

## Doğu Akdeniz Bölgesinde Aylık Yağışların Yersel Değişimlerinin Jeoistatistik Yöntemle İncelenmesi

Mahmut ÇETİN, Kazım TÜLÜCÜ

Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü  
01330 Balcalı, Adana-TÜRKİYE

Geliş Tarihi 13.01.1997

### Özet

Bu çalışmada, Doğu Akdeniz Bölgesi aylık yağışları yersel değişimlerinin jeostatistik yöntemle belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneysel yarıvariogram analizleri sonucunda aylık yağışların belirli bir yapı göstererek küresel tip teorik yarıvariogram modeline uyduğu görülmüş, *Jack-knifing* testleri ile teorik yarıvariogram modellerinin yöreyi temsil edebileceklerine karar verilmiştir. Seyhan ve Asi havzalarında seçilen nokta ve alanlar için *kriging yöntemi* ile uzun yıllık aylık noktasal ve alansal yağış serileri türetilmiştir. Türetilen ve gözlenen noktasal yağış serilerinin homojen ve aynı toplumdandan geldiği % 95 güvenle kabul edilmiştir. Optimimum haritalama tekniği ile, yörenin aylık yağış ve hata haritaları çizilmiştir. Bu haritalar incelenerek gözlem ağı yoğunluğunun yaz aylarında yetersiz, diğer mevsimlerde ise yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Geoistatistik, Aylık Yağışlar, Yarıvariogram Parametreleri, Kriging, Alansal Yağış.

### Determination of Spatial Variability of Monthly Rainfall in the Eastern Mediterranean Region Using Geostatistical Techniques

### Abstract

The aim of this study was to determine the spatial variability of monthly rainfall and generate monthly point and areal rainfall series for the Eastern Mediterranean Region using geostatistical methods. Omnidirectional average monthly experimental semivariograms were plotted. It was concluded that these can be described by a spherical model. The theoretical semivariogram parameters varied significantly from month to month. From a jack-knifing cross validation procedure, it was concluded that these models represent the spatial structure of the rainfall field. Generated punctual kriged rainfall series were not different from the observed ones at a significance level of 5 %. Areal rainfall series were generated for selected subcatchments. Kriging error maps showed that the rainfall observation network is effective for all seasons apart from the summer.

**Key Words:** Geostatistics, Monthly Rainfall, Semivariogram Parameters, Kriging, Areal Rainfall.

### Giriş

Yağış gözlemleri, meteoroloji istasyonlarında noktasal olarak yapılır. Yeryüzünde her noktaya bir gözlem istasyonu kurarak sonsuz sayıda gözlem yapmak ekonomik, teknik ve personel olanakları

yönünden günümüz koşullarında mümkün değildir. Bu nedenle, yağış gözlemleri oldukça sınırlı sayıda istasyonlarda yapılabilmektedir. Yağış gözlemine ihtiyaç duyulan noktalarda genellikle gözlem verisi

bulunamamakta ya da gözlem değerleri eksik olmaktadır. Böyle durumlarda, bazı matematik ve istatistik yöntemlerle eksik veriler tamamlanmakta ve yağış tahminleri yapılabilmektedir.

Su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik çalışmalarda noktasal yağış değerleri yerine, belirli bir alan üzerine düşen ortalama alansal yağış derinliğinin kullanılması tercih edilmektedir (Cretin ve Obled, 1982). Alansal yağış derinliği, noktasal yağış verileri kullanılarak değişik yöntemlerle hesaplanabilir (Singh ve Chowdhury, 1986). Alansal yağış; yağış-akış bağıntılarında, baraj ve gölet gibi su depolama tesislerinin kapasitelerinin belirlenmesinde, taşkına yönelik mühendislik yapılarının boyutlandırılmasında, sulama planlamalarında, su denge bilançosu hesaplamalarında temel girdi olarak kullanılmaktadır (Dingman ve ark., 1988).

Gözlem yapılamayan noktalarda ihtiyaç duyulan alansal ya da noktasal yağış değerleri aritmetik ortalama, Thiessen poligonları, izohiyet eğrileri, trend analizi, regresyon analizi, ters uzaklık metodu,... vb. yöntemlerden biri kullanılarak hesapla tahmin edilebilmektedir. Ancak, bu yöntemler genelde yetersiz, yanlış ve yapılan tahmine ilişkin varyans hakkında bilgi verememektedir (Tabios III ve Salas, 1985).

Jeoistatistiksel yöntemlerle, gözlemlerin yapıldığı noktaların konumları ve gözlemlerarası korelasyon dikkate alınarak yansız ve minimum varyanslı tahminler yapılabilmektedir (Olea, 1982). Yöresel değişkenler teorisinin geliştirilmesini takiben, jeostatistiksel yöntemler yeraltı ve yerüstü suları hidrolojisi konularında hızlı bir şekilde uygulamaya başlanmıştır. Gözlem verilerinin deneysel yarıvariogram yapısının belirlenmesi ve bu yarıvariogram yapısına teorik bir modelin uydurulması jeostatistiksel çalışmaların temelini oluşturmaktadır (Delhomme, 1978).

Noktasal ve alansal yağışın doğru olarak tahmin edilmesi gözlem ağı sıklığına, yağışın yersel değişkenliğine ve bu değişkenliğin göstergesi olan yarıvariogram modelinin doğru olarak belirlenmesine bağlıdır (Bastin ve ark., 1984). Yarıvariogram modelini temel alan *Kriging tekniği* ise, noktasal ya da alansal yağışların tahmininde ve haritalarının oluşturulmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem; diğer yöntemlere kıyasla yansız, minimum varyanslı ve tahmine ait standart sapmanın hesaplanmasına da olanak vermektedir (Deutsch ve Journel, 1992; Abteu ve ark., 1993).

Yarıvariogram modelleri ve kriging teknikleri,

klasik istatistik yöntemler gibi bir tek istasyonun gözlem değerleri ile ilgilenmemekte (Bastin ve Gevers, 1985); bir alan ya da doğrultu üzerinde düzenli veya düzensiz bir şekilde dağılmış, mevcut tüm gözlem istasyonlarının eş zamanlı gözlemleri kullanılmakta ve zaman boyutu yanında yersel değişkenlik boyutu da çalışmaya dahil edilmektedir (Karlinger ve Skrivani, 1980).

Alansal ve noktasal yağış tahminleri ülkemizde genellikle klasik istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Dolayısıyla, çalışma alanının standart sapma haritası çizilemediği için hangi bölgelerde ilave gözlem istasyonuna ihtiyaç duyulduğu veya hangi bölgelerdeki istasyonlarda gözlem yapılmaması gerektiği konusunda da fikir verememektedir. Ayrıca, alansal yağışın belirlenmesinde kullanılan Thiessen poligonları yöntemi yağış karakterini kesinlikli gözönüne almamakta; izohiyet eğrileri yönteminde ise izohiyetler çizilmeden önce bölgedeki gözlem istasyonları verileri arasındaki bağımlılık derecesi ve bağımlılık yapısı hakkında bir ön çalışma yapılmamaktadır.

Bu çalışmada, Doğu Akdeniz Bölgesi ve geçit kuşağında yer alan yağış gözlem istasyonlarının uzun yıllık aylık yağış gözlemleri kullanılarak bölge yağışları yersel değişimlerinin *jeostatistiksel yöntemle* belirlenmesi, gözlemi bulunmayan nokta ve alanlar için *kriging yöntemi* ile aylık yağış serilerinin türetilmesi; *optimum haritalama tekniği* ile bölgenin yağış ve hata haritaları çizilerek yağış gözlem ağı yoğunluğunun yeterli olup olmadığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 1. Materyal ve Metod

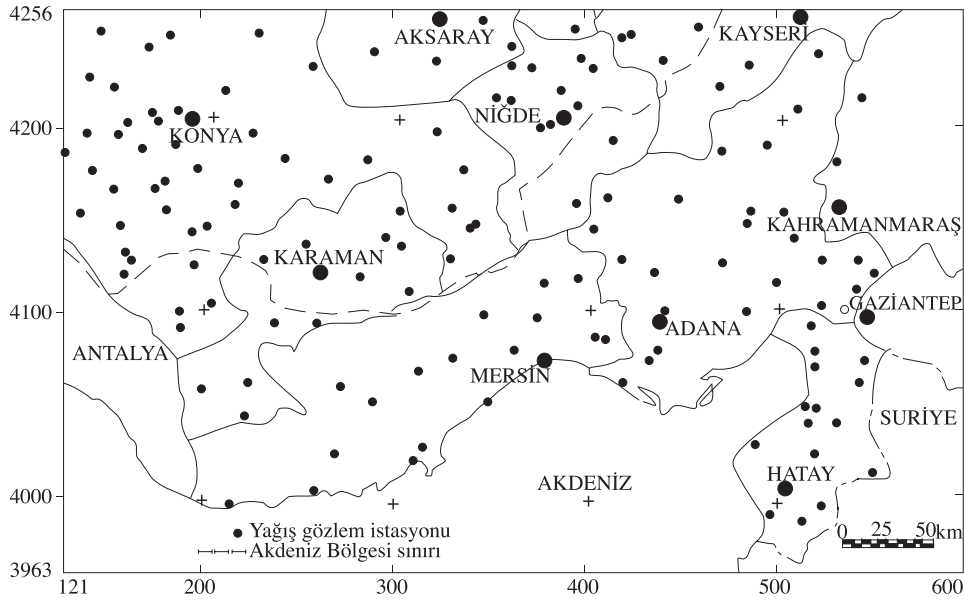
### 1.1. Materyal

*Çalışma alanı*; Türkiye'nin güneyinde, Doğu Akdeniz bölgesinin tamamını ve İç Anadolu bölgesinin bir kısmını kapsar. Çalışma alanında Mersin, Adana, Antakya, Karaman ve Niğde illerinin tamamı; Konya, Aksaray, Nevşehir, Kayseri, Kahramanmaraş ve Gaziantep illerinin ise bir kısmı yer alır.

*Çalışmada kullanılan veriler*; DSİ ve DMİ Genel Müdürlükleri taşra teşkilatlarınca işletilen yağış gözlem istasyonlarının uzun yıllık aylık toplam yağış kayıtlarından alınmıştır. DSİ'den 43 adet, DMİ'den 132 adet olmak üzere toplam 175 adet yağış gözlem istasyonu kullanılmıştır. İstasyonların enlem ve boylam olarak koordinat değerleri, **derece-dakika** biriminden temin edilmiştir. Bu koordinatlar, Gauss-Krüger koordinatlarına bir program yardımı ile

dönüştürülmüş, harita çiziminde eksenler üzerinde yer kazanmak amacı ile km biriminden ifade edilme

yoluna gidilmiştir. Çalışma alanı ve kullanılan istasyonların konumları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma Alanı Genel Konumu ve Kullanılan Yağış Gözlem İstasyonları

## 1.2. Metod

### 1.3. Yarıvariogram Analizi

Üzerinde çalışılan değişkenin yersel bağımlılık yapısı ve bu bağımlılığın bir ölçüsü olan yarıvariogram modelinin belirlenmesi jeostatistikğin temelini oluşturur (Vieira ve ark., 1983). Yağış gözlem istasyonları genellikle bir alan üzerinde düzensiz olarak dağıldığından, gözlem değerlerinin yönsüz (omnidirectional) yarıvariogramlarının oluşturulması önerilmektedir (Englund ve Sparks, 1988).

DeneySEL yarıvariogram değerlerinin gözlemler arasındaki  $h$  uzaklığına bağlı olarak yön gösterilmeksizin hesaplanabilmesi için, Şekil 2’de gösterildiği gibi  $N$  sayıdaki gözlem istasyonunun ikili kombinasyonları (Willerding ve Engelsohn, 1977) oluşturulur.

Oluşturulan gözlem çiftleri arasındaki öklid uzaklıkları  $h$  (veya  $d_{ij}$ ), koordinatlardan gidilerek aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanabilir.

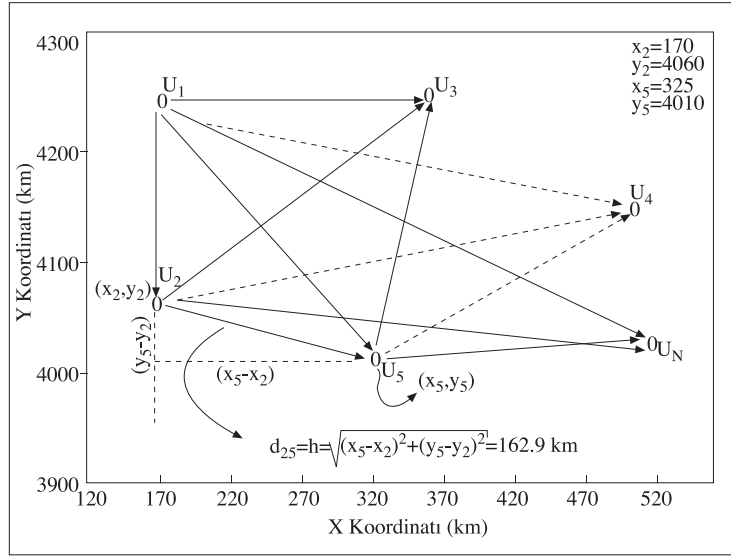
$$d_{ij} = h = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}; \quad (1)$$

$$i, j = 1, 2, 3, \dots, N$$

Bir yöredeki yağış gözlem istasyonlarında gözlenen aylık yağış yükseklikleri yöresel değişken

olarak gözönüne alınabilir. Herhangi bir gözlem istasyonu koordinatı  $u=(x,y)$  ve kesikli ardışık zaman dilimleri  $k$  ile gösterilirse, belirli süreli ardışık  $K$  adet yağış derinliği  $\{p(k_i, u) | i = 1, 2, 3, \dots, K\}$  şeklinde gösterilebilir (Creutin ve Obled, 1982). Sabit bir  $k$  için  $p(k,u)$  gözlemleri,  $R^2$  üzerinde  $P(k,u)$  tesadüfi alanının bir gerçekleşmesi olarak düşünülebilir. Bu alanın yarıvariogram yapısı ve bu yapının belirlenmesi Lebel ve ark. (1987), Kassim ve Kottegoda (1991), Chua ve Brass (1982), Lebel ve Bastin (1985), Bastin ve ark. (1984), Delhomme (1978) tarafından detaylı olarak açıklanmıştır. Böyle bir alana ilişkin  $k$  süreli toplam yağış derinliklerinin deneySEL yarıvariogram değerleri şöyle hesaplanabilir.

İstasyon sayısı,  $N$ , arttıkça  $h$  uzaklığı ve  $\gamma(h)$  değerinin grafik üzerinde gösterimi güçleştiğinden, uygun sınıf aralıkları belirlenerek (Bastin ve ark., 1984) frekans analizi yapılır. Sınıf orta değerleri kullanılarak deneySEL yarıvariogramların oluşturulması yoluna gidilir. Hidrolojik verilere ilişkin deneySEL yarıvariogram yapıları genellikle doğrusal, üstsel, Gauss ya da küresel tip teorik yarıvariogram modellerinden biri ile tanımlanabilmektedir. Küresel tip teorik yarıvariogram modeli aşağıdaki şekilde deyimlenmektedir (Delhomme, 1978).



Şekil 2. İkili Gözlem İstasyonu Kombinezonlarının Oluşturulması

$$\gamma(k, u_i, u_j) = \frac{1}{2} E[\{p(k, u_i) - p(k, u_j)\}^2]; \quad (2)$$

$$i, j = 1, 2, 3, \dots, N$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases} \quad (3)$$

Deneyisel yarıvariogram yapısına en iyi uyum gösteren teorik yarıvariogram modeli ve parametreler belirlenerek yarıvariogram analizi tamamlanır.

#### Noktasal Yağış Tahminlerinin Yapılması (Noktasal Kriging)

Aylık yağışlara ilişkin yarıvariogram yapısı belirlendikten sonra, bir  $u_0$  noktası için yansız ve minimum varyanslı tahmin yapılabilir. Yapılan  $\hat{p}(u_0)$  tahmin değeri,  $P(u)$  nümerik fonksiyonunun  $u_0$  noktasındaki değerini vereceğinden, gözlenmiş değerlerin doğrusal toplamı olarak aşağıdaki denklemde verildiği gibi hesaplanabilir (Olea, 1975).

$$\hat{p}(u_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i p(u_i) \quad (4)$$

$\lambda_i$  değerleri, *kriging denklem sistemi* olarak bilinen aşağıdaki denklem takımının çözümünden elde edilen ağırlık katsayılarıdır (Burgess ve Webster, 1980a).

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(d_{ij}) + \mu &= \gamma(d_{oj}); \\ i, j &= 1, 2, 3, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Minimum tahmin varyansı (Burgess ve Webster, 1980b)  $\sigma_E^2$  ise;

$$\sigma_E^2 = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(d_{oi}) \quad (6)$$

şeklinde hesaplanabilir.

#### Ortalama Alansal Yağışın Optimal Tahmini (Blok Kriging)

Çalışmalarda genellikle noktasal değerler yerine, incelenen değişkenin belirlenmiş bir alan üzerindeki ortalama değerinin kullanılması tercih edilmektedir. Böylece, noktasal kriging yönteminin bazı sakıncaları giderilebilmektedir (Karlinger ve Skrivan, 1980; Burgess ve Webster, 1980b). Bir havzayı veya havza içerisindeki bir alt bölgeyi temsil eden A alanı üzerindeki ortalama alansal yağış derinliği  $A(k)$ , nümerik bir yaklaşımla M sayıdaki kesikli veri kullanılarak,

$$A(k) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M p(k, u_{N+j}) \quad (7)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

Nümerik çözüm için, blok üzerinde karelerden oluşan M adet grid noktası oluşturulur. Grid noktaları  $N+1$ 'den  $N+M$ 'ye kadar numaralandırılır ve her grid noktasının yağış değeri standart sapması ile birlikte hesaplanır (Delhomme, 1978; Karlinger ve Skrivan, 1980; Bastin ve ark., 1984).

## Aylık Yağışların Kriging Yöntemi ile Haritalanması

Aylık yağışların alan üzerindeki değişimlerinin ortaya konması, ancak iki ya da üç boyutlu olarak haritalanması ile mümkün olabilmektedir. Klasik yöntemlerle eş yağış eğrilerinin çiziminde yağışların yersel değişimi ve bu değişimi etkileyen faktörler gözönüne alınmamaktadır. Ayrıca, gözlem istasyonları arasındaki noktaların değerleri doğrusal enterpolasyonla sadece iki istasyon verisi kullanılarak tahmin edilmekte, çizilen haritaların güven sınırları hakkında herhangi bir bilgi elde edilememektedir. *Kriging tekniği* (Olea, 1975) kullanılarak yağış haritalarının çizimindeki bu olumsuzluklar giderilebilmektedir.

## Araştırma Bulguları ve Tartışma

*Yarıvariogram Modelleri:* Çalışma alanındaki 175 yağış gözlem istasyonunun yön gözetilmeksizin ikili kombinezonları oluşturulmuş; her bir istasyon çiftinin aralarındaki  $h$  uzaklığı ve  $\gamma(h)$  deneysel yarıvariogram değerleri hesaplanmıştır. Toplam 15 225 uzaklık değeri ve bu uzaklıklara karşılık her ay için hesaplanan yarıvaryans değerleri elde edilmiştir. İstasyonlar arası uzaklıklar esas alınarak incelenen aya ilişkin yarıvariogram değerleri sıraya dizilmiştir. Hesaplanan çok sayıdaki uzaklık ve yarıvaryans değerlerinin karşılıklı olarak grafiklenmesi teknik olarak mümkün olmamıştır. Bu nedenle; 0-5, 5-10, 10-15 ve 15-20 km sınıf aralıkları (Bastin ve ark., 1984; Bastin ve Gevers, 1985) oluşturulmuş, sınıfların ortalama uzaklık ve yarıvaryans değerleri hesaplanmıştır. Her sınıfın ortalama  $h$  ve  $\gamma(h)$  değerleri karşılıklı olarak grafiklenerek deneysel yarıvariogramın şekli incelenmiş, çalışma alanını temsil edebilecek en iyi aylık yarıvariogram şeklinin 0-5 km sınıf aralığı kullanılarak elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışma alanı için her aya ilişkin hesaplanan ortalama  $h$  ve  $\gamma(h)$  değerleri grafiklenerek çalışma alanını temsil eden aylık deneysel yarıvariogramlar elde edilmiştir. Örnek olarak; ocak, nisan, temmuz ve ekim ayları için elde edilen deneysel aylık yarıvariogramlar Şekil 3'te sunulmuştur. İnceleme sonucunda; şekilsel olarak aylık deneysel yarıvariogram yapılarına küresel tip teorik yarıvariogram modelinin uygun olduğuna karar verilmiş ve küresel tip modelin parametreleri belirlenerek Tablo 1'de verilmiştir.

Her ay için belirlenmiş olan teorik yarıvariogram parametrelerinin çalışma alanını temsil edip ede-

meyeceği *jack-knifing* yöntemi (Vieira ve ark., 1983) uygulanarak  $\chi^2$  ve  $t$  testi ile kontrol edilmiştir. Test sonucunda, belirlenen aylık yarıvariogram modellerinin bölgeyi temsil edebileceğine % 5 önem düzeyinde karar verilmiştir.

Aylık yağışlar, diğer doğa olayları gibi ratgele karakter taşımaktadır. Bu yüzden, belirlenen aylık yarıvariogram modelleri kontrolsuz etki varyansı ( $C_0$ ) içermiştir. Bu varyansın toplam varyansa ( $C_0 + C_1$ ) oranı ocak ayında % 0.9 ile minimum, temmuz ayında % 28.6 ile maksimum düzeyde bulunmuştur. Genellikle yağışlı periyotta kontrolsuz etki varyansı azalmış, kurak periyotlarda ise önemli ölçüde artışlar göstermiştir. Aylık yarıvariogram modelleri için hesaplanan yapısal varyansların toplam varyans içindeki oranı ocak ayında % 99.1 ile maksimum, temmuz ayında ise % 71.4 ile minimum bulunmuştur.

Gözlem istasyonlarının yersel olarak bağımlı olabileceği maksimum uzaklıklar Tablo 1'den görüldüğü gibi ekim, kasım ve aralık aylarında 200 km'nin üzerinde; ocak, şubat, mart, nisan ve mayıs aylarında 145-200 km arasında; haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında 25-83 km arasında değişmektedir. Çalışma alanı için minimum etki uzaklığı ağustos ayında 25.4 km olarak bulunmuştur.

Aylık yarıvariogramların etki uzaklığında ulaştığı toplam varyans (eşik değer, sill değeri ya da tepe varyansı) genellikle o aya ilişkin genel varyans civarında bulunmuş; bu değer bahar ve kış aylarında yüksek, yaz aylarında ise oldukça düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).

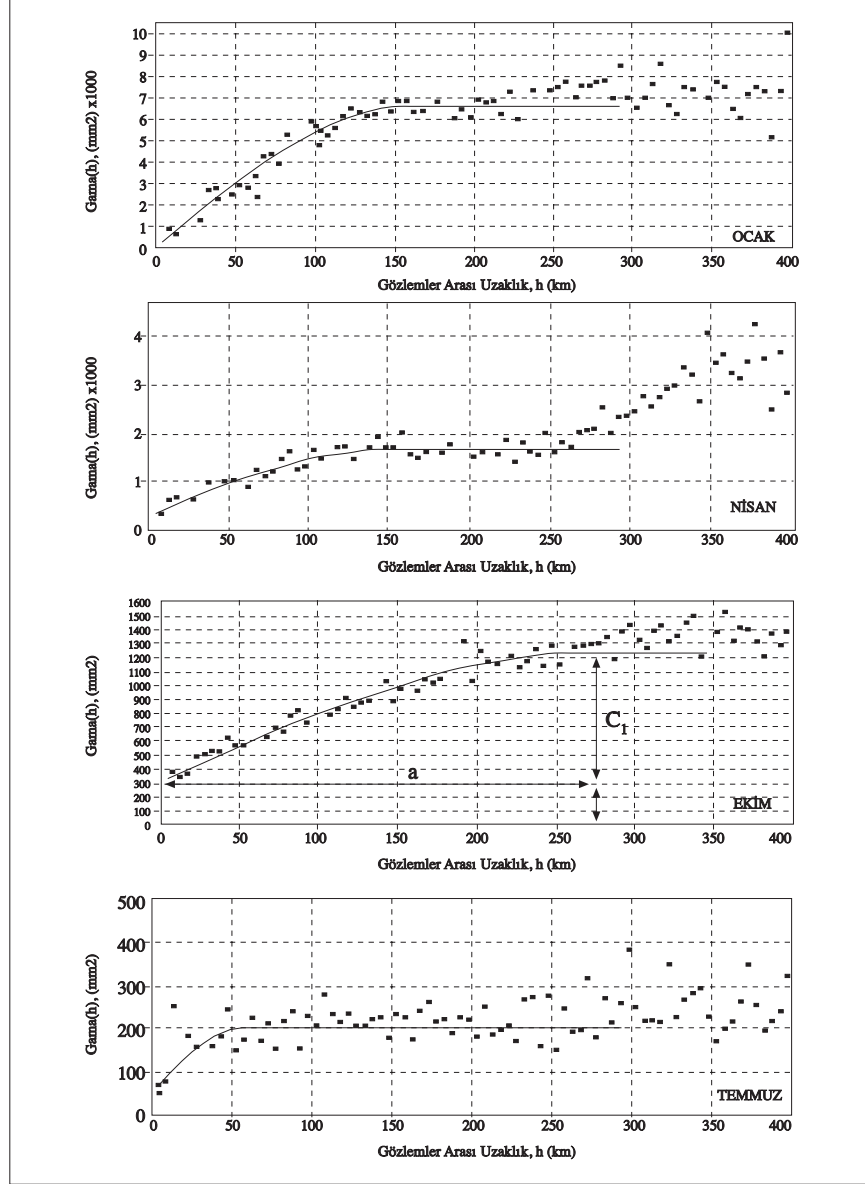
*Noktasal Yağış Tahminleri:* Çalışma alanında herhangi bir noktada ihtiyaç duyulan aylık noktasal yağış derinliğinin noktasal kriging yöntemi ile güvenli bir şekilde tahmin edilebileceği, Seyhan ve Asi havzalarında örnek uygulamalar yapılarak gösterilmiştir. Bu amaçla; Seyhan havzasında Tarsus Araştırma Enstitüsü (Tarsus A.E.) yağış gözlem istasyonu, Asi havzasında ise Serinyol DMI yağış gözlem istasyonu seçilmiş; bu istasyonlarda yağış gözlemlerinin yapılmadığı varsayılarak Tarsus A.E. yağış gözlem istasyonunun 1951-1993 yılları, Serinyol DMI yağış gözlem istasyonunun ise 1965-1985 yılları arasındaki aylık noktasal yağış değerleri noktasal kriging yöntemi ile tahmin edilmiştir.

Her iki istasyonun gözlenen ve tahmin edilen aylık yağış serilerinin istatistiki anlamda aynı toplumdaki gelip gelmediği *Eş Yapma Yöntemi* (Haan, 1979) ile kontrol edilmiştir. Gözlenen ve noktasal tahmin serisi varyans ve ortalamalarının % 5 önem düzeyinde aynı olduğu, dolayısı ile belirlenen

yarıvariogram modelleri kullanılarak çalışma alanı içindeki yağış gözlemi olmayan başka noktalar için de uzun yıllık aylık yağış serilerinin % 95 güvenle tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bu analizlere ek olarak, tahmin edilen ve gözlenen aylık yağışlar arasındaki farkın (hatanın)

dağılımı da incelenmiş, bu hataların normal dağılıma uyduğu görülmüştür. Garen ve ark. (1994) çalışmalarında aynı analizi yaparak, kurulan modelin bu şekilde sistematik hata içermediğine karar verilebileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 3. Çalışma Alanı İçin Belirlenen Aylık Yarıvariogramlar

*Alansal Yağış Tahminleri:* Bu çalışma, yaklaşık olarak 127 000 km<sup>2</sup> büyüklüğündeki bir alan üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı büyük olduğundan dolayı, bu alanın tamamında aylara

göre alansal yağış tahmini yapılması yerine, seçilecek örnek havzalar için alansal yağışın belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Bu amaç doğrultusunda Seyhan havzasında Tarsus Ovası (Tarsus A.E. yağış gözlem

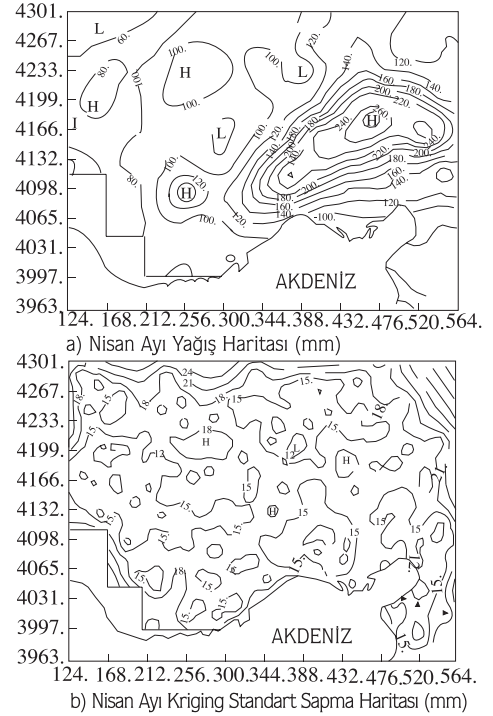
istasyonuna merkezlenmiş 20×20 km boyutundaki bir alan) ve Asi havzasında ise Serinyol Kırıkhan ve Reyhanlı DMİ yağış gözlem istasyonlarını içine alan 25×25 km boyutundaki (yaklaşık olarak Amik ovasını kapsayan) iki örnek alan seçilmiş; bu alanlara ilişkin uzun yıllık aylık alansal yağışlar alansal kriging yöntemi ile belirlenmiştir.

Her iki havza için elde edilen aylık alansal yağış değerleri ile bu alanlar içerisinde kalan istasyonların aylık gözlenen noktasal yağışları birlikte grafiklenmiş; hesaplanan aylık alansal yağış piklerinin, gözlenen noktasal yağışlara göre daha düşük ve eğrinin gidişinin yumuşatılmış bir seyir izlediği görülmüştür. Bunun nedeni, alansal tahminlerde tahminin varyansından alan içerisindeki blok varyansının çıkartılması ve sonuçta noktasal tahmin varyansına göre daha düşük bir varyansla tahmin yapılması (Burgess ve Webster, 1980b) gösterilebilir. Özellikle kontrolsüz etki varyansının toplam varyans içindeki oranı yüksek olduğu durumlarda (Tabios III ve Salas, 1985), alansal tahminlerin noktasal tahminlere göre daha güvenilir olacağı bildirilmektedir.

*Aylık Yağışların Kriging Yöntemi İle Haritalanması:* Bu çalışma sonucunda, çalışma alanının aylık yağış ve hata haritaları optimum haritalama tekniği olarak bilinen kriging tekniği ile çizilmiştir. 1975 yılı Nisan ayına ilişkin hazırlanan yağış ve hata haritası örnek olarak Şekil 4'te sunulmuştur. Çalışma alanında yüksek yağış alan bölgeler (H) ve düşük yağış alan bölgeler (L) sembolleri ile temsil edilmiştir.

Şekil 4'ten görüleceği üzere, kriging standart sapma değerlerinin yüksek olduğu bölgeler genellikle çalışma alanının sınırında ve yağış gözlem istasyonların yoğun olmadığı yörelerde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, ilave gözlem istasyonlarına gereksinim

duyulan bölgeler yüksek standart sapma değerleri ile karakterize edilmiştir. Bu nedenle, bu bölgelerde yapılacak yağış tahminlerinin güven sınırlarının azalacağı açıktır. Diğer aylara ilişkin hazırlanan yağış ve kriging standart sapma haritalarının incelenmesinden, yaz aylarındaki yağışların birbirinden bağımsız olması nedeni ile haritalanamadığı, yaz yağışlarının haritalanabilmesi için yaz aylarında gözlem ağı yoğunluğunun artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. Çalışma Alanı Yağış ve Kriging Standart Sapma Haritası (Nisan/1975)

Tablo 1. Küresel Tip Yarıvariogram Modeli Parametrelerinin Aylara Göre Değişimi

Aylar	Kontrolsüz Etki Varyansı		Yapısal Varyans		Etki Uzaklığı, a (km)
	$C_0$	%	$C_1$	%	
Ocak	60.7	0.9	6582.0	99.1	162.7
Şubat	188.9	7.8	2222.0	92.2	185.0
Mart	295.7	14.5	1741.0	85.5	199.8
Nisan	320.6	19.3	1337.0	80.7	147.4
Mayıs	195.2	18.9	839.0	81.1	152.2
Haziran	104.8	18.7	456.7	81.2	83.4
Temmuz	57.2	28.6	143.0	71.4	54.5
Ağustos	44.0	20.1	175.0	79.9	25.4
Eylül	27.9	7.8	332.0	92.2	39.2
Ekim	306.3	24.9	924.0	75.1	273.2
Kasım	264.7	10.6	2230.0	89.4	229.0
Aralık	264.4	3.7	6934.0	96.3	255.0

## Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada; noktasal ve alansal kriging tekniği ile aylık yağışların saptanması, optimum haritalama tekniği ile aylık yağış ve hata haritalarının çizilmesi, bu haritalar kullanılarak çalışma alanında yağış gözlem ağının yeterli olup olmadığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada, Doğu Akdeniz bölgesi ve geçit kuşağında yaklaşık 127 000 km<sup>2</sup> lik bir alan üzerinde bulunan, düzensiz olarak dağılmış 175 adet yağış gözlem istasyonunun uzun yıllık aylık yağışları kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda, aylık yağışların yersel olarak bağımlı olduğu ve bu bağımlılığın bir göstergesi olan aylık deneysel yarıvariogramlara teorik olarak en iyi küresel tip yarıvariogram modelinin uyduğu  $\chi^2$  ve *t* testi ile % 5 önem düzeyinde saptanmıştır.

Belirlenen bu aylık yarıvariogram modelleri kullanılarak, çalışma bölgesinde seçilen örnek nokta ve alanlar için uzun yıllık aylık noktasal ve alansal yağış serileri kriging yöntemi ile türetilmiştir. Gözlenen ve türetilen noktasal yağış serilerinin eş yapma yöntemi ile % 5 önem düzeyinde aynı toplumdaki geldiği belirlenmiştir.

Optimum haritalama tekniği ile, çalışma alanının aylık yağış ve kriging standart sapma (hata) haritaları çizilmiştir (Şekil 4a). Aylık alan yağış haritaları üzerinde yüksek ve düşük yağış bölgeleri belirlenmiştir. Yağış tahminlerine ilişkin güven

sınırlarının hesaplanmasında kullanılacak **kriging standart sapma haritaları** (Şekil 4b) oluşturulmuştur. Buna göre, çalışma alanı geçit bölgesi ve çalışma alanının doğu sınırında kriging standart sapma değerlerinin arttığı, dolayısı ile güven sınırlarının azaldığı görülmektedir. Bu da, istasyon sayısının o bölgelerde yetersiz olduğu anlamına geldiğini vurgulamaktadır. Bu alanlar, bir anlamda istasyon tesisinde öncelikli yöreleri göstermektedir. Ayrıca; burada verilemeyen diğer aylara ilişkin yağış haritalarının incelenmesi ile yaz yağışlarının daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için gözlem istasyonu sayısının artırılması sonucuna varılmıştır.

Gerektiğinde bu çalışma ile elde edilen sonuçlar kullanılarak alan içerisinde herhangi bir nokta ya da alanda yağış tahmini yapılabilir, eksik yağış verileri tamamlanabilir, bölge yağış haritaları yeniden çizilebilir.

## Öneriler:

- 1) Çalışmaya yükselti de dahil edilerek burada konu edilemeyen Co-kriging yöntemi ile yağış dağılımları yeniden incelenebilir.
- 2) Jeostatistik yöntem diğer hidrolojik verilere (ör.sıcaklık...) uygulanabilir.
- 3) Diğer değişik zaman süreli yağışlara uygulanarak yağış-akış çalışmalarında veri sağlamada kullanılabilir.

## Semboller Tablosu

a	=	Küresel tip yarıvariogram etki uzaklığı (range) (km),	<i>i, j</i>	=	Gözlem istasyonları konum indisleri,
A(k)	=	Bir havza için hesaplanan ortalama alansal yağış yüksekliği (mm),	k	=	Yağışın gözlemlendiği kesikli zaman dilimi (ay),
<i>C</i> <sub>0</sub>	=	Küresel tip yarıvariogram kontrolsuz (Nugget) etki bileşeni (mm <sup>2</sup> ),	K	=	Bir istasyondaki k süreli ardışık yağış derinlikleri sayısı,
<i>C</i> <sub>1</sub>	=	Küresel tip yarıvariogram yapısal varyans bileşeni (mm <sup>2</sup> ),	M	=	Bir havzanın alansal yağışının belirlenmesinde oluşturulan grid sayısı,
<i>C</i> <sub>0</sub> + <i>C</i> <sub>1</sub>	=	Toplam varyans (tepe varyansı ya da sill değeri) (mm <sup>2</sup> ),	n	=	Noktasal veya alansal yağış tahmininde kullanılan istasyon sayısı,
<i>d</i> <sub><i>i, j</i></sub> , h	=	<i>i</i> ve <i>j</i> gözlem istasyonları arasındaki Öklid uzaklığı (km),	N	=	Çalışmada kullanılan toplam istasyon sayısı,



$p(k_i, u)$	= u noktasındaki yağış gözlem istasyonunun k süreli ardışık yağış derinlikleri (mm),	$\gamma(d_{oj})$	= Noktasal krigingde, tahmin yapılan "o" notası ile j istasyonu arasındaki uzaklığın bir işlevi olarak, aylık teorik yarıvariogram modelinden hesaplanan ortalama yarıvariogram değeri ( $\text{mm}^2$ ),
$\hat{p}(u_0)$	= Herhangi bir $u_0$ noktası için tahmin edilen noktasal kriging yağış derinliği (mm),	$\gamma(h)$	= h uzaklığı için hesaplanan ortalama deneysel yarıvariogram ( $\text{mm}^2$ ),
$P(k,u)$	= Bir A alanı üzerinde, k süreli yağışın oluşturduğu tesadüfi alan fonksiyonu,	$\gamma(k, u_i, u_j)$	= k süreli bir yağış için, i ve j istasyonlarının hesaplanan ortalama deneysel yarıvariogram değeri ( $\text{mm}^2$ ),
$u$	= (x,y) koordinatlı yağış gözlem istasyonu,	$\lambda_i$	= Kriging denklem sistemi ağırlık katsayıları,
$u_i, u_j$	= sırasıyla i inci ve j inci gözlem istasyonu koordinatları (km,km),	$\mu$	= Lagrange çarpanı,
$x,y$	= $R^2$ düzleminde bir noktanın sırası ile apsis ve ordinat değerleri (km),		
$\sigma_E^2$	= Kriging tahmin varyansı,		

### Kaynaklar

- Abtew, W., Obeysekera, J., and Shih, G., "Spatial Analysis for Monthly Rainfall in South Florida", Water Resources Bulletin, 29, 2, 179-188, 1993.
- Bastin, G., Lorent, B., Duque, C., and Gevers, M., "Optimal Estimation of the Average Areal Rainfall and Optimal Selection of Raingage Locations", Water Resources Research, 20, 4, 463-470, 1984.
- Bastin, G., and Gevers, M., "Identification and Optimal Estimation of Random Fields From Scattered Point-Wise Data", Automatica, 21, 2, 139-155, 1985.
- 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, 1980a.
- 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, 1980b.
- Chua, S.H. and Bras, R.L., "Optimal Estimators of Mean Areal Precipitation in Regions of Orographic Influence", J. Hydrol., 57,23-48, 1982.
- Creutin, J.D. and Obled, C., "Objective Analysis and Mapping Techniques for Rainfall Fields: An Objective Comparison", Water Resources Research, 18, 2, 413-431, 1982.
- Delhomme, J.P., "Kriging in the Hydrosciences", Advances in Water Resources, 1, 5, 1978.
- Deutsch, C.V. and Journel, A.G., "Geostatistical Software Library and User's Guide", Oxford University Press, Inc., New York, 1992.
- Dingman, S.L., Seely-Reynolds, D.M., and Reynolds III, R.C., "Application of Kriging to Estimating Mean Annual Precipitation in a Region of Orographic Influence", Water Resources Bulletin, 24, 2, 329-339, 1988.
- Englund, E. and Sparks, A., "GEOEAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) User's Guide", EPA, Las Vegas, NV, 1988.
- Garen, D.C., Johnson, G.L., and Hanson, C.L., "Mean Areal Precipitation for Daily Hydrologic Modeling in Mountainous Regions", Water Resources Bulletin, 30, 3, 481-491, 1994.
- Haan, C.T., "Statistical Methods in Hydrology", The Iowa State University Press, AMES, 1979.
- Karlinger, M.R. and Skrivan, J.A., "Kriging Analysis of Mean Annual Precipitation, Powder River Basin, Montana and Wyoming", U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations 80-50, Tacoma-Washington 98402, 1980.
- Kassim, A.H.M., and Kottegoda, N.T., "Rainfall Network Design Through Comparative Kriging

Methods”, *Journal of Hydrological Sciences*, 36, 3, 223-240, 1991.

Lebel, T., Bastin, G., Oblet, C. and Creutin, J.D., “On the Accuracy of Areal Rainfall Estimation: A Case Study”, *Water Resources Research*, 23, 11, 2123-2134, 1987.

Lebel, T. and Bastin, G., “Variogram Identification By the Mean-Squared Interpolation Error Method With Application to Hydrologic Fields”, *Journal of Hydrology*, 77,31-56, 1985.

Olea, R.A., “Optimum Mapping Techniques Using Regionalized Variable Theory”, *Kansas Geological Survey, Series on Spatial Analysis*, 2, Lawrence, Kansas, 1975.

Olea, R.A., “Optimization of the High Plains Aquifer Observation Network, Kansas”, *Kansas*

*Geological Survey, Groundwater Series*, No. 7, Lawrence, Kansas, 1982.

Singh, V.P. and Chowdhury, P.K., “Comparing Some Methods of Estimating Mean Areal Rainfall”, *Water Resources Bulletin*, 22, 2, 275-282, 1986.

Tabios III, G.Q., and Salas, J.D., “A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Interpolation of Precipitation”, *Water Resources Bulletin*, 21, 3, 365-380, 1985.

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.

Willerding, M.F. and Engelsohn, H.S., “Mathematics: The Alphabet of Science”, *John Wiley & Sons, Inc.*, Canada, 1977.