

# İndikatör temel bileşenler kriging yöntemi ile yeraltısuyu kirliliğinin saptanması ve yöntemin Eskişehir Ovası'na uygulanması

*Cem Saraç*

*A. Erhan Tercan*

*Deniz Mamurekli*

*Fikret Kaçaroğlu*

H.Ü. Jeoloji Müh. Böl. Beytepe, Ankara

H.Ü. Maden Müh. Böl. Beytepe, Ankara

H.Ü. Maden Müh. Böl. Beytepe, Ankara

C.Ü. Jeoloji Müh. Böl. Kampüs, Sivas

*Kirlenmiş bir yeraltısuyu ortamında, kuyu yeri seçimi oldukça önemlidir. Gözönüne alınan kirleticinin kritik bir değeri aşma olasılığı bilinirse, karar verme aşamasında çeşitli risklerden kaçınılabılır. İndikatör temel bileşenler kriging yöntemi, bu gibi durumlarda uygulanabilecek ideal bir yöntemdir. Araştırmada yöntem tanıtıldıktan sonra, Eskişehir Ovası'nda bir uygulaması verilmektedir. Eskişehir Ovası'ndan alınan yeraltısuyu örneklerindeki nitrat derişimlerine ilişkin indikatör temel bileşenler variogramları hesaplanmakta ve ayrıca gerçek değerlerin, önerilen en yüksek nitrat değerlerinden daha büyük olma olasılıkları gösterilmektedir.*

## Giriş

Bağlı olarak dar bir sıcaklık ve kimyasal değişim aralığına sahip olan yeraltısuyu; içme, sulama ve endüstriyel amaçlar için kullanılan suların önemli bir bölümünü oluşturur. Ancak, yeraltısuları tarım, sanayi ve evsel kökenli atık suların nehirlere, sulama kanallarına boşaltılması ve doğrudan yeraltına sızma gibi faaliyetler sonucu kirlenirler. Kirlenmiş bir akiferde kuyu yeri seçimi ise oldukça önemli bir konudur.

Burada problem, gözönüne alınan kirleticiler maddeler tarafından kirlenmemiş ilgili temiz bölgeleri tanımla-

mak ve kuyu yerlerini bu alanlarda belirlemektir. Bu, örneklenmemiş lokasyonlarda kirleticiler maddenin değerleri hakkında belirsizliğin değerlendirilmesini gerektirecektir.

İncelenen kirleticiler madde  $z(x)$ 'in krig edilmiş bir değerini üretmek ve bilinmeyen değer hakkındaki belirsizliği, her bir kestirim değeri  $z^*(x)$  üzerinde

$$\Pr[z^*(x) - z_{\alpha/2} \cdot \sigma_k(x) < z(x) < z^*(x) + z_{\alpha/2} \cdot \sigma_k(x)] = 1 - \alpha$$

ile verilen  $\%(1 - \alpha)$ . 100 lük bir güven aralığı oluşturarak değerlendirmek bu probleme bir çözüm oluşturacaktır. Yukarıdaki eşitlikte,  $z_{\alpha/2}$ ; normal dağılım yoğunluk eğrisi altında  $\alpha/2$  lik alanı sağa bırakan  $z$  değeri ve  $\sigma_k^2$ ; kriging varyansını göstermektedir. Bu yaklaşım, kestirim hatalarının ortalaması sıfır ve varyansı, kestirim (kriging) varyansına eşit olan normal bir dağılıma sahip olduğunu varsaymaktadır. Ancak düzensiz veri dağılımlarının varlığında, kestirim hatalarının dağılımı da düzensiz olacaktır ve kriging varyansı gerçekçi güven aralıklarını sağlayacaktır (Tercan and Dowd, 1993).

$x$  lokasyonundaki bilinmeyen  $z(x)$  değeri hakkındaki belirsizliği daha iyi karakterize etmek için aşağıda verilen koşullu kümülatif dağılım fonksiyonu (kkdf) gözönüne alınabilir:

$$F(x; z_c | Z_n) = F[x; z_c | Z(x_1) = z(x_1), \dots, Z(x_n) = z(x_n)] \\ = \Pr[Z(x) \leq z_c | Z(x_1) = z(x_1), \dots, Z(x_n) = z(x_n)]$$

Burada:

$Z$ : rastlantı fonksiyonunu,

$z$ : bölgesel deęişkeni ve

$z_c$ : sınır değeri göstermektedir.

Buradaki koşullu kümülatif dağılım fonksiyonu kullanılarak, çeşitli optimal kestirim değerleri ve herhangi bir sınır değer  $z$ 'yi aşma olasılıkları türetilir.

Koşullu kümülatif dağılım fonksiyonlarının kestirime ilişkin, parametrik ve parametrik olmayan şekilde iki farklı yaklaşım bulunmaktadır (Marcotte and David, 1985; Matheron, 1976; Journel, 1983). Matematiksel olarak basit olmalarından dolayı, parametrik olmayan yöntemler daha çok kabul görmektedirler. Literatürde koşullu kümülatif dağılım fonksiyonunun kestirimine ilişkin çok sayıda parametrik olmayan jeostatistiksel tekniğin geliştirildiği görülmektedir. İndikatör kriging yöntemi, indikatörler arasındaki çapraz kovaryansları dikkate alan bir yöntem olmasına karşılık, uygulamalarında çok sayıda çapraz kovaryansın modellenmesindeki güçlükler nedeni ile kullanılmamaktadır. İndikatör kriging ve olasılık kriging bu güçlükler karşısında geliştirilmiş alternatif yöntemlerdir, ancak bu yöntemlerde de çapraz kovaryansların hepsi kullanılmamaktadır. İndikatör temel bileşenler kriging yöntemi, bu iki uç / zıt yöntemi; indikatör kriging ve indikatör kokriging arasında olan ve bunların iyi yönlerini kullanan bir yöntemdir. bu teknik, indikatörler arasındaki çapraz bilgiyi kullanmakta ve daha az sayıda kestirim ve modelleme gerektirmektedir.

Bu çalışmanın amacı, indikatör temel bileşenler kriging yöntemini yeraltısuyu kirliliğinin değerlendirilmesine, özellikle kuyu yeri seçimine uygulanmaktır. Bu konuda ilk defa gerçekleştirilen bu çalışmada, ilk olarak, koşullu dağılımın türetiminde kullanılan indikatör temel bileşenler yöntemine kısaca değinilecek ve yöntem Eskişehir Ovası'ndaki yeraltısuyu verilerine uygulanacaktır.

## Koşullu dağılımların türetimi ve E - tipi kestirimler

Belirli bir  $z_c$  sınır değerine ilişkin indikatör değişken aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$i(x; z_c) = \begin{cases} z(x) \leq z_c \text{ ise, } 1 \\ \text{değilse, } 0 \end{cases}$$

Journel (1983), indikatör değişken  $i(x; z_c)$ 'nin kriging ile kestirimi ve bu kestirilen değer koşullu kümülatif dağılım fonksiyonuna bir yaklaşımı olarak kullanılmasını önermektedir:

$$F(x; z_c | Z_n) = [i(x; z_c)]^*$$

$x$  noktasında türetilen koşullu dağılımın beklenen değeri, bu noktadaki bilinmeyen bir kestiricisini sağlayacaktır. Bu kestirici E - tipi kestirim olarak adlandırılabilir (Suro - Perez and Journel, 1991).

$$Z_E^*(x) = \int_0^1 z dF(x; z | Z_n)$$

Bu integral altta verildiği gibi nümerik olarak değerlendirilir:

$$z_E^* = \sum_{k=1}^K z_k [F(x; z_{k-1} | Z_n)] - [F(x; z_k | Z_n)]$$

burada  $z_k$ ,  $[z_{k-1}, z_k]$  sınıfı içindeki koşullu sınıf ortalamasıdır.

## İndikatör temel bileşenlerin kestirimi ile koşullu dağılımların türetimi

Eğer farklı sınır değerlerindeki indikatörler ilişkisiz ise, indikatör değerlerin bağımsız bir şekilde yapılan krigingi tam bir kokriging gibi aynı sonucu verecektir. İndikatör değişkenleri ortogonal rastlantı değişkenlerine (örneğin temel bileşenlere) dönüştürerek bu gerçekleştirilebilir. İndikatörlerin, temel bileşenlerinin kovaryans matrisi bütün uzaklıklar için köşegen bir matris oluşturuyorsa, her bir temel bileşenin kestirimi diğerlerinden bağımsız bir şekilde yapılabilir ve ters dönüşüm ile gerekli indikatör değerlerin bir kestiricisi sağlanabilir (Dowd, 1991).

İndikatör temel bileşenlerin krigingi ve indikatörlerin geri dönüşümle kestirimi, Suro - Perez and Journel (1991) tarafından ortaya atılmıştır. Tekniğe ilişkin ayrıntılı bilgi aşağıda verilmektedir.

### Temel Bileşenler Analizi (TBA)

Temel bileşenler analizi, veriler hakkında hiçbir istatistiksel varsayım gerektirmeyen bir ortogonalleştirme işlemidir. Fakat, dönüştürülmüş değişkenler ( $Y_i(x)$ ) arasındaki çapraz kovaryansın değeri sıfıra eşittir:

$$E\{(Y_i(x) - M_i)(Y_j(x) - M_j)\} = 0 \quad \forall j \neq i$$

$M_i$ ;  $Y_i(x)$  bileşeninin ortalamasıdır. İlk dönüştürülmüş değişken  $Y_1(x)$  ya da ilk temel bileşen en yüksek varyansa, ikinci temel bileşen  $Y_2(x)$  ise ikinci en yüksek varyansa sahiptir.

İndikatör değişkenlerin temel bileşenlere dönüştürülmesi  $x$  lokasyonundaki indikatör vektör

$$I(x; z) = [I(x; z_1), \dots, I(x; z_k)]^T$$

ile tanımlanır.  $h_1$  uzaklık vektörü için oluşturulan indikatör kovaryans matrisi  $\Sigma_1(h_1)$  aşağıda verilen eşitlikte görülmektedir:

$$\Sigma_I(h_2) = \begin{bmatrix} C_I(h_1; z_1, z_2) \dots C_I(h_1; z_1, z_k) \\ C_I(h_1; z_2, z_1) \dots C_I(h_1; z_2, z_k) \\ \dots \\ C_I(h_1; z_k, z_1) \dots C_I(h_1; z_k, z_k) \end{bmatrix}$$

$$C_I(h_1; z_k, z_k) = \text{kov} [I(x; z_k), I(x+h_1; z_k)]$$

Temel bileşenleri elde etmenin bir yolu  $\Sigma_I(h_1)$ 'in spektral dekompozisyonunu göz önüne almaktır:

$$\Sigma_I(h_1) = A \Lambda A^T$$

Burada A ortonormal matris ve  $\Lambda$  köşegen matristir. Her iki matris de belirli bir  $h_1$  vektörü için tanımlanır. A matrisinin sütunları  $\Sigma_I(h_1)$ 'in özvektörleri ve  $\Lambda$  köşegen matrisinin elemanları  $\Sigma_I(h_1)$ 'in en büyükten küçüğe doğru sıralanmış ( $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_n \geq 0$ ) özdeğerleridir (Wilkinson, 1965).

A matrisi hesaplandıktan sonra, indikatör temel bileşen vektörü, iki matrisin çarpımı ile elde edilir:

$$Y(x) = A^T I(x; z)$$

$Y(x)$ 'in her elemanı

$$Y_k(x) = \sum_{k'=1}^K a_{k',k} I(x; z_{k'})$$

olarak yazılır. Burada  $a_{k',k}$  ve  $I(x; z_{k'})$  sırası ile A matrisi ve  $I(x; z)$  vektörünün elemanlarıdır.  $Y_k$ , orijinal indikatörlerin doğrusal bileşenleridir. Bu bileşenlerin  $h = h_1$  için çapraz kovaryansları sıfıra eşittir:

$$C_y(h_1; k, k') = 0 \quad k \neq k'$$

Ancak diğer uzaklıklar ( $h \neq h_1$ ) için bu garanti edilemez ve çapraz kovaryansların sıfıra eşit olduğu varsayılır.

### İndikatör Temel Bileşenlerin Kriging ile Kestirimi

$Y_{ko}(x)$  temel bileşenin koriging tipi kestiricisi aşağıdaki bağıntı ile verilebilir:

$$Y_{ko}^*(x) = \sum_{k=1}^K \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{ko\alpha} Y_k(x_\alpha)$$

Ortogonalliğin bütün  $h$  uzaklıkları için geçerli olduğu varsayıldığında üstte verilen koriging kestiricisi, normal kriging kestiricisine indirgenir.

$$Y_{ko}^*(x) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{ko\alpha} y_{ko}(\chi_\alpha), \quad k_o = 1, \dots, K$$

$\lambda_{ko\alpha}$  ağırlıkları aşağıda verilen kriging sisteminin çözümünden elde edilir:

$$\sum_{\beta=1}^n \lambda_{ko\beta} C_y(x_\beta - x_\alpha; k_o) + \mu_{ko} = C_y(x - x_\alpha; k_o)$$

$$\sum_{\beta=1}^n \lambda_{ko\beta} = 1, \quad \alpha = 1, \dots, n$$

Eşitlikte  $C_y(x_\alpha - x_\beta; k_o) = \text{kov} [Y_{ko}(x_\alpha), Y_{ko}(x_\beta)]$ .  $Y(x) = A^T I(x; z)$  dönüşümünün tersi  $Z(x)$  koşullu kümülatif dağılım fonksiyonunun bir modelini verecektir:

$$F_{ITBK}(x; z | Z_n) = AY^*(x)$$

Eşitlikte  $F_{ITBK}(x; z | Z_n)$  ve  $Y^*(x)$  vektörleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$F_{ITBK}(x; z | Z_n) = [F_{ITBK}(x; z | Z_n) \dots F_{ITBK}(x; z_k | Z_n)]^T$$

$$Y^*(x) = [Y_{k_1}^*(x) \dots Y_{k_n}^*(x)]^T$$

## Yöntemin Eskişehir Ovası'na Uygulanması

### Çalışma alanının jeolojisi

Eskişehir ve çevresi ile ilgili jeoloji çalışmaları 1940'lı yıllarda başlamıştır. Bu tarihten bugüne kadar bölgede çeşitli amaçlarla jeoloji çalışmaları yapılmıştır. Eskişehir Ovası'nın ve çevresinin jeolojisi konu alan en son çalışma, MTA Genel Müdürlüğü tarafından, "Orta Sakarya Güneyi ile Uludağ Güneyinin Jeolojik Sorunları ve Kompilasyonu Projesi" adı altında yürütülmüştür.

Eskişehir ili ve çevresindeki bölge, jeolojik evrimini Jura öncesi (Triyas ?) ile Holosen arasında tamamlamıştır (Kaçaroğlu, 1991). Bu alanda metamorfik ofiyolitik, metadetritik, volkanik ve sedimanter kayalardan oluşan bir istif yer alır. Metamorfik ve ofiyolitik kayaların oluşturduğu topluluk doğu - batı yönünde uzanır. Eskişehir civarının bugünkü jeolojik yapısı, bölgede Triyas sonundan günümüze kadar gelişen jeolojik olaylar sonucu ortaya çıkmıştır. Bölgedeki kuzey - güney yönlü sıkışmalar sonucu Eskişehir Ovası'nın kuzey ve güneyinde çoğunlukla doğu - batı yönlü bindirme fayları ve normal faylar oluşmuştur (Gözler ve diğ., 1985).

İnceleme alanında Kuvaterner yaşlı birimler eski ve yeni alüvyonlardan oluşmaktadır. Eski alüvyon; ovanın batı kesiminde, ova çevresindeki yükseltilerde ise teraslar şeklinde bulunmaktadır ve genellikle daha yaşlı formasyonlara ait kil, silt, kum ve çakılların gevşek tutturulmasından oluşmaktadır. Yeni alüvyon, İnönü Ovası'ndan gelen Sarısu Deresi ile Porsuk Çayı ve yan kollarının getirip ovada biriktirdiği malzemeden oluşur. Eskişehir Ovası'nda geniş bir alanı kaplayan yeni alüvyonu, kil, silt, kum ve çakıl oluşturur.

## Su kirliliği incelemeleri

Eskişehir ili, Türkiye'deki hızla gelişen ve endüstrileşen şehirlerimizden biridir. Şehrin su ihtiyacı, çeşitli faaliyetlerle kirletilen Eskişehir Ovası'ndaki alüvyon akiferden sağlanmaktadır. Kütahya ilinin evsel atıkları ile Eskişehir ilinin evsel atıklarının bir bölümü ve bu iki şehirdeki endüstri kuruluşlarının atık suları, özellikle Kütahya ilindeki azot fabrikası, herhangi bir arıtma işlemi yapılmaksızın, Kütahya'nın güneybatısından doğan, Kütahya ve Eskişehir'den geçtikten sonra Sakarya Nehri ile birleşen Porsuk Çayı'na boşaltılmaktadır. Eskişehir'de bütün şehri kapsayan bir kanalizasyon sistemi bulunmadığından, evsel atıkların bir bölümü Porsuk Çayı ve sulama kanallarına boşaltılmakta, geriye kalan bölümü ise fosseptiklerde toplanmaktadır. Şehir yerleşim alanına yayılmış olan binlerce fosseptik çukur yeraltısuyu için önemli bir kirlilik kaynağını oluşturmaktadır.

Tarım, Eskişehir Ovası'nda önemli bir ekonomik aktiviteyi oluşturmaktadır. DSİ tarafından inşa edilmiş olan sulama kanalları ile ovanın büyük bir kısmı sulanmaktadır. DSİ verilerine göre ortalama yıllık 115 000 hektar tarım alanında sulama yapılmaktadır (DSİ, 1987). Ovada yapılan tarımda, gübre ve ilaç kullanımı oldukça yaygın olarak görülmektedir.

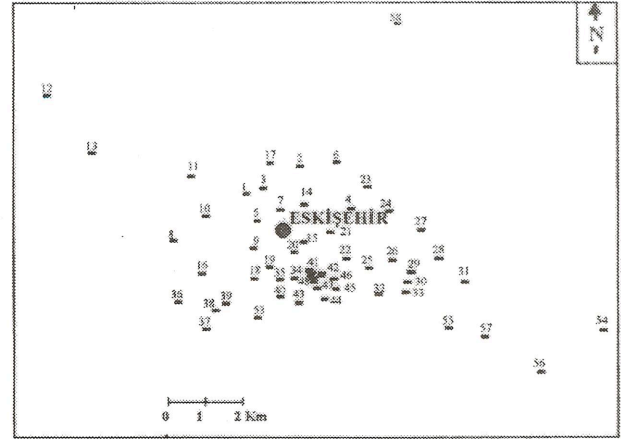
Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda Eskişehir Ovası'ndaki yeraltısuyu kirliliğine neden olan kaynaklar aşağıdaki şekilde kısaca özetlenebilir:

- Porsuk Çayı ve sulama kanallarından yeraltısuyu beslenimi,
- Azot fabrikası atıkları,
- Evsel atıkların toplandığı fosseptik çukurlardan sızıntılar ve
- Tarımsal amaçlı kullunılın gübre ve ilaçlar.

Hızlı bir gelişme ve endüstrileşmeye bağlı olarak, artan su gereksiniminin karşılanması amacı ile yeni pompaj kuyularının açılması gerekmektedir. Bununla birlikte, yeni açılacak kuyu yerlerinin akiferin kirlenmemiş bölümlerinde seçilmesi, kullanılabilir yeraltısuyu sağlanması açısından önemlidir.

## Verilerin değerlendirilmesi

Eskişehir Ovası'ndaki yeraltısuyu kirliliğini değerlendirmek amacı ile 58 adet mevcut içme suyu kuyusunda periyodik olarak 2 yıl süresince alınan yeraltısuyu örnekleri analiz edilmiştir (Kaçaroğlu, 1991). Şekil 1'de yeraltısuyu örneklerinin lokasyonları gösterilmektedir. Örnekleme de; örnek noktalarına ulaşılabilirlik, alınacak örneğin o noktadaki su niteliklerini temsil edebilmesi, kuyuların arazideki konumları gibi özellikler



Şekil 1. Eskişehir Ovası'ndan alınan örneklerin lokasyonları.

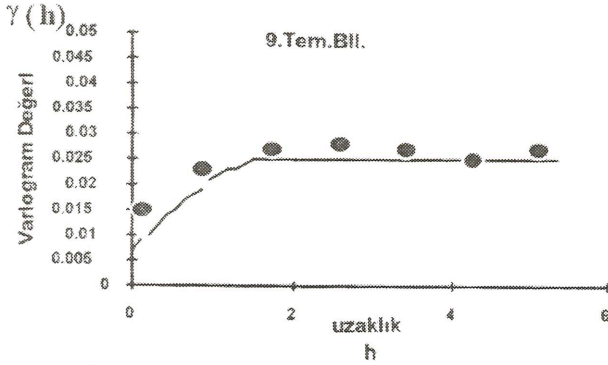
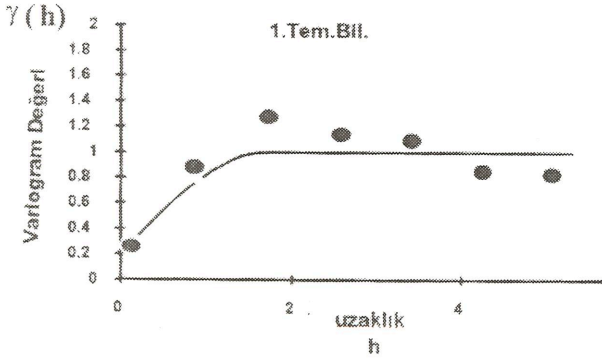
göz önünde tutulmuştur. Alınan içme suyu örnekleri çeşitli değişkenler için test edilmiştir. Analiz edilen değişkenler arasında elektrik iletkenliği, pH, nitrat içeriği ve bulanıklık gibi dağılımlar bulunmaktadır.

Eskişehir Ovasındaki yeraltısuyu kalitesi ve kirliliği mevsimsel değişimler göstermektedir. Yeraltısuyunun beslenme koşulları, kirletici kaynaklardan gelen kirlilikteki mevsimsel değişimler, iklim koşulları, yeraltısuyu düzeyi değişimleri ve tarımsal çalışmalar gibi faktörlere bağlı olarak yeraltısularındaki nitrat içeriği, kurak ve yağışlı dönemler arasında 1 ile 10 kat arasında değişmektedir. Bu nedenle yöntemde, periyodik örnek alım süresince ölçülen örnek değerlerinin ortalama nitrat içerikleri kullanılmıştır. Çizelge 1'de nitrat değerlerine ait istatistiksel bilgiler sunulmaktadır.

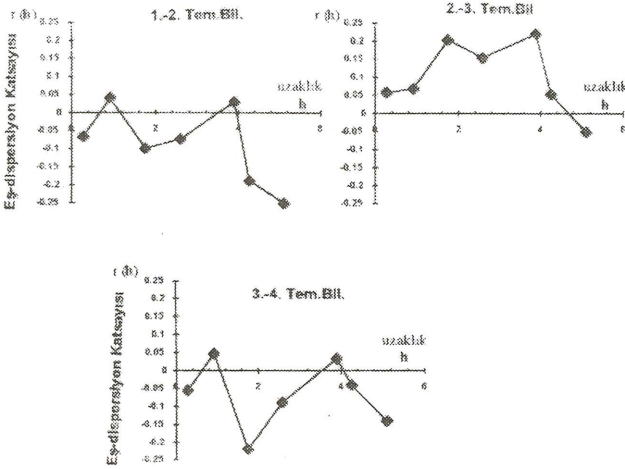
Uygulamada 9 temel bileşen, indikatör veriler ve  $I_{hl} = 0$  adımıyla oluşturulan U matrisi kullanılarak hesaplanmıştır. 9 temel bileşenin herbirine göre yönsel variogramlar hesaplanmış ve ortalama variogram kullanılarak modelleme yapılmıştır. Şekil 2, ilk temel bileşen ve ayrıca son temel bileşenin variogramlarını göstermektedir. 1.7 km.'lik yapısal uzaklığa sahip küresel bir model ve nugget etkisi kullanarak modellenen deneysel variogramlarda, yapısal uzaklıklar temel bileşenlerin her biri için aynıdır. Modellemenin geçerliliği Saraç ve

Çizelge 1. Eskişehir Ovası'ndan alınan örneklere ilişkin istatistiksel bilgileri.

Örnek Sayısı	:	58
Ortalama	:	39.99
Varyans	:	690.55
Minimum	:	5.44
Medyan	:	31.72
Maksimum	:	100.07
Varyasyon katsayısı	:	0.66



Şekil 2. İndikatör temel bileşenlerin otopariogramları (1. ve 9. bileşen)



Şekil 3. İndikatör temel bileşenlerin eş - dispersiyon katsayıları.

Tercan (1992)'da verilen algoritmaya göre yapılmış ve model parametrelerinin geçerli olduğu saptanmıştır.

İndikatör temel bileşenler kriging yönteminde, temel bileşenlerin uzamsal ortogonal olduğu varsayılmakta; belirli bir uzaklık için garanti edilen ortogonallığın bütün uzaklıklar için geçerli olduğu kabul edilmektedir. Temel birleşenlerin herhangi bir çifti arasındaki uzaklığa bağlı korelasyonun büyüklüğünü değerlendirmek için, bu çalışmada eş - dispersiyon katsayı

yısı  $r(h)$  kullanılmıştır. Bu katsayı Matheron (1965)'a göre, çarpaz varogramlara karşılık gelen otopariogramların çarpımının kareköküne oranı olarak tanımlanabilir. Şekil 3'de en önemli üç eş - dispersiyon katsayısı gösterilmektedir. Her grafik temel bileşenlerin ortogonallığının uzamsal olarak kabul edilebileceğini göstermektedir.

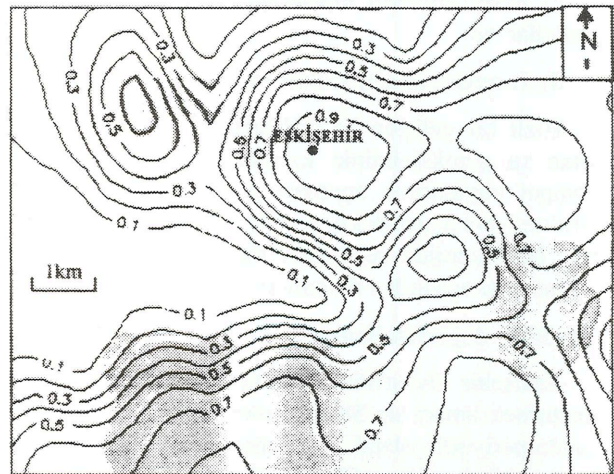
#### Koşullu dağılımların kestirimi

İndikatör temel bileşenler ayrı ayrı krig edildikten sonra, düzenli aralıkta 152 lokasyondaki koşullu dağılım kestirilmiştir. Kriging komşuluğu en çok 16 veri içermektedir ve koşullu dağılım değerlerinin, geçerli bir dağılım fonksiyonunun özellikleri sağlamadığı lokasyonlarda Deutsch and Journel (1992)'de verilen algoritma kullanılmıştır:

$$F(x; z | Z_n) \in [0, 1]$$

$$F(x; z_k | Z_n) \leq F(x; z_{k+1} | Z_n), z_k \leq z_{k+1}$$

Sonuç olarak koşullu dağılımlardan, E - tipi kestirim değerleri hesaplanmıştır. World Health Organisation - WHO (1984), nitratın insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini göz önüne alarak, nitrat derişimlerinin 45 mg/l  $\text{NO}_3$ 'den az olması gerektiğine işaret etmektedir. Lokasyonlardaki nitrat derişiminin bu sınır değeri aşması olasılığı hesaplanarak, Şekil 4'de sunulan kontur haritası hazırlanmıştır. Şekilde gölgeli olarak E - tipi kestirim değerlerinin 45 mg/l  $\text{NO}_3$ 'den daha büyük olduğu bölgeler gösterilmiştir. Dikkat edileceği üzere şekilde, kontur değerleri ile E - tipi kestirimle saptanılan kirlilik bölgelerinin farklı olduğu görülmektedir. Bu da uygulanan yöntemin klasik konturlamaya göre farklı-



Şekil 4. Eskişehir Ovası yeraltısularındaki nitrat konsantrasyonu kontur haritası, nitrat değerleri 1/100 olarak verilmektedir. (E - tipi kestirimin 45 mg/l  $\text{NO}_3$ 'dan fazla olduğu bölgeler gölgeli olarak gösterilmiştir.

lığını açıkça ortaya koymaktadır. Konturlama yönteminde herhangi bir kestirme işlemi yapılmaksızın sadece araziden elde edilen verilere göre eğriler geçirilmektedir. E - tipi bir kestirim uygulayarak izlenen yöntemde ise, indikatör temel bileşenlerin otovariogramları kullanılarak nitrat derişimleri modellenmiş ve Eskişehir Ovası'ndaki yapısal uzaklıklar dikkate alınarak kestirim gerçekleştirilmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi, WHO (1984) standartlarına göre E - tipi kestirim sonucu gölgeli olarak gösterilen bölgeler, kuyu yeri için uygun değildir. Ayrıca, bu bölgeler dışındaki çeşitli yerlerde kestirilen değerler, sınır değerlerinden daha az olduğu halde gerçek değerlerin bu sınır değeri aşma olasılığı oldukça yüksek gözlenmektedir. Böyle zonlar için ek bir örnekleme önerilebilir.

## Sonuçlar

İndikatör temel bileşenler kriging yöntemi, daha az sayıda kestirim ve modelleme kullanarak, indikatörler arasındaki çapraz kovaryansın kullanıldığı bir yöntemdir. Yapılan çalışma sonucu, yöntemin yeraltısuyu kirliliği araştırmalarında kolayca uygulanabileceği gösterilmiştir. Temel bileşenlerin çapraz varogramlarının bağıl büyüklüğü, karşılık gelen otovariogram ile karşılaştırılarak yapılmıştır. İncelemede deneysel variogramlar hesaplanarak, bunlara küresel tip bir model uyarlanmış ve yapısal uzaklıklar saptanmıştır. Eskişehir Ovası yeraltısularındaki E - tipi kestirim değerlerinin 45 mg/l NO<sub>3</sub>'den fazla olduğu alanlar belirlenmiştir. Bu alanlar, standartlar çevrevesinde kuyu açımı için uygun değildir. Ayrıca yöntemin konturlamaya göre farklılığını da göstermek amacı ile lokasyonlardan alınan örnek değerleri kullanılarak, nitrat konsantrasyonunu gösteren bir kontur haritası hazırlanmıştır.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Deutsch, C.V. and Journal, A.G., 1992, GSLIB, Geostatistical Software Library and User's Guide, Oxford University Press.
- Dowd, P.A., 1991, A Review of Recent Developments in Geostatistics, Computer & Geosciences, 17, 10, 1481 - 1500.
- DSİ, 1987, Su Kalitesi Gözlem Yıllığı: DSİ İçmesuyu ve Kanalizasyon Dairesi Yayını, 525 s.
- Gözler, M.Z., Cevher, F. ve Küçükayman, A., 1985, Eskişehir Civarının Jeolojisi ve Sıcaksu Kaynakları, MTA Derisi, 103/104, 40 - 54.
- Journal, A.G., 1983, Nonparametric Estimation of Spatial Distributions, Mathematical Geology, 15, 3, 445 - 468.
- Kaçaroğlu, F., 1991, Eskişehir Ovası Yeraltısuyu Kirliliği İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Marcotte, D. and David, M., 1985, The BiGaussian Approach, A Simple Method for Recovery Estimation, Mathematical Geology, 17, 6, 625 - 644.
- Matheron, G., 1965, "Les Variables Regionalisees et Leur Estimation", Mason, Paris.
- Matheron, G., 1976, A Simple Substitute to Conditional Expectation: The Disjunctive Kriging, NATO ASI.D. Reidel, Dordrecht, 221 - 236.
- Saraç, C. ve Tercan, A.E., 1992, A Geostatistical Case Study of the Kızılyüksek - Yataardıç Chromium Orebody, Geosound, Çukurova University, 20, 219 - 230.
- Suro - Perez, V. and Journel, A.G., 1991, Indicator Principal Component Kriging, Mathematical Geology, 23, 5, 759 - 788.
- Tercan, A.E. and Dowd, P.A., 1993, Nonparametric Methods for Estimating Conditional Distributions and Local Confidence Intervals, LUMA, Leeds University Mining Association, 173 - 183.
- Wilkinson, J.H., 1965, The Algebraic Eigenvalue Problem, Oxford University Press.
- World Health Organisation (WHO), 1984, "Guidelines for Drinking Water Quality, Volume 1, Recommendations" WHO publications, Geneva, Switzerland.