

## Sulama Proje Alanlarındaki Taban Suyu Derinliğinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi

Kemal Sulhi GÜNDOĞDU\*

### ÖZET

*Sulama proje alanlarında, sulama ile tabansuyu düzeyinde meydana gelen değişikliklerin belirlenmesi amacıyla gözlem kuyuları oluşturulmaktadır. Bu gözlem kuyularından aylık olarak tabansuyu derinliği ve tabansuyu tuzluluk değerleri ölçülmektedir. Tabansuyu ölçüm değerleri kullanılarak tabansuyunda meydana gelen değişiklikler değerlendirilmekte ve gerekli önlemler alınabilmektedir.*

*Bu çalışmada sulama proje alanlarındaki tabansuyu derinliği değerlerinin jeostatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Pilot alan olarak Mustafakemalpaşa sulama projesi alanı seçilmiştir. Ölçüm verisi olarak 2002 yılı içerisinde ölçülmüş temmuz ayına ait tabansuyu derinliği değerleri kullanılmıştır. Sonuçta, çalışma alanı için tabansuyu derinliğinin konumsal değişimi jeostatistiksel yöntemlerle farklı açılardan değerlendirilebilmiştir.*

**Anahtar Sözcükler:** *Tabansuyu, Tabansuyu derinliği, Jeostatistik, Sulama projesi.*

---

\* Doç. Dr., U.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Görükle / Bursa.

## ABSTRACT

### Evaluation of Groundwater Depth in Irrigation Project Areas by Using Geostatistical Methods

*Groundwater observation wells were bored into the soil to the required depth to follow up the groundwater depth fluctuations resulted from irrigation in the project area. Groundwater depth and electrical conductivity of these observation wells were measured, monthly. It could be possible to evaluate the changes of the depth of the groundwater by means of these measured values and to take the necessary precautions.*

*The aim of this study is to evaluate the spatial changes of the groundwater depth in irrigation project areas by applying geostatistical methods. Mustafakemalpaşa irrigation project area was selected as test site. Groundwater depth observations in July, 2002 were used as test data. As a result, spatial variations of groundwater depth for test area can be determined from different perspectives using geostatistical methods.*

**Key Words:** *Groundwater, Groundwater depth, Geostatistic, Irrigation project.*

## GİRİŞ

Sulama proje alanlarının sürekliliğinin ve sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla izleme ve değerlendirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Sulama proje alanlarında izleme ve değerlendirme çalışmalarında, tabansuyu seviyesi ve tabansuyu tuzluluk değerlerindeki değişimler önemli bir yer tutmaktadır. Bu değerler, aynı zamanda sulama projelerinin çevresel etkisinin araştırılmasında da kullanılmaktadır.

Tarım alanlarında değişik amaçlarla yapılmış etütlerde, örnekleme yerlerinden alınan verilerin göstereceği değişkenliğin incelenmesinde, klasik istatistiksel yöntemler yeterli olmamaktadır. Çünkü klasik istatistikte herhangi bir değişkene ilişkin varyans ve standart sapmanın hesaplanmasında örnekleme yerlerinin etkisi dikkate alınmamaktadır. Söz konusu soruna çözüm getirmek amacıyla Matheron 1960'lı yıllarda "yöresel değişkenlik" kuramını geliştirmiştir. Geliştirilen model, ilk olarak maden mühendisliğinde rezerv kaynaklarının belirlenmesinde kullanıldığı için "Jeoistatistik Kavramı" ile tanımlanmıştır (Köksal, 1988). Jeoloji biliminde kullanımı yaygınlaşan jeoistatistiksel yöntemler, zamanla diğer bilim alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Carlson ve Osiensky (1998), yaptıkları çalışmada kuzey Idaho'da yer altı suyundaki nitrat dağılımının yersel olarak tanımlanabilmesi için jeoistatistiksel yöntemleri kullanmışlardır.

Çalışma sonucunda elde ettikleri sonuçları bir harita üzerinde irdelemişlerdir.

Çetin ve Diker (2003), çalışmalarında tabansuyu derinliğinde meydana gelen değişikliklerin, yersel değerlendirilmesi ile drenaj problemi olan alanların belirlenmesi için Coğrafi Bilgi Sistemini (CBS) kullanmışlardır. Pilot alan olarak Adana, Aşağı Seyhan Ovasında 8494 ha'lık bir alanı seçmişlerdir.

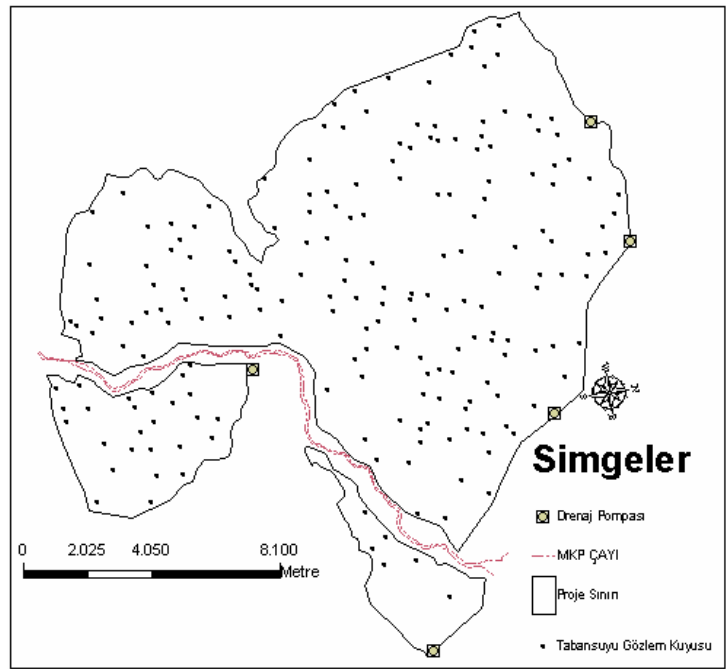
CBS yazılımlarında son yıllardaki gelişmeler sonucunda, jeoistatistiksel analiz çalışmaları CBS ile entegre bir biçimde gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. CBS, bir çalışmadaki zaman alıcı veri toplama aşamasına son vermemektedir. Buna karşın, daha etkin ve hızlı bir biçimde yersel değişiklikleri değerlendirebilmektedir. Çünkü CBS büyük veri setleri ile çalışabilme yeteneğine sahiptir. Buna ek olarak CBS, çeşitli değişkenleri karar destek amaçlı olarak birleştirebilmekte ve sorgulayabilmektedir (Wylie ve Ark., 1994; Pebesma, 1996).

Yapılan çalışmada sulama alanındaki tabansuyu gözlem kuyularından elde edilen tabansuyu derinlik değerlerinin, jeoistatistiksel yöntemle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Mustafakemalpaşa sulama alanında 2002 yılı temmuz ayında tabansuyu gözlem kuyularından ölçülmüş tabansuyu derinlik değerleri kullanılmıştır.

## MATERYAL

Çalışma alanı, kuzey-batı Anadolu'da (Marmara Bölgesi), 15500 ha'lık bir alana sahip Mustafakemalpaşa (MKP) sulama alanıdır (Şekil 1). MKP sulama alanında 238 tabansuyu gözlem kuyusu bulunmaktadır. Bunların 38'i çeşitli nedenlerle tahrip olduğundan 200 adet gözlem kuyusunda ölçüm yapılmaktadır (Anonim 2000). Çalışmada kullanılan 2002 yılına ait tabansuyu gözlem verileri DSİ 1. Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Bu yılın temmuz ayında 197 adet gözlem kuyusunda ölçülen tabansuyu derinlik değerleri kullanılmıştır.

Çalışma alanı toprakları, genç alluvial karakterli topraklardır. Toprakların %54.9'u ince (Killi-tınlı ve killi), %34.3'ü orta (Tınlı-kum, Tın) ve % 10.8'i kaba (Kumlu kil, kum) bünyelidir (Değirmenci, 1997). Uzun yıllık temmuz ayına ait ortalama sıcaklık 23.2 °C, ortalama bağıl nem % 64, ortalama yağış miktarı 15.2 mm, ortalama rüzgar hızı 2.7 m/sn, ortalama güneşlenme süresi 11.13 saat/gün'dür (Anonim, 1996). Çalışma alanının kuzey sınırında Atabay, Uluabat, Paşaçayırı ve Karaoğlan drenaj pompaj istasyonları ile doğu sınırında ise Demirelli drenaj pompaj istasyonu bulunmaktadır. Çalışmada jeoistatistiksel metotların uygulanmasında ArcGIS ver. 8 yazılımı kullanılmıştır.



*Şekil 1. Mustafakemalpaşa Sulama Proje Alanı ve Tabansuyu Gözlem Kuyuları*

## YÖNTEM

Tabansuyu derinlik değerlerinin yersel dağılımının değerlendirilmesinde histogram, trend analizi, Normal QQplot, yarıvariogram ve kovaryans grafiklerinin değerlendirilmesi ve yersel dağılım haritası kullanılmıştır.

Histogram grafiği belirli aralıklara denk gelen gözlenmiş değerlerin hangi sıklıkta görüldüğünün frekans dağılımını göstermektedir (Anonim, 2002; Minami, 2000; Shaner ve Wrightsell, 2000).

Trend analiz verilerin üç boyutlu perspektif görünümünü sağlamaktadır. x, y koordinat düzleminde, ölçüm noktaları çizilir. Her bir ölçüm noktasının üzerinde ölçülen z boyutunda ölçülen değerlerin yüksekliği verilir. Trend analizin de x,z koordinat düzleminde ve y, z koordinat düzleminde saçılmış noktalar biçiminde ölçülen değerlerin yansımaları yer alır. Bu değerler uygun bir polinom denklemi ile ifade edilebilir. Aynı zamanda iki doğrultudaki eğilimin, grafik üzerinde gösterimi gerçekleştirilmiş olur (Johnson ve Ark., 2001).

Normal QQplot, ölçülen verilerin standart normal dağılımdan sapmalarının bir grafik üzerinde gösterilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Yarıvariogram fonksiyonu

$$\gamma (s_i, s_j) = \frac{1}{2} \text{var} (Z (s_i) - Z (s_j))$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada *var* deyimi varyansı,  $s_i$  ve  $s_j$  aralarında  $d (s_i, s_j)$  mesafesi bulunan iki farklı konumu,  $Z (s_i)$  ise  $s_i$  konumunda ölçülen değeri,  $\gamma (s_i, s_j)$  ise yarıvaryansı ifade etmektedir. Eğer iki konum arasındaki mesafe az ise ölçülen değerlerin birbirlerine benzer olması beklenir yani  $Z (s_i) - Z (s_j)$  farkı az olacaktır.  $s_i$  ve  $s_j$  konumları birbirlerinden uzaklaştıkça ölçülen değerlerde birbirlerine daha az benzeyecektir. Yani değerler arasındaki fark daha da artacaktır. Kovaryans fonksiyonu ise,

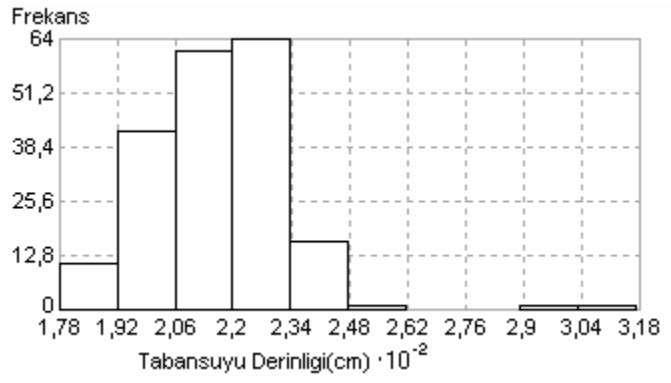
$$C (s_i, s_j) = \text{cov} (Z (s_i), Z (s_j)),$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada *cov* kovaryansdır. Kovaryans korelasyonun ölçeklendirilmiş bir versiyonudur. Çünkü,  $s_i$  ve  $s_j$  konumları birbirlerine yakın olduğunda, değerlerinin birbirine benzer olmasını bekleriz. Böylece onların kovaryansı (bir korelasyon) büyük olacaktır. Ölçüm noktaları  $s_i$  ve  $s_j$  birbirinden uzaklaştıkça ölçülen değerler birbirlerine daha az benzeyecektir. Böylece kovaryans sıfır olacaktır (Johnson ve Ark., 2001).

Yarıvariogram modelleri kullanılarak, çalışma alanının örneklene-meyen noktaları için tahmin yapılabilmektedir. Bu amaçla, ölçülen tabansuyu derinlikleri kullanılarak tüm çalışma alanının 30 m. aralıklarla derinlik değerleri küresel yarıvariogram modeli ile elde edilmiştir.

## ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Tabansuyu derinlik değerlerinin oluşturduğu frekans dağılım grafiği histogram biçiminde elde edilmiştir (Şekil 2). Histogram her sınıftaki değerlerin yoğunluğunu göstermektedir. Burada histograma ait özet bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda sırasıyla tabansuyu gözlem kuyu sayısı, Temmuz-2002 ayında ölçülen minimum, maksimum değer ile hesaplanan ortalama değer, standart sapma, simetriklik katsayısı (skewness), histogram kuyruk kısmının normalden sapma değeri (kurtosis), birinci çeyrek ortanca değeri, ortanca değeri, üçüncü çeyrek ortanca değeri yer almaktadır. Hızlı bir kontrol yapmak için, ortalama ve ortanca değere bakılabilir. Bu değerler birbirine yakın ise verilerin normal dağılıma uyduğu söylenebilir. Tablo 1’de görüldüğü gibi ortanca değer 215,93 iken ortanca değer 215’dir.



Şekil 2.  
Tabansuyu Derinlik Değerlerinin Histogramu

**Tablo 1.**  
**Tabansuyu Derinlik Değerleri ve Histograma Ait Sayısal Değerler**

Gözlem Sayısı	Minimum Değer (cm)	Maksimum Değer (cm)	Ortalama (cm)	Standart Sapma	Skewness	Kurtosis	1 <sup>st</sup> Kuantil (cm)	Ortanca (cm)	3 <sup>rd</sup> Kuantil (cm)
197	178	317	215,93	16,853	1,5844	11,077	205	215	227

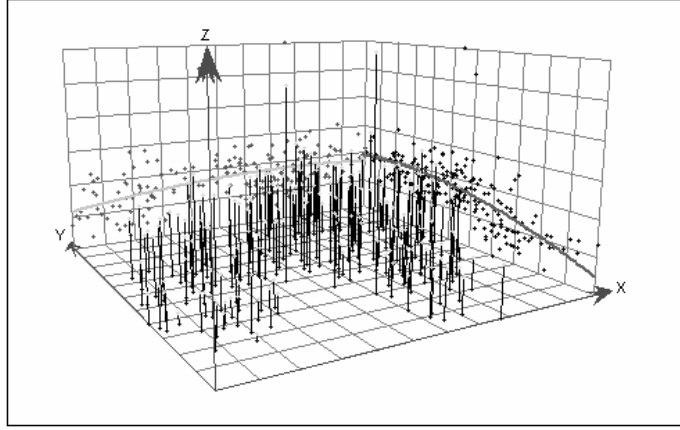
Histogramda tabansuyu derinliğine bağlı olarak 10 farklı sınıf oluşturulmuştur. Histogramda görüldüğü gibi dağılım simetrik değildir. Dağılımın simetrik olması için simetriklik katsayısı sıfıra yakın olmalıdır. Verilerin çoğu normal dağılıma uyacak biçimde histogramın sol tarafına yığılmıştır. Histogramın sağ tarafında ise çok az sayıda veri bulunmaktadır. Bunlar dağılımın simetrik olmasını önlemektedir.

Skewness değeri, tablo 1’de görüldüğü gibi 1,5844 olduğundan dağılımın simetrik olduğu söylenemez (Cerri ve Ark., 2004). Kurtosis değeri 3 sayısından fazla olduğundan normal dağılımdan göreceli olarak oluşan dağılımın kuyruk kısmı daha uzundur (Johnson ve Ark., 2001).

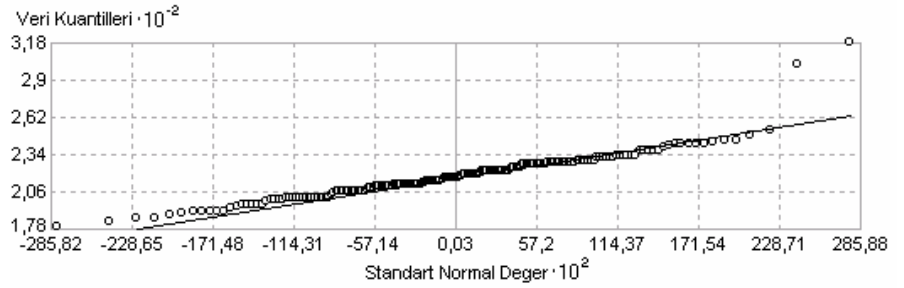
Verilerin genel eğilimini belirlemek amacıyla Trend analizi yapılmıştır (Şekil 3). Trend analizi girilen verinin genel eğiliminin tanımlanmasına yardımcı olur. Bu analizde verilerin 3 boyutlu perspektif görünümü elde edilmiştir. Bu perspektif görünüm yardımıyla tabansuyu derinliğinin konumsal değişimi görülebilmektedir.

Normal QQPlot grafiği göreceli olarak yığılımlı normal dağılım değerleri ile yığılımlı verilerin karşılıklı grafiklenmesi ile elde edilmektedir

(Şekil 4). Normal QQPlot grafiği bize standart normal dağılım ile verilerimizi karşılaştırma olanağı verir. Grafikte görüldüğü gibi verilerin çoğu normal dağılıma uygundur. Tabansuyu derinliği 228 cm ‘den daha fazla derinliğe sahip iki tabansuyu kuyu gözlemi normalden sapmıştır. Bu iki kuyunun ölçüm değerlerini etkileyen bir faktörün olup olmadığı gözlenmelidir.



Şekil 3.  
Mustafakemalpaşa Sulama Alanı 2002-Temmuz Ayı Tabansuyu derinliğinin Trend Analizi



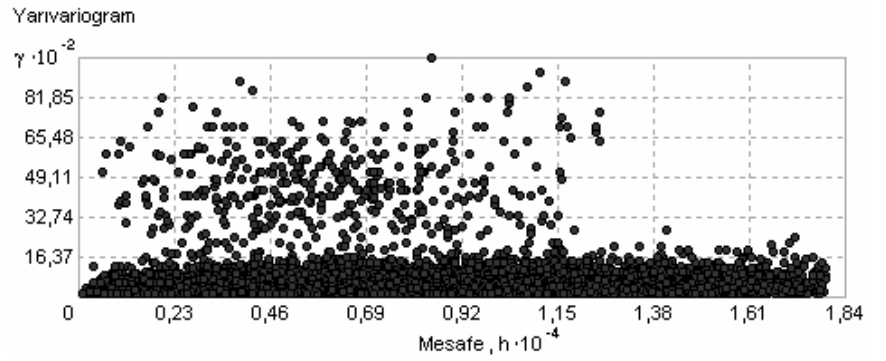
Şekil 4.  
Mustafakemalpaşa Sulama Alanı 2002-Temmuz Ayı Tabansuyu derinliğinin QQPlot Grafiği

Yarıvariogram ve kovaryans, ölçümü yapılan tabansuyu kuyuları arasında yersel otokorelasyonun değerlendirilmesine izin vermektedir (Şekil 5 ve 6). Yersel otokorelasyonda birbirine yakın konumlardaki ölçümlerin birbirlerine yakın değerler vereceği kabulü yapılmaktadır. Yarıvariogram ve kovaryans bu ilişkinin düzeyini belirlemektedir. Bu grafikler iki konum arasındaki uzaklığın fonksiyonu olarak çizilir ve veri setleri içeri-

sindeki tüm konum çiftleri için amprik gösterimi ifade eder. Grafik üzerindeki her bir nokta örnek konumlardaki veri çiftlerini ifade etmektedir. Şekil 5’de verilen yarıvariogramda her bir nokta iki farklı konumdaki tabansuyu değerlerinin birbirlerine benzerlik düzeyini göstermektedir. Grafikte büyük veri kümesinin ilk yarıvariogram aralığında kümelendiği, uzaklığa bağlı olarak bu durumun değişmediği gözlenmektedir. Bu da bize tabansuyu derinlik değerlerinin birbiri ile bağlantılı bir biçimde değiştiği ve bu değişimi etkileyecek konumsal etkenlerin bulunmadığını yada bu etkenlerin etkisinin az olduğu sonucuna götürmektedir.

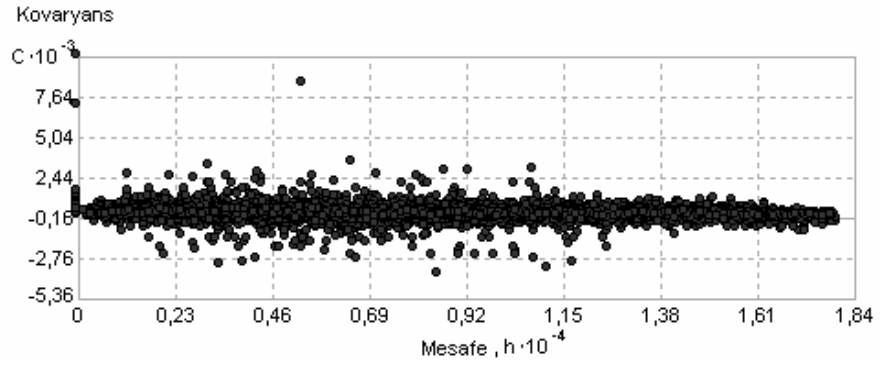
Şekil 6’da verilen kovaryans grafiğinde uzaklığa bağlı olarak önemli bir değişiklik görülmemektedir. Buna karşın kovaryansı sıfır değerine sahip ölçümler bulunmaktadır. Bu ise daha önce sözü edilen normal dağılımdan sapan iki tabansuyu derinlik değerinden kaynaklanabilir. Uzaklığa bağlı olarak kovaryans değişiminde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Kovaryans aynı zamanda benzerlik fonksiyonu olarak düşünülebileceği için uzaklıkla ölçülen değerlerin benzerliklerinde önemli bir değişiklik olmadığı sonucu çıkarılabilir (Johnson ve Ark., 2001).

Jeoistatistiksel analizler gözlem gerçekleştirilmeyen konumların değerlerinin tahminlenmesinde kullanılmaktadır. Çalışmada ele alınan, 197 tabansuyu derinlik değeri kullanılarak, küresel yarıvariogram modeli ile 30x30 m boyutlarında piksellerden oluşan tabansuyu derinlik değeri haritası hazırlanmıştır. Böylece her 900 m<sup>2</sup> alanı temsil edecek tabansuyu derinlik değeri bulunmuştur. Şekil 7’de sınıflandırılmış biçimde elde edilen harita verilmiştir. Temmuz-2002 de en düşük tabansuyu derinliği 178 cm maksimum tabansuyu derinliği 317 cm olduğundan bu değerler esas alınarak 5 ayrı grup oluşturulmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi 204-230 cm tabansuyu derinliğine sahip alan projenin çoğunu kapsamaktadır.



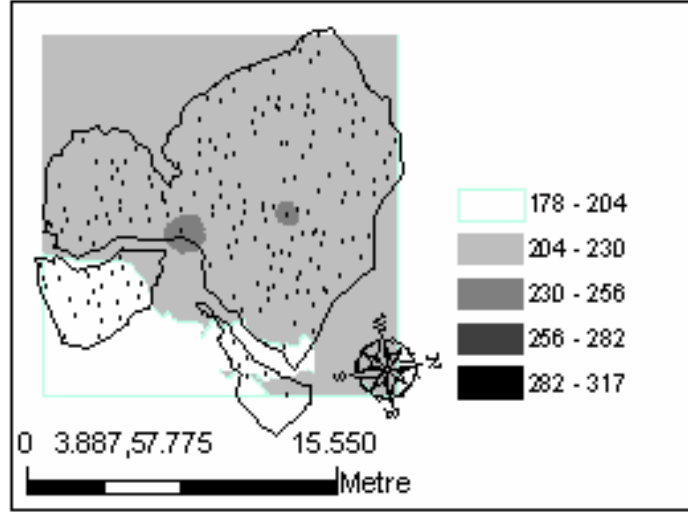
Şekil 5.  
Mustafakemalpaşa Sulama Alanı 2002-Temmuz Ayı Tabansuyu derinliğinin yarıvariogramı





Şekil 6.  
MKP Sulama Alanı Temmuz-2002 Ayına Ait Tabansuyu Derinliği  
Kovaryans Grafiği

Sonuç olarak, sulama proje alanındaki tabansuyu derinlik ölçümlerinin değerlendirilmesinde jeostatistik yöntemlerin kullanılması ile verilerin eğiliminin belirlenmesi, veri güvenilirliğinin test edilmesi, verilerin birbirine göre değişim durumunu analizi, tabansuyunun genel akış doğrultusunun belirlenmesi, birbirine yakın konumdaki ölçüm kuyularında ölçülen değerler arasındaki değişimin belirlenmesi işlemleri kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 7.  
Mustafakemalpaşa Sulama Alanı 2002-Temmuz Ayı Tabansuyu  
derinliğinin yersel dağılımı haritası

Sulama sezonundaki tüm aylarda ölçülen değerlerin jeoistatistiksel analizi ile tabansuyu derinlik değişimlerinin etki alanları, oluşabilecek sorunlu alanlar tespit edilebilir. Bunun yanında çok yıllık tabansuyu derinlik ölçüm değerlerinin jeoistatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi ile taban suyunun yıllara göre değişim durumu belirlenebilir. Tabansuyu gözlem ağının yeterlilik düzeyi belirlenebilir. Tabansuyu ağındaki olası eksiklikler belirlenerek yeni gözlem kuyularının konumları jeoistatistiksel yöntemlerle belirlenebilir.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 1996. Mustafakemalpaşa Meteoroloji İstasyonu Uzun Yıllık Ortalama Verileri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2000. Mustafakemalpaşa Sulaması Tabansuyu Raporu (Ekim 1999- Eylül 2000). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.
- Anonim, 2002. ArcGIS 8, Getting Started with ArcGIS, ISBN: 1-58948-061-9, ESRI, Redlands, USA.
- Cerri, C.E.P., Bernoux, M., Chaplot, V., Volkoff, B., Victoria, R.L., Melillo, J.M., Paustian, K., Cerri, C.C., 2004. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area, *Geoderma* 123 (2004) 51–68.
- Çetin, M., Diker, K., 2003. “Assessing Drainage Problem Area by GIS: A Case Study in the Eastern Mediterranean Region of Turkey”, *Irrigation and Drainage* 52:343-353, John Wiley & Sons, Ltd.
- Carlson, R.A., J.L., Osiensky, 1998. “Geostatistical Analysis and Simulation of Nonpoint Source Nitrate Contamination: A Case Study”, *Environmental Geosciences*, Volume 5, Number 4, P. 177-186.
- Değirmenci, H., 1997. “Sulama Yönetiminde İzleme ve Değerlendirmenin Etkinliği Üzerinde Bir Çalışma”, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Basılmamış Doktora Tezi, Bursa.
- Johnson, K., J.M.V., Hoef, K., Krivoruchko, N., Lucas, 2001. Using ArcGIS Geostatistical Analyst, ISBN: 1-58948-006-6, ESRI, USA.
- Köksal, H., 1988. “Çukurova Yöresindeki Yaygın Toprak Serilerinin Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin Değişim Tavrılarının İrdelenmesi”, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Kültürteknik Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Adana.

- Minami, M., 2000. Using ArcMap, ISBN:1-879102-96-X, ESRI, Redlands USA.
- Pebesma, E.J., 1996. "Mapping Groundwater Quality in the Netherlands", PhD Dissertaton, University of Utrecht.
- Shaner, J., Wrightsell, J., 2000. Editing in ArcMap, ISBN: 1-879102-97-8, ESRI, Redlands, USA.
- Wylie, B.K., Shafter, M.J., Brodahl, M.K., Dubois, D., Wagner, D.G., 1994. "Predicting Spatial Distributions of Nitrate Leaching in Noreasthern Colorado", Journal of Soil and Water Conservation, 49:288-293.