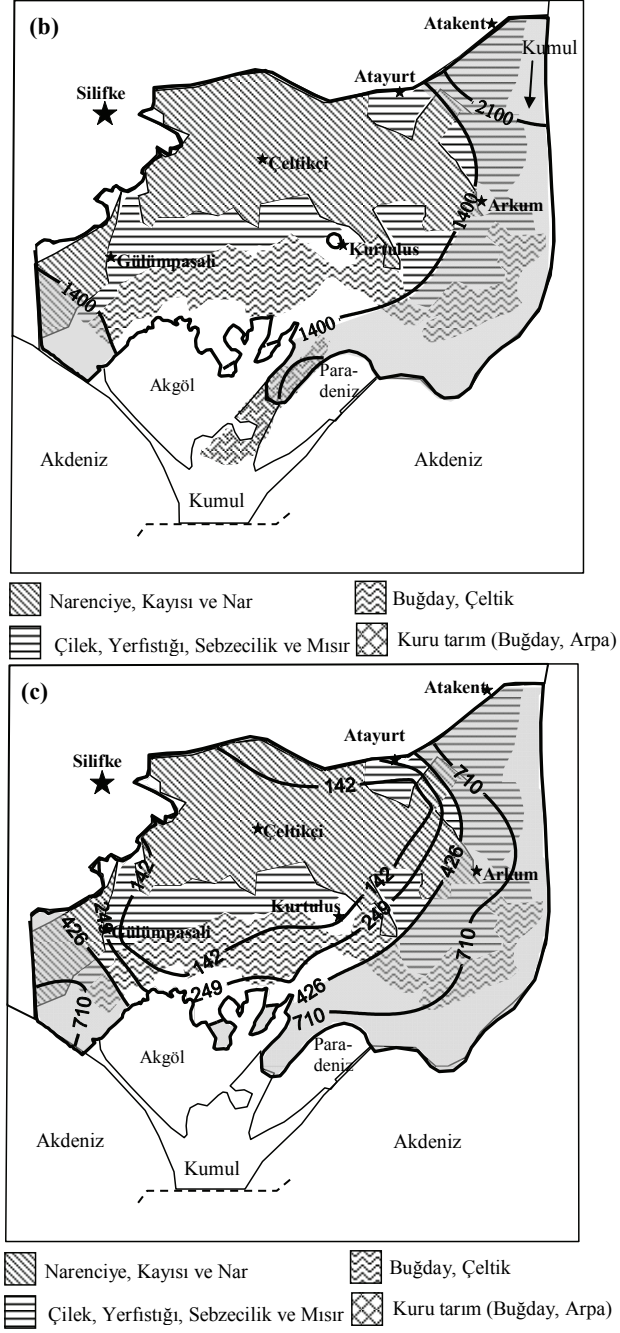
Şekil 6'da *kriging standart hata haritası* görülmektedir. Şekil 4'teki karşılıklı etkileşim diyagramları ve Şekil 6'daki *kriging hata haritalarından* da görüleceği üzere deltanın doğu ve batı kesimlerinde incelenen parametreler eksik tahmin edilmektedir. Bunun temel nedeni olarak sınır etkisi gösterilebileceği gibi o bölgelerdeki gözlem noktaları sayısının yetersizliği de etkilidir. Yarıvariogram modeli oluşturulurken dikkate alınan örnek çiftleri sayısı azalmakta ve bu ise *kriging tahminlerinin* gerçek değerlerde daha küçük olmasına

sebeptir. Bu harita incelenerek hangi bölgelerde gözlemlerin yetersiz olduğu ve açılacak yeni gözlem kuyularının nerelere yerleştirileceği tespit edilebilir. Atakent, Arkum, Paradeniz hattının doğusu ile Güllüpaşalı ilçesinin batısındaki bölgelerde yapılacak ilave gözlemler ve/veya açılacak gözlem kuyuları ile Şekil 4'te görülen eksik tahminler iyileştirilebilir.

Şekil 7'de Göksu deltasında yetişen ürün desen haritası ve EC, TDS ve Cl değişkenlerinin kriging tahmin haritaları görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere tuzlu su girişiminin olduğu bölgelerde genel olarak tuzluluğa dayanıklı tarla bitkileri yetiştiriciliği yapılmaktadır. Arkum yerleşimi civarında, Akdeniz'den itibaren iç kesimlere doğru deniz suyu girişi etkisi ile YAS kalitesi düşmektedir. Bu durum ise, Güllüpaşalı-Kurtuluş hattı ve kuzeyinde alan ekonomik değeri yüksek olan bahçe ve tarla bitkileri (narenciye, kayısı, nar ve çilek) yetiştiriciliği yapılan tarımsal üretim değeri yüksek olan alanları olumsuz yönde etkilemektedir. Deniz suyu girişiminin devam etmesi halinde, pazar değeri yüksek olan bahçe ve tarla bitkileri yetiştiriciliği yapılan alanların, güneyden kuzeye doğru yerini tuzluluğa mukavemeti yüksek olan ancak pazar değeri düşük olan tarla bitkileri (arpa, buğday ve çeltik) yetiştiriciliğine ikamesi kaçınılmaz olacaktır.



Şekil 7. Silifke ovası ürün desen haritası [43] ve kriging tahmin haritaları; (a) EC; (b) TDS ve (c) Cl.



Şekil 7. Silifke ovası ürün desen haritası [43] ve kriging tahmin haritaları; (a) EC; (b) TDS ve (c) Cl. (devam)

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, Göksu Deltasındaki EC, TDS ve Cl ölçümlerinin değerlendirilmesinde istatistik ve jeostatistik yöntemlerinin kullanılması ile verilerin eğiliminin belirlenmesi, verilerin birbirine göre değişiminin analizi kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.

Uygunluk test sonuçlarına göre çarpık dağılım gösteren EC, TDS ve Cl değerlerinin 3 parametrelili *lognormal* (LN3) dağılımına uyduğu belirlenmiştir. Örneklerin ortalamalarının güven sınırları içinde kaldığı görülmüştür. Değişkenlerin gözlenen ortalamaları, %50 olasılıkla beklenen değerlerden daha büyük bulunmuştur. %50 olasılıkla beklenen değerlerin (EC=1.10 dS/m; TDS=777 mg/l ve Cl=115 mg/l) proje çalışmalarında kullanılmasıyla risk faktörü de göz önüne alınacaktır. Jeostatistik yöntemlerinin kullanılması ile elde edilen sonuçlar, Göksu deltasının özellikle doğu ve güney doğu sahil şeridi boyunca düzensiz yer altı suyu kullanımından dolayı tuzlu su girişiminin meydana geldiğini ortaya koymuştur. Şekil 4'deki etkileşim diyagramından ve *kriging tahmin haritası*ndan (Şekil 5) görüleceği üzere tahmin edilen EC, TDS ve Cl değerlerinin tuzlu su girişiminin meydana geldiği bölgelerde iyi sonuç vermemiştir. *Kriging hata haritası*nda (Şekil 6), bu bölgelerde yüksek değerler gözlenmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda, bu bölgelerde ek gözlem kuyularını açılması veya var olan kuyularda ilave gözlemler yapılarak çalışmaya dahil edilmesi gerekmektedir. Unutulmamalıdır ki bu araştırmada elde edilen sonuçlar, tek bir dönemde gözlenen veri seti için elde edilmiştir. Yer altı suyu kalitesinin önemli göstergelerinden olan bu değişkenlerin, yılın diğer aylarında daha büyük ya da daha küçük değerler alması kaçınılmazdır. Bu yüzden, bundan sonraki araştırmalarda olayın zaman boyutu da göz önüne alınmalıdır. Elde edilen bulgulardan, değişkenlerin diğer dönemlerde alacağı değerler hakkında bir yargıya varma olanağı da bulunmamaktadır. Bununla birlikte, yer altı suyu dinamikleri üzerine etki eden faktörler değişmediği sürece EC, TDS ve Cl değerlerinin alan üzerindeki dağılımı aynı olacaktır. Dolayısıyla; değişkenlerin uzaklık boyutundaki değişkenlik tavrının aynı olacağı, bu nedenle de uzaklığa bağlı bir fonksiyon kullanılarak haritalanabilecekleri bu araştırma ile ortaya konmuştur.

YAS'ının kontrolsüz kullanılması tuzlu su girişiminin iç kısımlara doğru ilerlemesine ve Çeltikçi-Atayurt-Gülümpaşalı-Silifke yerleşimleri arasındaki iyi kalitedeki suların marjinal sular sınıfına girmesine sebep olabilecektir. Bu da ekonomik değeri yüksek olan bahçe bitkileri yetiştirilen alanların daralmasına ve tuzlu su girişiminin olduğu bölgelerde verimin düşmesine sebep olacaktır. Deltadaki tuzlu su girişiminin olduğu bölgelerde YAS'dan sağlanan sulama suları hem bitkilere hem de toprağa zarar vererek tarımın sürdürülebilirliğini riske atacağı aşıkardır. Bu yüzden, çalışmanın kapsamı genişleştirilerek sulama sezonundaki tüm aylarda daha çok noktada ölçülen değerlerin jeostatistiksel analizi sonucu EC, TDS ve Cl değerlerinin değişimlerinin etki alanları ile oluşabilecek sorunlu alanlar daha hassas tespit edilebilir. Böylece çalışmaya zamansal değişim boyutu da eklenebilir. Arazide ölçülmüş EC, TDS ve Cl değerlerinin gözlem ağının yeterlilik düzeyi belirlenebilir. Gözlem ağındaki olası eksiklikler belirlenip, yeni gözlem kuyularının konumları Şekil 6'daki *kriging hata haritası* dikkate alınarak tespit edilmelidir. Tuzlu girişi riski olan akiferler, izleme ve değerlendirme programına alınmalıdır.

**Semboller**

EC	: Elektriksel iletkenlik (dS/m)
TDS	: Toplam çözülmüş madde (mg/l)
Cl	: Klorür (mg/l),
$x$	: Rasgele değişken
$y$	: Rasgele değişkenin logaritmik dönüşüm yapılmış hali
$z$	: Normalize seri
$f(x)$	: Olasılık yoğunluk fonksiyonu
$\theta$	: Alt sınır parametresi
$\mu_y$	: Konum parametresi
$\sigma_y$	: Ölçek parametresi
$\bar{X}$	: Örnek ortalaması
$S_x$	: Örneğin standart sapması
$K_T$	: Belirlenen olasılık düzeyine göre değişen frekans faktörü
$X_T$	: Belirlenen olasılık düzeyine göre değişkenin beklenen değeri
$x_i, x_j$	: Sırasıyla $i$ ve $j$ gözlem noktalarındaki koordinatları
$z(x_i), z(x_j)$	: Sırasıyla $i$ ve $j$ gözlem noktalarında gözlenen değerleri
$N$	: Gözlem sayısı
$\gamma(h)$	: Deneysel yarı variogram
$h$	: Gözlem çiftleri arasındaki vektörel uzaklık,
$a$	: Gözlemlerin birbirinden bağımsız kabul edildiği etki uzaklığı,
$C_o$	: Kontrolsüz etki varyansı,
$C_l$	: Yapısal ya da stokastik varyans,
$C$	: $C_o + C_l$ (Eşik değer veya tepe varyans)
$Q1$	: Birinci kartil (çeyrek)
$Q3$	: Üçüncü kartil (çeyrek)

**Teşekkür**

Bu araştırma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: MMF2007BAP16).

**Kaynaklar**

- [1] Virdee, T. S., and Kottegoda, N. T., A Brief Review of Kriging and Its Application to Optimal Interpolation and Observation Well Selection. *Hydrological Sciences*, 29, 4–12, 1984.
- [2] Kutilek, M., and Nielsen, D. R., *Soil Hydrology. GeoEcology Textbook*, Catena Verlag, Germany, 1994.
- [3] Matheron, G., The theory of regionalized variables and its applications. *Les cahiers du CMM de Fontainebleau, Fasc. 5, Ecole des Mines de Paris*, 1971.
- [4] Köksal, H., Çukurova Yöresindeki Yaygın Toprak Serilerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Değişim Tavrılarının İrdelenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Kültür-Teknik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 1988..
- [5] Çetin, M., Jeostatistiksel Yöntem İle Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik olarak Modellenmesi Örnek Havza Uygulamaları. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 1996.
- [6] Vieira, S.R., Hatfield, J.L., Nielsen, D.R., and Biggar, J.W., *Geostatistical Theory and Application to Variability of Some Agronomical Properties*, Hilgardia, 51, 3, 1–75, Davis California, 1983.
- [7] Gündoğdu, K.S., Sulama Proje Alanlarındaki Taban Suyu Derinliğinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Zir. Fak. Derg.*, 18(2), 85–95, 2004.
- [8] Carlson, R.A., J.L., Osiensky, *Geostatistical Analysis and Simulation of Nonpoint Source Nitrate Contamination: A Case Study*, *Environmental Geosciences*, Volume 5, Number 4, 177–186, 1998.
- [9] Çetin, M., Özcan, H., Tülücü, K., Aşağı Seyhan ovası (ASO) IV. Merhale proje alanında toprak ve taban suyuna ilişkin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerin yersel değişimlerinin jeostatistik yöntemle araştırılması, Ç.Ü. Rektörlüğü Münferit Proje Araştırma Projesi Sonuç Raporu (Proje no:ZF/99/14), Adana, 18, 2001.
- [10] Çetin, M., Diker, K., *Assessing Drainage Problem Area by GIS: A Case Study in the Eastern Mediterranean Region of Turkey*, *Irrigation and Drainage* 52, 343–353, 2003.
- [11] T.C. Çevre Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, <http://www.cevreorman.gov.tr/sulak/sulakalan/goksu.htm>, 1998.
- [12] Motz, L Yurtal, R., H., Gördü, F., ve Dogan, A. Optimization of Groundwater Use Subject to Saltwater Intrusion Along the Mediterranean Coast of Turkey. TÜBİTAK - NSF Joint Research and Development Project. Project Number: 9819824. Türkiye, 2004.
- [13] Chow, V. T., Maidment, D. R., and Ways, L., W., *Applied Hydrology*. McGraw- Hill, Inc., Civil Engineering Series, New York, 1988.
- [14] Şen, Z., *İstatistik Veri İşleme Yöntemleri*. Su Vakfı Yayınları. İstanbul, 2002.

- [15] Haktanır, T., Statistical Modelling of Annual Maximum Flows in Turkish Rivers. *Hydrological Sciences*, 36(4), 367–389, 1991.
- [16] M. Bayazıt, B. Oğuz, İstatistik, Birsen Yayınevi, İstanbul, 211, 1994.
- [17] M. Bayazıt,, Hidrolojide İstatistik Yöntemler, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1981.
- [18] Hinks, R. W., and Mays, L. W., Hydrology for Water-Excess Management. In *Water Resources Handbook* by L. W. Mays (Editor-in-Chief), McGraw-Hill Companies, Inc., USA, 1996.
- [19] Tülücü, K., KT-310 Uygulamalı Hidroloji. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitapları, No: 76, Adana, 1988.
- [20] Ott, W. R., *Environmental Statistics and Data Analysis*. Lewish Publishers, New York, 313, 1995.
- [21] Davis, J. C., *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1986.
- [22] Minitab 15, Minitab istatistik paket programı, Minitab, Inc, <http://www.minitab.com>, 2006.
- [23] Burgess, T. M., and Webster, R., Optimal Interpolation and Isarithmic Mapping of Soil Properties I, The Semivariogram and Punctual Kriging. *Journal of Soil Science*, 31(3), 315–331, 1980.
- [24] Burgess, T. M., and Webster, R., Optimal Interpolation and Isarithmic Mapping of Soil Properties II Block Kriging. *Journal of Soil Science*, 31(3), 333–341, 1980.
- [25] ASCE, Review of Geostatistics in Geohydrology. I: Basic Concepts. *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(5), 613–632, 1990.
- [26] ASCE, Review of Geostatistics in Geohydrology. II: Applications. *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(5), 632–658, 1990.
- [27] Olea, R. A., *Measuring Spatial Dependence With Semivariograms*. Kansas Geological Survey, Series on Spatial Analysis, No. 3, Lawrence, Kansas, 1977.
- [28] Kırda, C.; Kanber, R., *Toprakların Kimi Fiziksel Özelliklerinde Gözlenen Uzaklık Boyutuna Bağlı Değişkenlik Tavırları*. Yayınlanmamış, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Kültürteknik Bölümü, Adana, 1983.
- [29] Olea, R. A., *Optimum Mapping Techniques Using Regionalized Variable Theory*. Kansas Geological Survey, Series on Spatial Analysis, No. 2, Lawrence, Kansas, 1975.
- [30] Vauclin, M., Vieira, S. R., Vachaud, G., and Nielsen, D. R., The Use of Cokriging with Limited Field Soil Observations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47, 175–184, 1983.
- [31] Kitanidis, P.K., Geostatistics. In the *Handbook of Hydrology* by Maidment, D.R., (Editor in Chief), McGraw-Hill, Inc., New York, Chapter 20, 1993.
- [32] Isaaks, E. H., and Srivastava, R. M., *Applied Geostatistics*. Oxford University Press, Inc., USA, 1989.



*Murat ÇOBANER, Alptekin ÇAKAR, Mahmut ÇETİN, Recep YURTAL*

- [33] Journel, A. G. and Huijbregts, C. H. J., Mining Geostatistics. Academic Press, London, 1991.
- [34] Willerding, M. F., and Engelsohn, H. S., Mathematics : The Alphabet of Science. John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1977.
- [35] Clark, I., Practical Geostatistics. Department of Mineral Resources Engineering, Royal School of Mines, Imperial College of Science and Technology, London, U.K., 1979.
- [36] Deutsch, C.V. and Journel, A.G., Geostatistical Software Library and User's Guide, Oxford University Press, Inc., New York, 1992.
- [37] GEOEAS, Geostatistical Environmental Assessment Software: Kriging Software. E. Englund (U.S. EPA) and Allen Sparks (Computer Sciences Corp.), 1989.
- [38] Stephens, M. A., EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons. Journal of the American Statistical Association, 69, 730–737, 1974.
- [39] Tülücü, K., Olasılık ve Tekerrür Yöntemleri ve İklim Verilerine Uygulanması. TÜBİTAK VII. Bilim Kongresi, TOAG, (Toprak Bitki Besleme Seksiyonu), 6–10 Ekim, Adana, 1980.
- [40] Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) Teknik Usuller Tebliği, 07.01.1991 tarih ve 20748 sayılı Resmi Gazete, 1991.
- [41] Cetin, M., Kirda, C., Spatial and Temporal Changes of Soil Salinity in a Cotton Field Irrigated with Low-quality Water. Journal of Hydrology, 272, 238–249, 2003.
- [42] SURFER, Surfer for Windows Version 8.02. Golden Software, Inc., <http://www.goldensoftware.com>, 2002.
- [43] Silifke Özel Çevre Koruma Arşivi. Silifke Ovası Ürün Desen Haritası, 2008.