

## Yağışın zaman ve mekânda dağılımının elde edilmesi

Pınar ASLANTAŞ<sup>\*1</sup>, Zuhâl AKYÜREK<sup>2</sup>, Gerard HEUVELINK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Van

<sup>2</sup> ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

<sup>3</sup> Wageningen University, Hollanda

Makale Gönderme Tarihi: 08.10.2015

Makale Kabul Tarihi: 15.06.2016

### Öz

*İklim ve hidroloji açısından yağışın çok önemli bir parametre olduğu düşünüldüğünde, bu parametrenin mekânsal ve zamansal dağılımının ve değişiminin incelenmesi gelecekteki iklim koşulları ve su kaynakları hakkında faydalı fikirler verebilir. Bu nedenle yağışın zamansal, mekânsal ve mekânsal-zamansal dağılımlarının doğru bir şekilde haritalanması hidrolojide, iklim biliminde, tarım biliminde, ekolojide ve diğer çevre bilimlerinde birçok uygulamada önemlidir. Bu çalışmada Türkiye'nin toplam yıllık ve uzun yıllar toplam yıllık yağış değerlerinin mekânsal-zamansal dağılımları ve değişimleri analiz edilmiştir. Çalışmanın ana veri kaynağı meteorolojik istasyonlarda ölçülmüş aylık yağış değerleri ve bununla mekânsal olarak ilişkili geniş kapsamlı veri setleridir. Bunlar yükseklik, yüzey pürüzlülüğü, deniz kıyısına mesafe, akarsu yoğunluğu, baki, arazi kullanımı ve ekolojik bölge olarak belirlenmiştir. Fırat havzasının yıllık yağış değerlerine "mekân-zaman Sıradan Kriging" ve "mekân-zaman Evrensel Kriging" yöntemleri kullanılmıştır. Enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması 10 gruplu çapraz sağlama yöntemi ile yapılmıştır. Doğruluk değerlendirmesi işlemi Kare Kök Ortalama Hata (RMSE) ve R-kare ( $r^2$ ) istatistiksel ölçütler kullanılarak yapılmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Yağış; Zamansal değişim; Mekânsal enterpolasyon; Mekân-zaman enterpolasyon

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Pınar ASLANTAŞ. pınaraslantas@yyu.edu.tr; Tel: (+90) 444 50 65 (22651)

## Giriş

Belirli bir değişkenin alansal dağılımını belirlemek ve bu dağılımı haritalamak için yeterli sayıda düzgün dağılmış gözlemlere ihtiyaç vardır. Fakat çevresel değişkenlerin dünya üzerinde her yerde ölçülebilmesi veya dünya üzerindeki belli bir bölgenin her yerinde ölçülebilmesi mümkün değildir. Uzaktan algılama sensörler ile dolaylı yapılan ölçümler mekânsal dağılımın belirlenmesinde yardımcı olmakla birlikte kullanılan sensörlerin mekânsal ve zamansal çözünürlükleri sınırlı kalmakta ve dağılımı yapılan değişkenin istenilen hassasiyette ifade edilebilmesini mümkün kılamamaktadır. Bu nedenle pek çok pratik uygulamada kısıtlı yersel ölçümlerden mekânsal dağılımın elde edildiği yöntemler kullanılmaktadır. Çevresel değişkenlerin ölçüm yapılmayan noktalarda belirlenebilmesi için basit ve karmaşık mekânsal enterpolasyon metodları geliştirilmiştir. Geçmişte bu teknikler sadece noktadaki direk ölçümleri kullanmaktaydı, fakat son zamanlarda bu tekniklerin çoğu mekânsal yardımcı bilgiyi mekânsal enterpolasyonda ortak değişken olarak kullanılmaktadır (Bostan vd., 2012; Hengl vd., 2004; Carrera-Hernandez ve Gaskin, 2007; Heuvelink, 2006;). Bu aynı zamanda mekânsal yağış dağılımının da haritalanmasında kullanılmaktadır. Yağış önemli bir çevresel değişkendir ve günlük (Carrera-Hernandez ve Gaskin, 2007; Kyriakidis vd., 2001;), aylık (Lloyd, 2005) ve yıllık (Martinez-Cob, 1996) toplam yağışın mekânsal dağılımı yapılır. Birçok çalışmada radar görüntüleri, yük: veya arazi kullanımı gibi ikincil veriler ile arasındaki ilişki kullanıldığında sadece yağış kullanılarak yapılan enterpolasyon çalışmalarına göre daha doğru sonuçların elde edildiği belirtilmektedir (Bostan vd., 2012, Lloyd, 2005).

Bu çalışmada yağış değerlerinin mekânsal ve zamansal dağılımını yapmada yardımcı veriler kullanılmıştır. Yağış ile ilgili olduğu düşünülen 7 adet ikincil veri mekânsal enterpolasyonda kullanılmıştır. Bu veriler yükseklik, arazi pürüzlülüğü, deniz kıyısına olan uzaklık, nehir

yoğunluğu, bakı, arazi kullanım sınıfları ve ekobölgelerdir. “Mekân-zaman Sıradan Kriging” ve “Mekân-zaman Evrensel Kriging” metodları uzun yıllar ortalama yağış değerleri kullanılarak uygulanmış ve Türkiye'nin en büyük havzası olan Fırat havzasında mekânsal yağış dağılımı belirlenmiştir. Uygulanan metodların başarısı ortalama Kare Kök Ortalama Hata ve korelasyon katsayısı istatistiksel ölçütleri ile belirlenmiştir.

## Metodoloji ve Çalışma Alanı

### Metodoloji

Mekân ( $s$ ) ve zamanda ( $t$ ) değişen bir  $z$  değişkenini ele alalım.  $N$  mekân-zaman  $(s_a, t_a)$ ,  $a=1, \dots, n$ . noktalarında  $z$  değişkeninin ölçüldüğünü düşünelim. Bu  $z$  değişkeninin her bir noktada ve zamanda ölçülmesi pratik olarak mümkün değildir. Bu değişkenin mekân-zamanda dağılımının tam olarak belirlenebilmesi için  $z$  değişkeninin enterpolasyonu yapılmalıdır. Mekân-zaman enterpolasyonun asıl amacı  $z(s_a, t_a)$ 'nın  $z$ 'nin ölçülmediği herhangi bir noktada  $(s_a, t_a)$  belirlenmesidir.  $z$  değişkeninin mekân-zaman bağımlılığı yapısını tutan rastgele fonksiyon  $Z$  için kabul edilen mekân-zaman modeli kullanılarak mekân-zaman ölçümlerinden  $z(s_a, t_a)$  elde edilebilir. Rastgele  $Z$  fonksiyonu deterministik ve stokastik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır:

$$Z(s, t) = m(s, t) + V(s, t) \quad (1)$$

$m$  rastgele değişken fonksiyonun deterministik kısmını ve büyük ölçek mekân-zaman değişimini belirtir.  $V$  stokastik kısmı belirtir ve sıfır ortalama artık ile küçük-ölçek zaman-mekân değişimini oluşturur (Heuvelink ve Griffith, 2010, Kyriakidis ve Journel, 1999). Buna ek olarak eğilim  $m$ ,  $Z$  fonksiyonunun bir parçası olarak ikincil bilgiler kullanılarak ifade edilir.  $Z$  fonksiyonunun eğilim ve artıklar olarak ifade edilmesi seçeneklerden biridir ve modellemede farklı seçenekler de kullanılabilir. Eğilim ve artıklar elde edildiğinde mekân-

zaman kriging mekânsal kriging yöntemlerinde olduğu gibi oluşturulur. Mekân-zaman Kriging'i gelecekteki ölçümler aynı variogram kullanılarak ağırlandırıldıkları için geçmiş ve şimdiki ölçümleri etkilerler (Snepvangers vd, 2003).

Örnek mekân-zaman variogram, veriye toplam-metrik modeli kullanılarak uygulanır ve eksponansiyel fonksiyonlar mekân, zaman ve mekân-zaman kısımları için kullanılır. Her birinin nugget, sill ve aralık parametreleri vardır. Mekân-zaman variogramı bunlara ek olarak anizotropi oranı olarak isimlendirilen bir parametreye sahiptir. Mekân-zaman anizotropi oranı  $\alpha$  kullanılarak mekân ve zamandaki mesafeler tek bir mekân-zaman mesafesine indirgenebilir (Heuvelink ve Griffith 2010, Snepvangers vd.. 2003).

### Variogram Modelleme

Kriging yönteminde, en uygun ağırlıkları bulmak için, gözlem noktaları arasındaki mekânsal bağımlılığın bilinmesi gerekir. Bu mekânsal bağımlılık ya bir kovaryans fonksiyonu ya da bir variogram fonksiyonu kullanmak suretiyle tanımlanabilir (İnal ve Yiğit, 2003).

Variogram, uzayda farklı noktalardaki değişkenler arasında var olan bağımlılığı karakterize eden bir fonksiyondur. Kriging yöntemiyle bir noktadaki ondülasyonu hesaplamak için öncelikle kriging ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Kriging ağırlıkları ise variogram modelinin doğrudan bir fonksiyonudur. Enterpolasyonda kriging yöntemi kullanılacaksa çalışmanın veri kaynağını oluşturan ölçüm noktalarından yararlanarak deneysel variogram modeli oluşturulur. Elde edilen bu deneysel variogram modelinden yararlanarak teorik modele ait bilinmeyen parametreler belirlenir. Kriging yöntemiyle belirlenen ağırlıklar, seçilen variogram fonksiyonuyla doğrudan ilişkilidir (İnal ve Yiğit, 2003).

Yarı-varyans sabit mesafe bölümlerine (lag) ayrılmış bütün olası noktalar arasındaki

farkların varyanslarının yarısıdır (Isaaks ve Srivastava 1989). Yarı-varyans örneklemeler arasındaki mekânsal bağımlılık derecesinin bir ölçütüdür (İnal ve Yiğit, 2003). Yarı-varyans şu şekilde hesaplanır:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{h_{ij}}^{N(h)} (Z(x_i, y_i) - Z(x_j, y_j))^2 \quad (2)$$

$$h_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

$h_{ij}$   $i$  ve  $j$  noktaları arasındaki yatay uzaklık

$N(h)$   $h$  uzunluğundaki nokta çiftleri sayısı

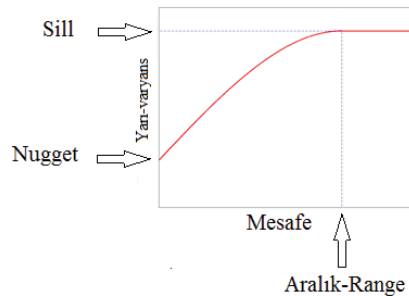
$Z_i$   $i$  noktasındaki ölçüm değeri

$Z_j$   $j$  noktasındaki ölçüm değeri

$\gamma(h)$   $h$  uzunluğundaki yarı-varyans değeri

Variogram değerleri belirli bir mekânsal aralık (lag) mesafesinde yatay eksen üzerinde artık değişmemeye başlar. Bu değerden sonra veriler artık birbiri ile korelasyonsuzdur. Variogramın yatay eksenindeki bu değer *aralık* ya da *range* olarak tanımlanır (İnal ve Yiğit, 2003) (Şekil 1). Variogramın y ekseninde aldığı maksimum değere jeo-istatistikte *sill* denilir.

Teoride  $h = 0$  noktasında  $\gamma(h)$  değerinin sıfır olması beklenir, ancak bu durum genelde oluşmaz. Birbirine yakın olan ölçüm noktalarında ölçüm değerleri arasındaki fark genelde sıfır olmaz ve bu variogramın sıfırdan farklı bir noktada başlamasına sebep olur. Bu *nugget* etkisi olarak tanımlanır.



Şekil 1. Örnek bir yarı-variogram ve parametreleri

### Mekân-zaman Sıradan Kriging

Mekân-zaman Sıradan Kriging (ST-OK) mekânsal Sıradan Kriging (OK) ile aynıdır;  $Z(s,t)$  değerini mekân-zamandaki gözlemlerden doğrusal kombinasyonlar c elde eder:

$$z_{STOK}(s,t) = \sum_{\alpha=1}^{n(s,t)} \lambda_{\alpha}(s,t) z(s_{\alpha}, t_{\alpha}) \quad (4)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{n(s,t)} \lambda_{\alpha}(s,t) = 1 \quad (5)$$

Kriging'in önemli kısmı  $\lambda_{\alpha}$ , ağırlıklarının doğru olarak belirlenmesidir, böylece k kestirme varyansı aşağıdaki gibi min edilebilir (Gething et al. 2007):

$$Var(s,t) = Var[\hat{Z}(s,t) - Z(s,t)] \quad (6)$$

### Mekân-zaman Evrensel Kriging

Mekân-zaman Evrensel Kriging (ST-UK) mekânsal Evrensel Kriging (UK)'den çok farklı değildir.  $m$  eğilimi rastgele fonksiyon  $Z$ 'nin deterministik kısmıdır ve ikincil veri kullanılarak fiziksel veya deneysel olarak elde edilebilir. En basit yöntem  $m$  eğiliminin bağımlı ve bağımsız değişken veya ikincil veriler ile arasındaki doğrusal ilişkiden elde etmektir. Eğilim belirlendikten sonra  $Z$  den çıkartılarak stokastik kalıntı olan  $V$  elde edilir. ST-UK' deki  $m$  eğilimi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$m(s,t) = \sum_{i=1}^p \beta_i f_i(s,t) \quad (7)$$

$\beta_i$  çoklu regresyondan elde edilen regresyon katsayısıdır,  $f_i$  bağımsız değişkenin değerleridir ve  $p$  ise bağımsız değişken sayısıdır (Heuvelink and Griffith, 2010).

Eğilim ve mekân-zaman variogramı elde edildikten sonra bilinen şekli ile mekân-zaman

kriging uygulanır.  $Z(s_{\alpha}, t_{\alpha})$ 'nin ST-UK öngörülere matris gösterimi ile aşağıdaki gibi elde edilir:

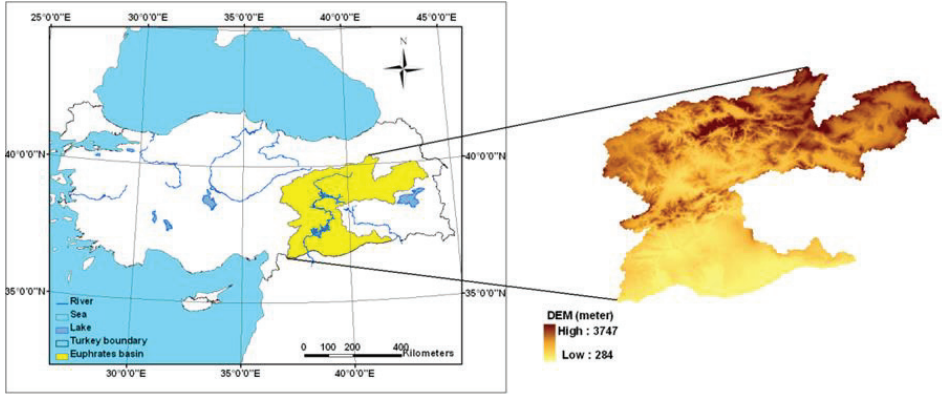
$$\hat{z}(s_{\alpha}, t_{\alpha}) = m_0^T \hat{\beta} + c_0^T C_n^{-1} (\bar{z} - M\hat{\beta}) \quad (8)$$

Burada  $M$ , bağımsız değişkenin gözlem noktalarında  $n \times p$  tasarım matrisi,  $m_0$  ise bağımsız değişkenin amaçlanan yerdeki vektörüdür,  $C_n$ , gözlem noktalarında  $n$  kalıntı terimi için  $n \times n$  varyans-kovaryans matrisidir ve  $\bar{z}$  mekân-zaman gözlemlerinin vektörüdür (Heuvelink ve Griffith, 2010). Mekân-zaman Evrensel Kriging öngörü varyansı aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\begin{aligned} Var(s_{\alpha}, t_{\alpha}) &= var(Z(s_{\alpha}, t_{\alpha}) - \hat{Z}(s_{\alpha}, t_{\alpha})) \\ Var(s_{\alpha}, t_{\alpha}) &= C(s_{\alpha}, t_{\alpha}, s_{\alpha}, t_{\alpha}) - c_0^T C_n^{-1} c_0 \\ &+ (m_0 - M^T C_n^{-1} c_0)^T (M^T C_n^{-1} M)^{-1} (m_0 - M^T C_n^{-1} c_0) \end{aligned} \quad (9)$$

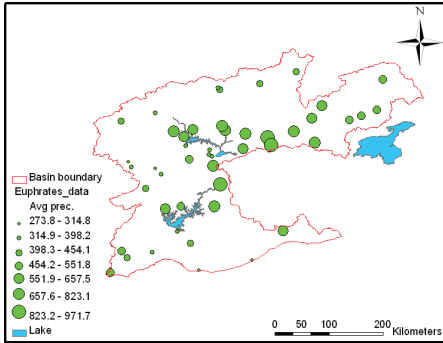
### Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin en büyük havzası olan Fırat havzası seçilmiştir (Şekil 2). Havza Türkiye'nin güney-doğusunda yer almaktadır ve ülkenin %17 su potansiyeline sahiptir. İçme suyu, sulama ve enerji üretimi açısından önemli olan Atatürk, Karakaya ve Keban barajları havzada bulunmaktadır (Yılmaz vd., 2011). Havzanın kuzeyinde yüksek dağlar, güneyinde ise daha düz ovalar bulunmaktadır. Havza toplam alanı 127,000 km<sup>2</sup>'dir, en düşük kot 284 m ve en yüksek kot 3500 m'dir. Mekân-zaman yıllık yağış verisi 1970-2008 yılları arasında kapsamaktadır. Yıllık yağış verisi DMİ' den temin edilmiş ve aylık değerlerden hesaplanmıştır. 47 meteoroloji gözlem istasyonu kullanılmış ve toplamda 906 ölçüm mekân-zaman enterpolasyonunda kullanılmıştır.



Şekil 2. Fırat havzasının konumu ve SRTM' den elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli

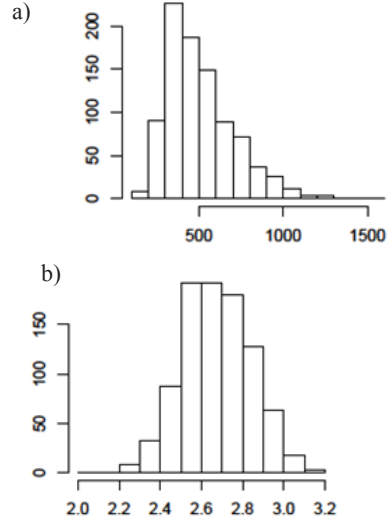
Meteoroloji gözlem istasyonlarının dağılımı havzada oldukça yaygındır fakat barajlara yakın yerlerde sayıları biraz daha sıktır (Şekil 3). Ortalama uzun yıllar yıllık toplam yağışın kullanıldığı 47 meteorolojik istasyonun yerleri Şekil 3'de sunulmaktadır. Barajların yakınlarında yer alan istasyonların uzun yıllar ortalama yıllık toplam yağış değerleri diğer istasyonlardaki değerlere göre daha yüksektir. En yüksek değerler Keban barajı yanındaki Bingöl meteoroloji istasyonunda (1580 mm) gözlenmiştir.



Şekil 3. Fırat havzasındaki meteoroloji istasyonları ve ortalama uzun yıllar toplam yağış değerleri

Bazı istasyonlar için mekân-zaman verisi eksiktir. 21 istasyon 9 yıl ve daha az veriye sahiptir, 5 istasyonun 10-20 yıl arasında, diğer 21 istasyonun 20 yıldan daha fazla gözlem değeri bulunmaktadır. Toplam veri seti 906

gözlemden oluşmaktadır. Veri setine logaritmik dönüşüm uygulanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Orijinal verinin (a) ve logaritmik dönüşümü yapılmış verinin (b) histogramları

İkincil veri olarak yükseklik, yüzey pürüzlülüğü, en yakın kıyıya uzaklık, nehir yoğunluğu, bakı, arazi kullanımı ve yıl değişkenleri kullanılmıştır (Tablo 1). Yıl değişkeni veritabanındaki her verinin gözlem tarihini ifade etmektedir.

Tablo 1. Mekân-zaman jeo-istatistik metotta kullanılan ikincil veriler

Değişken	Sembol	Tanımlama
Yükseklik	Z	Türkiye'nin 5 km mekânsal çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli
Yüzey pürüzlülüğü	V1	5 x 5 km hücrelerde 5 km çözünürlükteki SRTM sayısal yükseklik modelinin standart sapması
En yakın kıyıya uzaklık	V2	Öklid mesafesi
Nehir yoğunluğu	V3	5 km mekânsal çözünürlüklü nehir yoğunluğu
Bakı	V4	Dört yön sınıfı
Arazi kullanımı	V5	6 sınıfa indirgenen CORINE arazi sınıflandırması
Yıl	Y	Her bir verinin ölçüm yılı

Mekân-zaman enterpolasyon yönteminde kullanılan ikincil veriler Şekil 5'te sunulmaktadır. Her değişken 5 km mekânsal çözünürlüğe sahiptir.

### Çapraz Doğrulama Yöntemi

Mekân-zaman enterpolasyon teknikl değerlendirilmesinde 10-katlı çapraz-doğr yöntemi kullanılmıştır (Gilardi ve B 2000; Rigol-Sanchez vd., 2003). Bu sebeple tüm veri seti 10 farklı rastgele alt veri setlerine ayrılmış, herbir veri seti için geri kalan verinin %90'ı öğrenme ve mekân-zaman kestirme modelinin kalibrasyonu için kullanılmış, diğer veri seti uygulanan metodun doğrulaması için kullanılmıştır. Doğrulama veri setinde kullanılan gözlem değerleri ile modelden elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Performans göstergesi olarak *RMSE* ve *R-kare* katsayısı istatistiksel göstergeler kullanılmıştır.

*RMSE* çok sıklıkla kullanılan bir istatistiksel

göstergedir (Lloyd, 2005; Karl, 2010; Schuurmans vd., 2007; Spadavecchia ve Williams, 2009):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^n (Z_S - \hat{Z}_S)^2}{n}} \quad (10)$$

$Z_S$  değeri  $s$  noktasındaki gözlemdir,  $\hat{Z}_S$  değeri modellenen değerdir ve  $n$  ise gözlem sayısıdır.

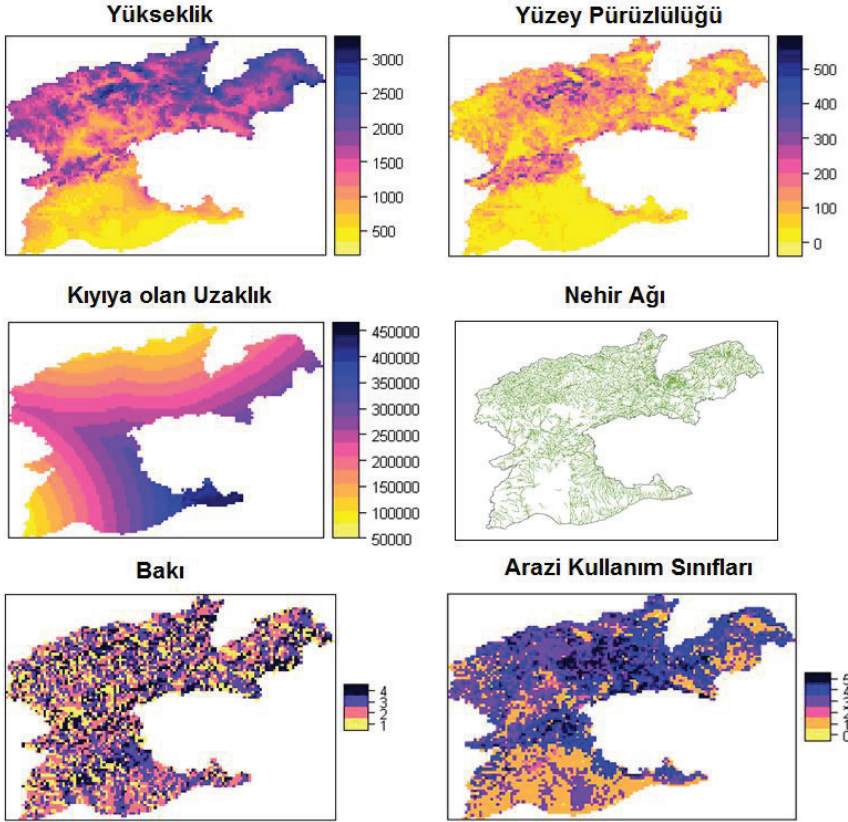
Korelasyon katsayısı ( $r^2$ ) model tarafından belirlenen varyansı gösterir (Hengl vd., 2004). Kalıntıların karelerinin toplamından (*SSerr*) ve karelerin toplamından (*SStot*) elde edilir.

$$r^2 = 1 - \frac{SSerr}{SStot} \quad (11)$$

$$SSerr = \sum_{k=1}^m \sum_{s=1}^{n_k} (Z(s_{ik}) - \hat{Z}(s_{ik}))^2 \quad (12)$$

$$SStot = \sum_{k=1}^m \sum_{s=1}^{n_k} (Z(s_{ik}) - \bar{Z})^2 \quad (13)$$

Bu denklemde  $m$  eğitim veri seti sayısı,  $n_k$  ise  $k$ -inci eğitim setinde gözlem sayısıdır,  $s_{ik}$   $k$ -inci eğitim setinde  $i$ -inci gözlem lokasyonudur ve  $\bar{Z}$  gözlenen veri setinin ortalama değeridir. *R-kare* modelin başarısını gösterir ve sıfır ile 1 arasında değer alır. Eğer tüm noktalar aynı regresyon çizgisi zerine düşerse ve eğitim sıfırdan farklı olursa, açıklanamayan bileşke (*SSerr*) çok küçük değer alır ve *R-kare* 1'e yakın bir değer alır. Eğer açıklanamayan kareler toplamı (*SStot*) açıklanamayan bileşkeye göre daha küçük olur ise, *R-kare* değeri küçük bir değer olur (McKillup ve Dyar 2010).



Şekil 5. Mekân-zaman enterpolasyon yönteminde kullanılan ikincil veriler. Yükseklik, yüzey pürüzlülüğü ve kıyıya uzaklık metre olarak ifade edilmektedir. Bakı ve arazi kullanım için kullanılan lejant sınıf numaralarıdır, örneğin bakıdaki "1" V41(kuzey-doğu), arazi kullanımındaki "0" V50 (yapay yüzeyleri ifade etmektedir).

## Modelleme

Mekân-zaman Sıradan Kriging yönteminde ikincil değişkenler kullanılmamıştır. Kullanılan veri seti sadece gözlenen yağış değerleridir. Mekân-zaman variogramı orijinal verinin log-dönüşümlerinden elde edilmiştir.

Mekân-zaman Evrensel Kriging yönteminde ikincil verilerden yükseklik, yüzey pürüzlü kıyıya olan uzaklık, nehir yoğunluğu, bakı, örtüsü, yıl kullanılmıştır. Bu durumda mekân-

zaman variogramı kalıntılardan elde edilmiştir. Kalıntıları elde edebilmek için çoklu doğrusal regresyon modeli her bir eğitim setine uygulanmıştır. Elde edilen kalıntılar daha sonra mekân-zaman variogramını elde etmede ve variogram modelini uyarlamada kullanılmıştır.

Üç gelişigüzel seçilen yerdeki yağış ölçümleri ölçüm süresi boyunca Şekil 6'te sunulmaktadır.





Şekil 6. Üç noktada ölçülen yağış değerleri. Noktalar ölçümleri göstermekte; düz çizgiler modellenen düz çizgilerdir.

### Mekân-zaman Sıradan Kriging

Zaman-mekân örnek variogramı ve her bir zaman aralığı için örnek variogramlar Şekil 7'de verilmektedir. Mekân-zaman variogramları 0:10 zaman aralığı ve 200 km'ye kadar 10 km'lik mekân aralıkları ile elde edilmiştir. Tablo 2'de iki zaman aralığı (lag0, lag1) için değerler verilmiştir. İlk zaman aralığında 20 mekân aralığı bulunmaktadır. Bütün zaman aralıklarında her bir mekân aralığının 10 km genişliği vardır. Lag0, aynı yıl içinde ölçülmüş gözlem değerine sahip olan kayıtları tutar ve aralarındaki mekânsal mesafeye göre gruplar. Böylece bütün ölçüm değerleri hem zamansal hem mekânsal farklılıklarına göre gruplandırılmış olur. Tablo 2.'deki ilk kayıt şunu ifade etmektedir: 18 nokta çifti veri aynı yıl için ölçüm değerine sahiptir (çünkü zaman lag=0), ve bu gözlem noktalarının arasındaki mesafe 5km ile 8 km arasında değişmektedir (mekân lag=5000 ve mesafe= 7950). Lag1 ise tüm verileri araştırır ve aralarında bir senelik ölçüm farkı olan nokta çiftlerini bulur. Bu işlem 10 tane zaman aralığı ve 20 tane mekân aralığı için hesaplamaya devam eder.

Tablo 2. Zaman aralığı sıfır ve 1 yıl olan örnek mekân-zaman variogramı parametreleri (t lag 'zaman lag', s lag ise 'mekan lag' anlamına gelmektedir)

np	mesafe	gamma	id	t lag	s lag.
18	7.950.557	0.003132	lag0	0	5000
22	15423.61	0.008011	lag0	0	15000
41	28393.95	0.003343	lag0	0	25000
48	34144.18	0.013204	lag0	0	35000
166	45192.41	0.009655	lag0	0	45000
189	55590.67	0.026426	lag0	0	55000
79	65118.54	0.009134	lag0	0	65000
338	75025.56	0.02362	lag0	0	75000
148	85250.75	0.016104	lag0	0	85000
244	95342.2	0.010646	lag0	0	95000
183	105288.8	0.027788	lag0	0	105000
248	115068.1	0.022906	lag0	0	115000
348	125246.6	0.01296	lag0	0	125000
167	135621.1	0.024794	lag0	0	135000
286	146321.6	0.02454	lag0	0	145000
150	156198.6	0.012816	lag0	0	155000
312	163914.5	0.014643	lag0	0	165000
310	173891.2	0.025821	lag0	0	175000
238	185569.1	0.020037	lag0	0	185000
254	194538.5	0.017718	lag0	0	195000
580	0	0.004808	lag1	365	0
37	8.390.718	0.002257	lag1	365	5000

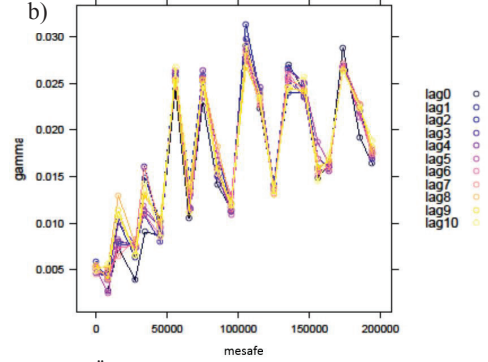
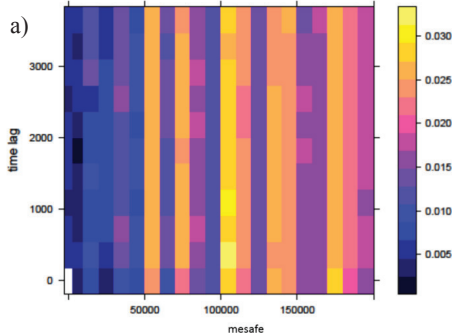


Yağışın zaman ve mekânda dağılımının elde edilmesi

**Tablo 2.** Zaman aralığı sıfır ve 1 yıl olan örnek mekân-zaman variogramı parametreleri (t lag 'zaman lag', s lag ise 'mekan lag' anlamına gelmektedir) (devamı)

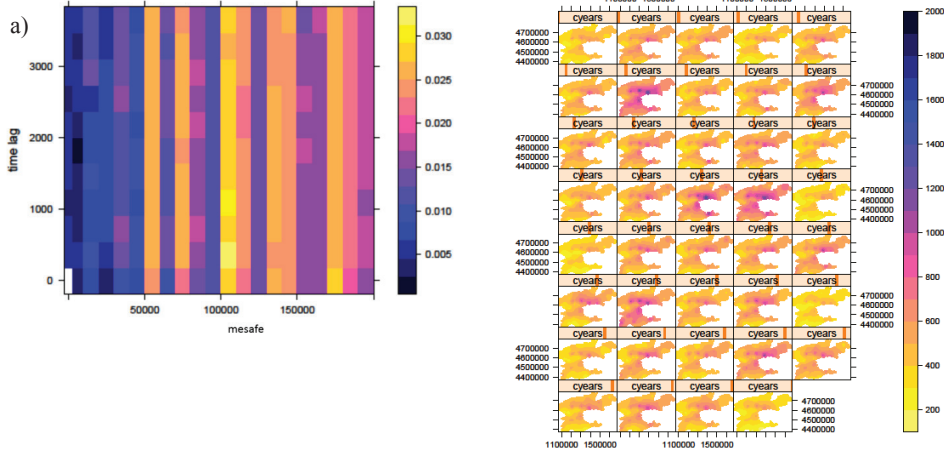
np	mesafe	gamma	id	t lag	s lag.
31	15348.27	0.009912	lag1	365	15000
70	28276	0.005077	lag1	365	25000
77	33568.97	0.010726	lag1	365	35000
286	45218.53	0.010648	lag1	365	45000
362	55642.38	0.026241	lag1	365	55000
139	65418.69	0.011577	lag1	365	65000
608	75107.18	0.025154	lag1	365	75000
278	85364.3	0.016312	lag1	365	85000
452	94907.68	0.011251	lag1	365	95000
326	105195	0.030842	lag1	365	105000
435	114959.3	0.0233	lag1	365	115000
622	125131.8	0.014017	lag1	365	125000

Gözlemlerin örnek variogramlarında görüldüğü gibi zamandaki değişim mekândaki değişimden daha azdır (Şekil 7). Mekânsal aralık 50-100 km, 50 km den büyük mesafede variogramlarda farklı zaman aralıkları arasında fark görülmemektedir. Bu nedenle zamanın 50 km içinde farklı yağış değerleri öngördüğünü söylemek mümkündür.



**Şekil 7.** Örnek mekân-zaman variogramı (a) ve her bir zaman aralığı için örnek variogram (b). Zaman aralığı eklenik günleri, "mekân aralığı" mekânsal mesafeyi (m), "gamma" yarı-varyansı ifade etmektedir.

Her bir gözlem dönemi için elde edilen yağış öngörü dağılımı Şekil 8'da sunulmaktadır. ST-OK enterpolasyon yöntemi daha az detaylı yağış tahmin dağılımı oluşturmuştur. Yüksek tahmin değerleri havzanın ortasında ve doğu kısmında elde edilmiştir. Genel olarak yıllık toplam yağış tahmin değerleri 300-600 mm arasında değişmektedir. En yüksek tahmin 1600 mm ile 1976, 1987 ve 1988 yılları için elde edilmiştir. En düşük tahmin 120 mm ile 1990, 1999 ve 2008 yılları için elde edilmiştir.



**Şekil 8.** Her bir gözlem yılına ait ST-OK ortalama yağış tahmin haritası, "cyears" 1970 ile başlayan ve 2008'de biten gözlem yıllarını göstermektedir.

## Mekân-zaman Evrensel Kriging

Eğilim ortadan kaldırıldıktan sonra Evrensel Kriging için kalıntılardan variogram oluşturulmuştur. Bu amaçla öncelikle log-dönüşümü yapılmış veriye çoklu doğrusal regresyon (MLR) analizi gerçekleştirilmiştir. Model sonuçlarından kalıntılar elde edilmiştir.

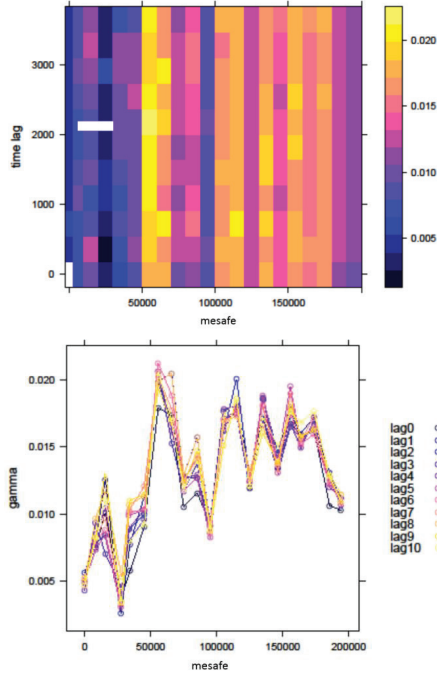
Kalıntılar elde edildikten sonra örnek mekân-zaman variogramı 0:10 zaman aralığı, 200 km'ye kadar 10 km eninde aralıklarda elde edilmiştir. Bu variogramda mekânsal aralığın 100 km olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda mekânsal sill 0.015, mekânsal ve zamansal nugget 0 olarak kabul edilmektedir. Variogram değerlerindeki değişim net olmadığı için zamansal aralık ve sill değerleri kesin olarak belirlenmemiştir (Şekil 9).

Her bir gözlem dönemi için elde edilen yağış öngörü dağılımı Şekil 10'de sunulmaktadır. ST-UK enterpolasyon yöntemi ST-OK enterpolasyon yöntemine kıyasla daha detaylı yağış öngörü dağılımı oluşturmuştur. En yüksek öngörü 2000 mm ile 1976, 1987, 1988 ve 1996 yılları için elde edilmiştir. En düşük öngörü 160 mm ile 1989, 1990, 1999 ve 2008 yılları için elde edilmiştir. Genel olarak havzanın orta ve doğu kısımları havzanın diğer kısımlarına kıyasla daha yüksek yağış değerine sahiptir. Yüksek yağış değeri barajların çevresinde elde edilmiştir. Havzanın güney kısımları en kurak olan alanlardır.

Mekân-zaman kriging metodlarının doğruluğu *RMSE* ve *R-kare* istatistiksel göstergeler ile belirlenmiştir. Metodlar her bir eğitim setine 10 kez uygulanmış ve tahminler elde edilmiştir. Daha sonra 10 test veri seti için elde edilen öngörüler birleştirilmiş ve *RMSE* ve *R-kare* değerleri elde edilmiştir. Fırat havzasının ortalama yıllık toplam yağış miktarı 508 mm, ST-OK ve ST-UK metodları ile *R-kare* değeri 0.86 ve 0.73, *RMSE* değeri 75 mm ve 107 mm olarak elde edilmiştir. Beklenenin tersine ST-UK sonuçları ST-OK sonuçlarına göre daha kötüdür. Bunun nedeni kullanılan ikincil verilerin yağış ile ilgili değişimi tam olarak

ifade edememiş olmasındandır. ST-UK sonuçları sadece süreklilik gösteren ikincil veriler kullanılarak tekrarlanmıştır. Bu aşamada yükseklik, yüzey pürüzlülüğü, kıyıya olan uzaklık, nehir yoğunluğu kullanılmıştır. Elde edilen doğruluk sonuçlarının da *R-kare* değeri 0.85 ve *RMSE* değeri 78 mm olarak bulunmuştur.

İkinci analizdeki sonuçlar daha tatminkârdır. ST-OK sonuçları Fırat havzası için oldukça iyi öngörüler sunmuştur. Fakat ST-UK sonuçları ST-OK sonuçlarından daha iyi olmamasına rağmen yağış dağılımları incelendiğinde ST-UK yağış dağılımlarının daha gerçekçi olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Regresyon kalıntıları için elde edilen örnek mekân-zaman variogramı (üstte) ve her bir zaman aralığı için örnek variogram (altta).

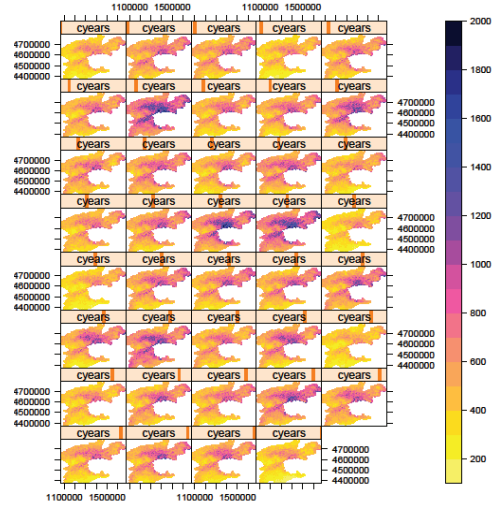
## Sonuçlar

Mekân-zaman enterpolasyon metodunun en zor olan kısmı mekân-zaman variogramını oluşturmak, onu yorumlamak ve modellemektir.

Çevresel değişkenler genel olarak zaman ve mekânda farklılık göstermekte ve bu farklılığın mekân-zaman variogramlarında ifade edilebilmesi mekân-zaman jeo-istatistiksel yöntemlerin en zorlayıcı kısmıdır.

Mekân-zaman enterpolasyon yönteminin sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Beklenenin aksine ST-OK metodu ST-UK metoduna göre *RMSE* ve *R-kare* istatistiksel göstergeleri açısından daha iyi sonuçlar vermiştir.
- Fakat ST-UK tahmini yağış dağılımlarının ST-OK tahmini yağış dağılımlarına göre daha gerçekçi olduğu belirlenmiştir. ST-OK tahmin dağılımları oldukça yumuşak geçişler sunan bir dağılım sonucu oluşturmuştur.
- İkincil verilerin seçilmesi ve enterpolasyon yöntemlerinde kullanılması önemlidir.
- Mekân-zaman enterpolasyon yöntemlerinde daha fazla veri kullanılmaktadır. Bu nedenle mekân-zaman UK metodlarının sonuçları sadece mekânsal UK metodunun sonuçlarından daha güvenilirirdir.
- Eğer değişken mekân ve zamanda değişme gösteriyorsa mekân-zaman enterpolasyon yöntemleri daha gerçekçi dağılım değerleri verecektir. Elde edilen sonuçların iyileştirilebilmesi için daha fazla veri seti kullanılmalıdır. Kullanılan veri setinin boşlukları olmamalıdır. Sadece yıllık toplam yağış değerleri yerine elde edilen aylık yağış değerleri de kullanılabilir. Bu durum daha fazla verinin kullanılmasını gerekli kılacaktır. Aylık toplam dağılımlar elde edildikten sonra yıllık toplam dağılım değerleri elde edilebilir.
- Zamansal değişim gösteren uydu görüntülerinden elde edilen sıcaklık ve atmosferik nem değerleri de ikincil veri olarak kullanılabilir. Böylece jeoistatistiksel metodların yağış dağılımını öngörü kabiliyetlerinin artması beklenmektedir.



Şekil 10. Her bir gözlem aralığı için mekân-zaman UK yöntemiyle ortalama yağış dağılımı tahmini

## Kaynaklar

- Bostan, P.A., Heuvelink, G.B.M., Akyürek, S.Z., "Comparison of Regression and Kriging Techniques for Mapping the Average Annual Precipitation of Turkey", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 19, 115-126, 2012.
- Carrera-Hernandez, J.J., Gaskin, S.J., "Spatio-temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico", *Journal of Hydrology* 336: p.231-249, 2007.
- Gething, P.W., Atkinson, P.M., Noor, A.M., Gikandi, P.W., Hay, S.I., Nixon, M.S., "A local space-time kriging approach applied to a national outpatient malaria data set". *Computers & Geosciences* 33, 1337-1350, 2007.
- Gilardi, N., Bengio, S., "Local machine learning models for spatial data analysis", *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, volume 4, number 1, 11-28, 2000.
- Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Stein, A., "A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression kriging", *Geoderma* 120, 75-93, 2004.
- Heuvelink, G.B.M. "Incorporating process knowledge in spatial interpolation of environmental variables", In: *Proceedings of Accuracy 2006* (Eds. M. Caetano and M.

- Painho), Lisbon: Instituto Geográfico Português, pp. 32-47, 2006.
- Heuvelink, G.B.M., Griffith, D.A., "Space-Time Geostatistics for Geography: A Case Study of Radiation Monitoring Across Parts of Germany", *Geographical Analysis*, ISSN 0016-7363, 2010.
- İnal, C., Yiğit, C. Ö., "Jeodezik Uygulamalarda Kriging Entropolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği", TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 24-26 Eylül 2003.
- Isaaks EH, Srivastava RM, "An Introduction to Applied Geostatistics", Oxford University Press, Oxford, 561s., 1989.
- Karl, J.W., "Spatial Predictions of Cover Attributes of Rangeland Ecosystems Using Regression Kriging and Remote Sensing", *Rangeland Ecol Manage* 63, 335-349, 2010.
- Knotters, M., Heuvelink, G.B.M., Hoogland, T., Walvoort, D.J.J., "A disposition of interpolation techniques", Wageningen Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment, WOT-werkdocument 190, 2010.
- Kyriakidis, P.C., Journel, A.G., "Geostatistical Space-time Models: A Review", *Mathematical Geology*, Vol: 31, No: 6, 651-684, 1999.
- Lloyd, C.D., "Assessing the Effect of Integrating Elevation Data into the Estimation of Monthly Precipitation in Great Britain", *Journal of Hydrology* 308: p.128-150, 2005.
- Martínez-Cob, A., "Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain", *Journal of Hydrology* 174, 9-35, 1996.
- McKillup, S., Dyar, M.D., "Geostatistics Explained, An Introductory Guide for Earth Scientists", Cambridge University Press, ISBN:978-0-521-74656-4, 2010.
- Rigol-Sanchez. J. P., Chica-Olmo, M., Abarca-Hernandez, F., 'Artificial neural networks as a tool for mineral potential mapping with GIS', *International Journal of Remote Sensing*, volume 24, number 5, 1151-1156, 2003.
- Schuermans, J. M., Bierkens, M. F. P., Pebesma, E. J., "Automatic Prediction of High-Resolution Daily Rainfall Fields for Multiple Extents: The Potential of Operational Radar", *Journal Of Hydrometeorology* 8, 1204-1224, 2007.
- Snepvangers, J.J.J.C., Heuvelink, G.B.M., Huisman, J.A., "Soil water content interpolation using spatio-temporal kriging with external drift", *Geoderma* 112, 253- 271, 2003.
- Spadavecchia, L., Williams, M., "Can spatio-temporal geostatistical methods improve high resolution regionalization of meteorological variables?", *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 1105-1117, 2009.
- Yilmaz, A.G., Imteaz, M.A., Jenkins, G., "Catchment flow estimation using Artificial Neural Networks in the mountainous Euphrates Basin", *Journal of Hydrology* 410, 134-140, 2011.

## Interpolation of Precipitation in Space and Time

### Extended abstract

Methods to define and estimate the spatial variability of hydrologic, climatic and other environmental variables and perform spatial interpolation using the quantified spatial variability are abundant in the environmental sciences. Recently, the extension of these methods to variables that vary both in space and time has received increasing attention. Environmental variables like precipitation, temperature, air quality, soil characteristics, etc. are temporally variable parameters which mean that they may have different values at the same place through consecutive time periods. So rather than defining the distribution of environmental variables at a unique date, if sufficient amount of data are available at different time periods and different locations, space-time interpolation may be more beneficial than spatial techniques that use only location information.

Snepvangers et al. (2003) compared two Space-time kriging techniques: Space-time Ordinary kriging (ST-OK) and ST kriging with external drift (ST-KED) on soil water content interpolation. They found out that predictions are more realistically obtained from ST-KED, and prediction uncertainty of this method is lower compared to ST-OK. Jost et al. (2005) performed a study about spatio-temporal distribution of soil water storage by using space-time kriging methods in a forest ecosystem. Hengl et al. (2012) used ST Regression kriging to predict daily temperatures for 2008 obtained from 159 meteorological stations in Croatia.

Accurate mapping of the temporal, spatial and space-time distributions of precipitation is important for many applications in hydrology, climatology, agronomy, ecology and other environmental sciences. In addition, it is an environmental parameter which can be analyzed in space-time context since it has variability in time and space.

In space-time (ST) kriging all observations in the past, present and future are used to predict the present situation because of temporal correlation as quantified by the space-time variogram. So space-time kriging makes use of all observations from all years and locations and if there is indeed temporal correlation then the observations from other times

(other years) will be included in making the prediction.

In this study, the Euphrates Basin which is the biggest and one of the most important basins of Turkey is selected as a study area to implement space-time interpolation techniques. For this purpose, ST-OK and ST-UK methods are applied to total annual observations for the period of 1970-2008. The former uses only observed values, the latter uses observed values and secondary information as well. Main data source of the study is point observations of monthly precipitation at meteorological stations and spatially exhaustive covariate data sets. These are elevation, surface roughness, distance to coast, river density, aspect and land use. Comparison of interpolation methods are made with ten-fold cross-validation methodology. Accuracy assessment is done by calculating the Root Mean Squared Error (RMSE), R-square ( $r^2$ ) values.

ST-UK method was applied twice to precipitation data. At first application elevation, surface roughness, distance to coast, river density, land cover, Year and elevation-distance to coast interaction were used. According to performance assessment results of cross-validation, R-square is calculated as 0.73 and RMSE is 107 mm. In the second application of ST-UK; elevation, surface roughness, distance to coast, river density and elevation-distance to coast interaction were used. The obtaining results are more reliable and accurate. This time R-square is calculated as 0.85 and RMSE is 78 mm.

For ST-OK the results of R-square is 0.86 and RMSE is 75 mm. Contrary to expectations, ST-OK method resulted in more accurate prediction values than ST-UK according to R-square and RMSE. Since most of the meteorological stations are located at lower elevations compared to basin's mean elevation, the secondary variables may not be representative parameters to precipitation prediction in the basin. However prediction maps of ST-UK can be regarded as more realistic than ST-OK since maps are not so smooth. The prediction maps of ST-OK have smooth appearance as details have disappeared during interpolation.

**Keywords:** precipitation, temporal variation, spatial interpolation, spatio-temporal interpolation.

# mühendislikdergisi

