

PAPER DETAILS

TITLE: Yesilirmak Havzasi Mekânsal Yagis Dagilimina ait Degisiminin Deterministik ve Stokastik Yöntemlerle Belirlenmesi

AUTHORS: Murat KALE

PAGES: 263-276

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/609484>

Yeşilırmak Havzası Mekânsal Yağış Dağılımına ait Değişiminin Deterministik ve Stokastik Yöntemlerle Belirlenmesi

Determination of Changing Spatial Distribution of Precipitation With Deterministic and Stochastic Methods in Yeşilırmak Basin

M. Murat KALE*¹

¹ Çankırı Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Çankırı.

Geliş (received) : 16 Ocak (January) 2018

Kabul (accepted) : 22 Kasım (November) 2018

ÖZ

Bu çalışmada, deterministik ve stokastik yöntemler bir arada kullanılarak Yeşilırmak Havzası için mekânsal yağış dağılımını en iyi temsil eden modelin belirlenmesi ve mekânsal yağış dağılımına ait değişiminin ortaya çıkartılması amaçlanmıştır. Çalışmada, otuz meteoroloji gözlem istasyonuna ait 1954 – 2014 yılları arasındaki yağış veri seti kullanılmıştır. Havzayı en iyi temsil eden modelin belirlenmesi için deterministik yöntemlerden Uzaklığın Tersini ile Ağırlıklandırma (IDW) ve stokastik yöntemlerden Ortalama-sız Kriging (OK) yöntemi kullanılmıştır. Yağış modellerinin doğruluğu Çapraz Geçerlilik (Cross-Validation) analiz yöntemiyle test edilmiş ve modellerin karşılaştırılmasında Ortalama Hata (ME), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Karekök Ortalama Hata (RMSE) ve Standardize Karekök Ortalama Hata (RMSSE) değerlerinden faydalanılmıştır. En uygun model seçiminden itibaren 1954 – 1984 ve 1984 – 2014 dönemlerine ait mekânsal yağış haritaları oluşturulmuş ve değişim araştırılmıştır. Çalışma sonuçları iki grupta toplanabilir. (i) OK yöntemi ile yapılan modelleme IDW yöntemi ile yapılan modellemeye göre daha iyi sonuçlar vermiştir. (ii) İkinci otuz yıllık dönemde havza genelinde yağış yüksekliği artış eğilimindedir.

Anahtar Kelimeler: IDW, OK, Mekânsal yağış dağılımı, Yeşilırmak Havzası.

ABSTRACT

In this study, it is aimed to determine the best model that represents spatial distribution of precipitation using with deterministic and stochastic methods and to find precipitation change in Yeşilırmak Basin. For creating of data set, annual total precipitation data from thirty meteorological observation stations between 1954 and 2014 are used. In this study, deterministic methods, namely Inverse Distance Method (IDW) and stochastic methods, namely Ordinary Kriging (OK) are used together. The accuracy of the models is tested using the Cross Validation method and the models are compared using the Mean Error (ME), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) and Standardized Root Mean Square Error (RMSS). From the most appropriate model selection, spatial distribution of precipitation maps for the period 1954 - 1984 and 1984 - 2014 are established and the changes are investigated. Results of this study can be collected in two groups. (i) Modeling with the OK method is pointed better results than IDW method. (ii) During the second thirty year's period, total precipitation trend in the basin is rising.

Keywords: IDW, OK, Spatial distribution of precipitation, Yeşilırmak Basin.

* M. M. Kale

e-posta: muratkale@karatekin.edu.tr

GİRİŞ

Yağış, havza sistemi içerisinde çizgisel akışın temel kaynağıdır (Atalay, 1986; Fetter, 1994). Çizgisel akışa geçen su kütleleri, durgun su kütleleri ile karşılaştıklarında katı madde (sediman) yüklerini bırakma eğilimi gösterirler. Akarsuyun sediman getirme hızının, kıyı erozyonu hızından daha yüksek olduğu durumda sedimantolojik açıdan son derece aktif bir bölge olan delta, gelişim sürecine girer (Kerey ve Erkal, 2014). İklim, bölgesel tektonik yapı ve aralarındaki ilişki delta gelişimi için önemlidir (Fisk, 1955; Frazier, 1967; Xing and ChaoYu, 2011). Havza sistemine, antropojenik bir müdahale olmadığı ve bölgesel tektonik yapıda herhangi bir değişiklik gerçekleşmediği sürece, yağışta meydana gelecek değişimler akarsu tarafından taşınan sediman yükünü etkileyecektir. Antropojenik bir etkinin olmadığı, bölgesel tektonik yapının korunduğu, hâkim rüzgâr, dalga etkisi vb. doğal etkenlerin değişmediği koşullarda; yüksek yağış havza sisteminde akışa geçen su miktarını ve su yükünü arttırarak; delta kıyı çizgisinin deniz yönünde ilerlemesine neden olacaktır. Yağışların azalması, akarsu tarafından taşınan sedimanın doğal olarak azalmasını beraberinde getirecektir. Bu durumda hâkim rüzgâr ve dalga etkisi ile ortaya çıkan aşınım hızı ve miktarı, birikim tarafından engellenemeyecek ve kıyı çizgisi kara yönünde gerileyecektir. Bu bağlamda havzaya düşen yağış miktarı, dolaylı olarak delta kıyı çizgisi değişimindeki en önemli parametrelerden biridir.

1980'li yılların başı itibarı ile Yeşilirmak, Anadolu Yarımadası'ndan Karadeniz'e en çok sediman taşıyan akarsu konumundadır (Atalay, 1982). Söz konusu akarsu, Karadeniz çanağının güney kenarında gelişmiş iki büyük deltadan birini, Yeşilirmak Delta'sını oluşturmaktadır. Deltanın oluşumunda Kuvaterner başında meydana gelen epirojenik hareketler ve sonucunda gelişmiş antekonsekant vadi önemli bir rol üstlenmektedir (Erkal, 1991; Erkal, 1995).

Yeşilirmak Deltası'na ait kıyı çizgisi 1975'ten günümüze gerileme eğilimi göstermektedir. Kıyı çizgisinde, 1954 – 1975 yılları arasında denize doğru 3.21 km²'lik bir ilerleme ve 1975 – 1999 yılları arasında kara yönünde 2.62 km²'lik bir gerileme olduğu tespit edilmiştir (Avcı vd., 2003; Avcı et al., 2004). 2000 – 2016 yılları arasında ise delta kıyı çizgisindeki değişim devam etmiş ve nehir ağzının batısında 330 m'ye varan bir gerileme tespit edilmiştir (Köle vd., 2016). Deltada yaşanan gerileme, farklı çalışmalarda antropojenik müdahaleler ile ilişkilendirilmesine karşın

yağış miktar ve dağılımındaki olası değişim net bir şekilde ortaya konulmamıştır. Antropojenik müdahalenin olmadığı ve doğal etkenlerin korunduğu durumlarda, havzaya düşen yağış miktarının mekânsal dağılımı ve değişimi; taşınan sediman miktarı ile doğrudan ilişkilidir (Liu et al., 2014). Bu kapsamda, Yeşilirmak Deltası'nda meydana gelen kıyı çizgisi değişiminin açıklanması için havzaya düşen yağış miktar ve dağılımındaki değişimin ortaya çıkartılması önem taşımaktadır.

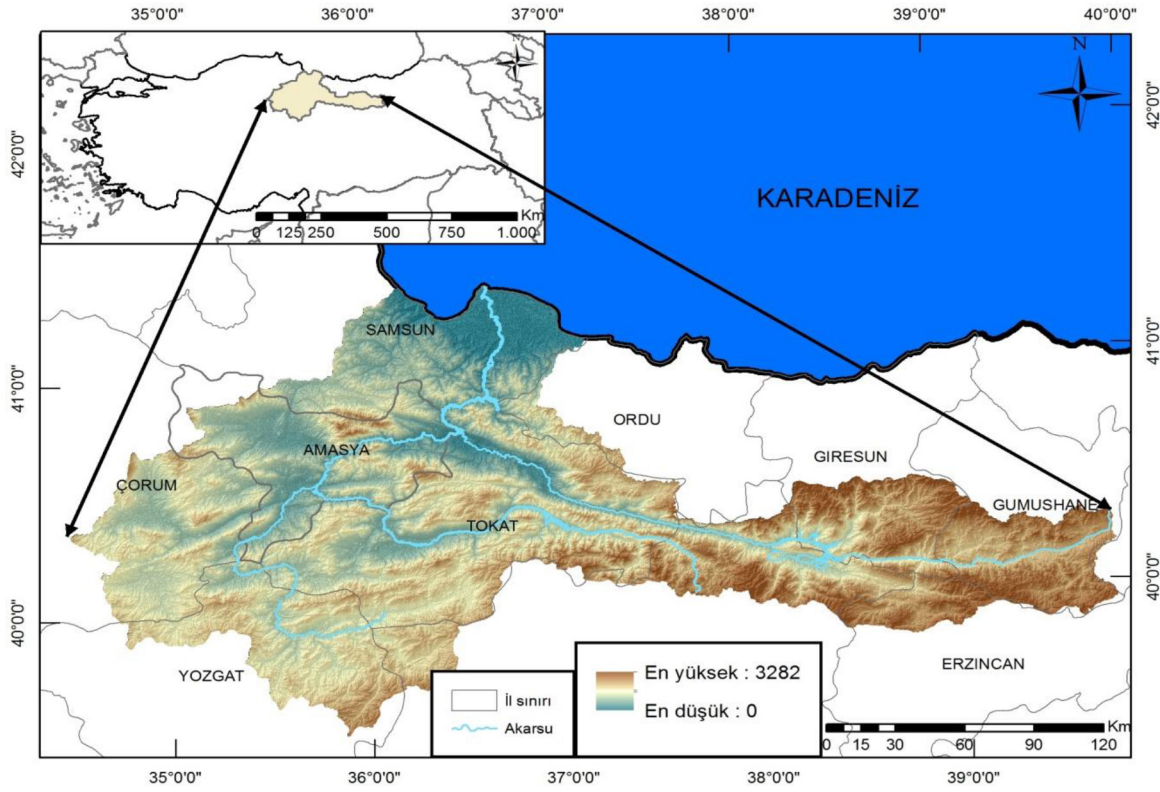
36114 km² drenaj alanına sahip olan Yeşilirmak Havzası, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre 646 mm yıllık yağış yüksekliğine sahiptir. Çalışma bölgesine ait yer bulduru haritası ve sayısal yükseklik modeli Şekil 1'de verilmiştir. 3282 m maksimum yükseltiye sahip olan havza, Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık %5'ine ve yenilenebilir su potansiyelinin %3.12'sine sahiptir.

Bu çalışmada, deterministik ve stokastik yöntemler bir arada kullanılmıştır. Yeşilirmak Havzası için mekânsal yağış dağılımını en iyi temsil eden modelin belirlenmesinden itibaren mekânsal yağış dağılımına ait değişiminin ortaya çıkartılması amaçlanmıştır. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından tahmin modellerinde güvenilir iklim değerleri elde etmek için kullanılması gereken en uygun sürenin 30 yıllık bir dönemi kapsaması gerektiğini belirtilmektedir (Jagannathan et al., 1967). Çalışma genelinde bu temel varsayım dikkate alınarak, mekânsal yağış dağılımındaki değişim araştırılmıştır. Yeşilirmak Havzası'nda gerçekleşen mekânsal yağış dağılımını en iyi temsil eden modelden itibaren, 1954 – 2014 yılları arasında havzada gerçekleşen yağış değişiminin iki dönem halinde haritalanarak ortaya çıkartılması hedeflenmiştir.

YÖNTEM

Bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Öncelikli olarak veri kümesi seçimi yapılarak veri analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, seçili yöntemler birbirleri ile karşılaştırılarak çalışma alanını temsil eden en uygun enterpolasyon yöntemi ve modeli belirlenmiştir. Son olarak belirlenen yöntemle ilgili olarak otuzar yıllık dönemleri temsil eden mekânsal yağış dağılımı haritaları oluşturulmuş ve değişim araştırılmıştır.

Çalışmada, deterministik yöntemlerden Uzaklığın Tersini ile Ağırlıklandırma yöntemi (IDW) ve stokastik yöntemlerden Ortalamasız Kriging (OK) yöntemi kullanılmıştır. Seçili yöntemlere ait sonuçların sınanması



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası ve sayısal yükseklik modeli.

Figure 1. Study area location map and digital elevation model.

için Çapraz Geçerlilik (Cross-Validation) doğruluk analizi uygulanmıştır.

Yöntemler için gerekli olan zaman serileri MGM'den temin edilmiştir. Meteoroloji gözlem istasyonlarına (MGİ) ait aylık toplam yağış yüksekliği çalışmanın veri kümesini oluşturmaktadır. MGİ'lerin seçiminde çalışma alanının en iyi temsili için iki temel faktör dikkate alınmıştır. Faktörlerden ilki, MGİ'lerin Yeşilirmak Havzası içerisinde olması, yeterli istasyon sayısına ulaşamaması halinde havzaya en yakın noktada bulunmasıdır. İkinci faktör, istasyonun uzun dönem kesintisiz ya da en az kesintiye sahip istasyon olma özelliği taşımasıdır. Bu özellikleri taşıyan 30 MGİ seçilmiş ve çalışmada seçili istasyonlara ait 1954 – 2014 dönemine ait zaman serileri kullanılmıştır. Zaman serilerinin tutarlılığını sağlamak için Çift Toplam Yağış Eğrisi yöntemi kullanılmıştır (Bayazit, 1995). Seri içerisinde yer alan eksik veriler, istasyonların yıllık ortalama yağışları arasındaki farkın %10'dan fazla olduğu durumda eşitlik (1) ve %10'dan az olduğu durumda eşitlik (2) yardımı ile tahmin edilmiştir.

$$P_x = 1/3 (N_x P_A / N_A + N_x P_B / N_B + N_x P_C / N_C) \quad (1)$$

$$P_x = 1/3 (P_A + P_B + P_C) \quad (2)$$

Burada; P_x tahmini yağış yüksekliğini, N_x , N_A , N_B ve N_C istasyonlara ait ortalama yağış yüksekliklerini, P_A , P_B ve P_C parametreleri ise eksik verili sürede seçili istasyonlardaki yağış yüksekliklerini ifade etmektedir.

Tahmine dayalı istatistiksel çalışmalarda, güvenilir sonuçlar için serinin normal dağılım göstermesi gerekmektedir (Thompson, 1983). Bir veri kümesinin normal dağılım göstermesi için çarpıklık katsayısının sıfıra, basıklık katsayısının üçe ve ortalama ile medyan değerleri arasındaki farkın sıfıra yakın olması gerekmektedir (Ünver vd., 2013). Bu temel yaklaşım ile çalışmada kullanılan zaman serilerinin normal dağılım gösterip göstermediği incelenmiştir. Seriler ile doğru kestirimler yapabilmek için farklı temel dönüşümler (log, ln, sin, cos, tan ve karekök) uygulanarak seriyi normal dağılıma en çok yaklaştıran dönüşüm tespit edilmiş ve çalışmada bu dönüşüme ait zaman serisi kullanılmıştır.

Çalışma genelinde gerçekleştirilen haritalama çalışmaları, analiz ve hesaplamaların gerçekleştirilmesi için gerekli olan veri tabanının oluşturulmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) faydalanılmıştır. Temel istatistiksel analizler için CBS, istatistik yöntemlerle birleştiğinde, mekânsal verinin analiz edilmesini, gö-rüntülenmesini ve yönetimini kolaylaştırmaktadır (Krivoruchko et al., 2003; Aydın, 2014; Aydın and Çiçek, 2015). Bu kapsamda, çalışma genelinde ArcGIS 10.0 programı ve ilgili modülleri kullanılmıştır. Çalışma genelinde veri kümesinin açıklanmasında ve temel istatistiksel hesaplamalarda MATLAB R2013b (Matrix Laboratory) paket programına ait ilgili modüllerden faydalanılmıştır.

Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighted - IDW) Enterpolasyon Yöntemi

Çalışmada kullanılan seçili deterministik yöntem, Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma (IDW) enterpolasyon yöntemidir.

IDW en basit ve temel enterpolasyon yöntemlerinden biridir. Yöntem iki nokta arasındaki ilişkinin ve benzerliğin, aralarındaki mesafeyle orantılı olduğu varsayımına dayanmaktadır (Aydın ve Çiçek, 2013). Yöntemde araştırılan nokta değeri, yakınında yer alan, bilinen nokta değerlerine daha benzer olacaktır. Bu varsayım ile bilinmeyen noktalara yakın olan noktalar, yapılan hesaplamalarda daha fazla etkiye (ağırlığa) sahip olacaktır. IDW yönteminde her örnek noktası, değeri tahmin edilecek noktaya olan uzaklığına ters oranda ağırlık değeri almaktadır (Isaaks and Srivastava, 1989). Bir başka ifade ile bilinmeyen noktanın tahmininde; bilinen noktaların yakın olanlarına çok, uzak olanlarına az ağırlık verilerek tahmin yapılmaktadır (Franke and Nielson, 1980). IDW yöntemi eşitlik (3)'te verilmiştir. Yöntemde kullanılan ağırlıklandırma eşitlik (4)'de verildiği gibidir.

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^N W(X_i)Z(X_i) / \sum_{i=1}^N W(X_i) \quad (3)$$

$$W(X_i) = (1/d_i)^p \quad (4)$$

Eşitliklerde; $W(X_i)$ i'inci bilinen konumdaki ağırlığı, $Z(X_i)$ i'inci konumdaki bilinen örnek noktası değerini, N ölçüm noktası sayısını, d örnek noktası ve tahmin noktası arasındaki mesafeyi ve p üstel güç katsayısını ifade etmektedir (Ahrens, 2006). IDW yönteminin doğruluğu kullanılan verinin miktarı ve seçilen güç

katsayısına bağlıdır (Krivoruchko et al., 2003). Ancak literatürde, olması gereken veri miktarı ve üstel katsayı belirlenmesi konusunda kesin bir tavsiye yoktur (Aydın ve Çiçek, 2013). Çalışmada, literatürde yer alan benzer çalışmalarda güç değeri olarak kullanılan 2 referans alınarak kullanılmıştır. IDW yöntemine göre yapılan kestirimde, kestirime ait hatayı ölçen bir araç bulunmamaktadır (Ertunç, 2013).

Ortalamasız Kriging (Ordinary Kriging - OK) Enterpolasyon Yöntemi

Çalışmada kullanılan seçili stokastik yöntem, Ortalamasız Kriging (OK) jeoistatistiksel enterpolasyon yöntemidir.

Geoistatistiksel Kriging yöntemlerinin temel amacı, istenilen her noktadaki veriyi bilinen noktalara ait verilerden itibaren tahmin etmektir (Saraç, 1994). İlk kez 1950'lerde Güney Afrikalı maden mühendisi Krige (1951) tarafından maden yataklarının araştırılması için kullanılmış olan yöntem, günümüzde yer ve atmosfer bilimlerinde büyük bir kullanım alanına sahip, temel jeoistatistiksel tahmin yöntemidir. Geoistatistiksel çalışmaların temelini, deneysel variogram yapısının belirlenmesi ve bu yapıya uygun teorik bir modelin geliştirilmesi oluşturmaktadır (Delhomme, 1978; Vieira, 1983; Aydın ve Çiçek, 2013). Uzayda farklı noktalardaki değişkenler arasındaki bağımlılığı ölçen, uzaklığa bağlı ilişki fonksiyonuna variogram denilmektedir. Variogram fonksiyonu; birbirine h mesafedeki iki konumsal değişken arasındaki farkın varyansı olarak tanımlanır ve $2\gamma(h)$ ile sembolize edilir (Tercan ve Saraç, 1998). Variogram fonksiyonunun yarısı ise yarıvariogram olarak ifade edilir. Bir başka ifade ile mekânsal ilişki gözlenirken, artan mesafe ile ilişkide meydana gelen değişimin ölçülmesi için kullanılan temel araç variogram bulutudur. Variogram bulutuna ait matematiksel ifade eşitlik (5)'de verilmiştir. Yarıvariogram bulutunun yarıvaryans değerlerinin belirli bir sınıf aralığına ayrılması ve ayrılan mesafeye düşen yarıvaryans değerlerinin ortalamasının alınması ile deneysel yarıvariogram elde edilir (Aydın ve Çiçek, 2013). Deneysel yarıvariograma ait eşitlik (6)'da verilmiştir.

$$2\gamma(h) = E[Z(X) - Z(X+h)]^2 \quad (5)$$

$$\gamma(h) = 0,5 (N_h)^{-1} \sum_{i=1}^{N_h} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (6)$$

Eşitliklerde; $Z(X_i)$ X_i konumundaki istasyonun yıllık ortalama yağış değerini, $Z(X_i+h)$ X_i+h konumundaki istasyonun yıllık ortalama yağış değerini, N_h h uzaklıkta

toplam istasyon çifti sayısını ifade etmektedir (Bivand et al., 2008).

Deneysel yarivariogram çiftlerini temsil eden en iyi fonksiyonun bulunması ile teorik yarivariogram elde edilir. Bu amaçla deneysel yarivariogramı en iyi şekilde teorik yarivariograma dönüştüren model belirlenir. Jeostatistiksel analizlerde; üssel (exponential), küresel (spherical), gaussian ve dairesel (circular) yaygın olarak kullanılan yarivariogram modelleridir (Çizelge 1).

Gözlem değerlerinden yararlanılarak hesapla oluşturulan yarivariograma deneysel yarivariogram, deneysel yarivariograma matematiksel bir fonksiyon uydurularak elde edilen yarivariogram modeline ise teorik yarivariogram denir (Bailey and Gatrell, 1995; Hengl, 2009; Fotheringham et al., 2000; Kalkhan, 2011; Chun and Griffith, 2013; Aydın and Çiçek, 2015). Deneysel yarivariogram tahmin analizlerinde doğrudan kullanılamazken, teorik yarivariogram kullanılmaktadır (Aydın and Çiçek, 2015).

OK enterpolasyon yöntemi, teorik yarivariogram modelinin oluşturulmasından itibaren uygulanır. Yansız olan yöntemde bilinmeyen değerlerin tahmini, değişkenlerin durağan ve ortalamanın sabit olduğu varsayımına göre gerçekleştirilir. Tahmin ağırlıkları yarivariogram modeline dayanır. Yöntem, tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ortalama farkın sıfıra eşit olmasını amaçlar. Aynı zamanda tahmin hatalarının varyansını en düşük seviyede tutmaya çalışarak işlemi gerçekleştirir ve sonuçta en iyi tahmini oluşturur (Aydın, 2014). OK enterpolasyon yöntemi doğrusal eşitliklerden oluşmaktadır. Her örnek noktası sistemde ağırlıklandırılmıştır (Ertunç, 2013). Kriging enterpolasyon yönteminde ait temel eşitlik (7)'de verilmiştir.

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^N W_i Z(X_i) \quad (7)$$

Eşitlikte; $Z(X_0)$, X_0 noktasına ilişkin Kriging değeri, $Z(X_i)$ değişkenlerin her bir X_i noktasında gözlenen

değerleri, her bir $Z(X_i)$ ye karşılık gelen ağırlık değerlerini ve N $Z(X_0)$ 'ın Kriging tahmininde kullanılacak nokta sayısını ifade etmektedir (Isaaks and Srivastava, 1989; Aydın ve Çiçek, 2013).

Kriging enterpolasyon yönteminin yansız olması için ağırlık değerlerinin toplamı 1'e eşit olmalıdır. Ağırlık değerleri toplamının 1'e eşit olduğu durumda N adet bilinmeyen ve $N+1$ adet denklem vardır (İnal ve Yiğit, 2003; Aydın, 2014). Yansız olma şartı dikkate alındığında, denklem sayısı bilinmeyen sayısına Lagrange çarpanı ile eşitlenir.

OK enterpolasyon yönteminde, kestirim işlemi sonucunda yapılan hatanın varyansı bulunabilir. Bir başka ifade ile kestirime ilişkin hatayı ölçen bir araç bulunmaktadır (Isaaks and Srivastava, 1989). OK enterpolasyon yönteminde ait hata varyansı eşitlik (8)'de verilmiştir.

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_0 - X_i) + \lambda \quad (8)$$

Eşitlikte; σ_k^2 kriging varyansı olmak üzere, λ Lagrange çarpanını, W_i her bir $\gamma(X_0 - X_i)$ 'ye karşılık gelen ağırlık değerlerini ve N hata varyansında kullanılacak nokta sayısını ifade etmektedir.

Bırakımlı Çapraz Geçerlilik (Leave one out Cross-Validation) Doğruluk Analizi

Bu çalışmada; elde edilen teorik parametrelerin çalışma alanını temsil edip edemeyeceğinin belirlenmesinde ölçüt olarak Bırakımlı Çapraz Geçerlilik doğruluk analizi uygulanmıştır.

Yöntem; kestirim yapılan noktaya ait gerçek değer ile kestirim değerini karşılaştırarak, seçilen kestirim modelinin güvenilirliğini sınamaktadır (Vieira et al., 1983; Isaaks and Srivastava, 1989). Doğrulama analizi sırasında, tüm veri kümesi için tekrarlamak şartıyla, de-

Çizelge 1. Farklı yarivariogram modelleri (Isaaks and Srivastava, 1989).

Table1. Different semivariogram models (Isaaks and Srivastava, 1989).

Yarivariogram Modeli	Fonksiyon	Özel Durum
Üssel (Exponential)	$\gamma(h) = C_0 + C_1 * [1 - \exp(-3h/a)]$	$h \geq 0$
Küresel (Spherical)	$\gamma(h) = C_0 + C_1 * [(3h/2a) - (1/2)(h^3/a^3)]$ $\gamma(h) = C_0 + C_1 * (C_0 + C_1)$	$h \leq a$ $h > a$
Gaussian	$\gamma(h) = C_0 + C_1 * [1 - \exp(-3h^2/a^2)]$	$h \geq 0$
Dairesel (Circular)	$\gamma(h) = [(2h/\pi a) (1 - (h/a))] + [(2/\pi) \arcsin h/a]$	$0 \leq h \leq a$

ğeri bilinen nokta veri kümesinin dışında bırakılarak seçili interpolasyon yöntemine göre kestirim yapılır. Daha sonra veri seti dışında bırakılan değere ait kestirim ve gerçek değer karşılaştırılır (Vieira et al., 1983; Isaaks and Srivastava, 1989). Karşılaştırma ve ortaya çıkan hatalarının değerlendirmesi için farklı hata ölçüm yöntemleri kullanılır. Çalışmada Ortalama Hata (Mean Error - ME), Mutlak Ortalama Hata (Mean Absolute Error - MAE), Karekök Ortalama Hata (Root Mean Square Error - RMSE) ve Standardize Karekök Ortalama Hata (Root Mean Square Standardized Error - RMSSE) ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Sırası ile kullanılan hata ölçüm yöntemleri eşitlik (9), (10), (11) ve (12)'de verilmiştir.

$$ME = N^{-1} \sum_{i=1}^N [Z'(X_i) - Z(X_i)] \quad (9)$$

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^N |Z'(X_i) - Z(X_i)| \quad (10)$$

$$RMSE = [N^{-1} \sum_{i=1}^N [Z'(X_i) - Z(X_i)]^2]^{0.5} \quad (11)$$

$$RMSSE = [N^{-1} \sum_{i=1}^N [(Z'(X_i) - Z(X_i))/\sigma(X_i)]^2]^{0.5} \quad (12)$$

Eşitliklerde; $Z'(X_i)$ kestirim yapılan değeri, $Z(X_i)$ gözlem değerini, $\sigma(X_i)$ standard sapma değerini ve N toplam veri sayısını ifade etmektedir. RMSE değeri ne kadar küçük ise interpolasyon hata oranı o denli azdır. RMSSE değerinin bire yakınlığı, interpolasyon hata oranının düşüklüğünü göstermektedir. Benzer şekilde ME ve MAE değerlerinin sıfıra yakınlığı interpolasyon doğruluğunun yüksekliğini göstermektedir.

BULGULAR

Bu çalışmada, 1954 – 2014 yılları arasında Yeşilirmak Havzası'nda meydana gelen mekânsal yağış dağılımına ait değişim incelenmiştir. Üç aşamadan oluşan çalışmanın ilk aşamasında veri analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ana girdisi seçili istasyonlara ait yağış zaman serileridir. 1954 – 2014 yılları arasında atmış yıllık dönemi kapsayan, otuz istasyona ait zaman serileri incelenerek; Çizelge 2'de yer alan istasyonlara ait eksik yıllık toplam yağış yüksekliği verileri tamamlanmıştır.

Seçili istasyonların, yıllık toplam yağış yüksekliği değerlerine ait zaman serisi çalışmanın veri kümesini oluşturmaktadır. Veri kümesine ait tanımlayıcı istatistiksel veriler ile toplam yağış yüksekliği değişkenine ait sıklık dağılımı ve normalliğin araştırılması için histogram ve kutu diyagramlar çizilmiştir (Şe-

kil 2). Tanımlayıcı istatistiksel parametreler Çizelge 3'te verilmiştir. Orjinal veri kümesine ait minimum değer 372.80, maksimum değer 2241.00, medyan 450.15, standart sapma 373.68 ve ortalama 616.60 olarak hesaplanmıştır. Orjinal veri kümesi sağa çarpık olmakla birlikte basık değildir (Şekil 2a). Yağış yüksekliği frekans dağılımı, değişkenin çok büyük bir kısmının belirli bir sınıf aralığına toplandığını göstermektedir. Veri kümesini oluşturan minimum ve maksimum değerler arasında büyük bir fark bulunmakta olup orijinal veri kümesi normal dağılım göstermemektedir (Şekil 2a). Veri kümesine logaritmik dönüşüm uygulandığında değişkenin normale daha yakın bir dağılım gösterdiği, heterojenliğin ve uç değerlerin azaldığı saptanmıştır (Şekil 2b). Dönüşüm sonrası sağa çarpıklık görece olarak azalmıştır (Şekil 2b). Logaritmik dönüşüm uygulanmış veri kümesine ait minimum değer 2.57, maksimum değer 3.35, medyan 2.65, standard sapma 0.18 ve ortalama 2.74 olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasını oluşturan, seçili yöntemler arasında havzayı temsil eden en uygun modelin belirlenmesi için logaritmik dönüşümü yapılmış veri kümesi kullanılmıştır.

OK yöntemi için yarıvariogram analizi gerçekleştirilmiştir. Veri kümesine ait yarıvariogram bulutu çizilerek deneysel yarıvariogram çiftleri elde edilmiştir (Şekil 3 ve 4). Yağış değişkenini en iyi temsil edebilecek uygun adım mesafesi 0.7 km ve sınıf sayısı 12 olarak tayin edilmiştir. Deneysel yarıvariogramı temsil eden matematiksel fonksiyon araştırılmıştır. Araştırma, en uygun teorik model bulununcaya kadar değişik yarıvariogram modellerinin deneysel yarıvariogram çiftleri üzerine oturtulması ile gerçekleştirilmiştir. Teorik yarıvariogramın belirlenmesi için kullanılan yarıvariogram modelleri ve modeller sonucunda elde edilen hata değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

RMSE ve RMSSE değerleri dikkate alınarak dairesel yarıvariogram modeli, çiftleri en iyi temsil eden fonksiyon olarak seçilmiştir.

Yıllık ortalama yağış değişkene ait deneysel ve teorik yarıvariogramlar Şekil 4'de verilmiştir. Teorik yarıvariograma ait matematiksel fonksiyon grafiğinden yağış değişkeni eşik değeri 0.35 ve etki uzaklığı 1.50 km olarak tespit edilmiştir. Belirlenen model parametrelerine göre gerekli hesaplamalar yapılarak, kestirim gerçekleştirilmiştir.

Deterministik yöntemlerden IDW ve stokastik yöntemlerden OK için belirlenen model parametrelerine

Çizelge 2. Veri setinde tamamlanan eksik yıllar.
Table 2. Missing years completed in dataset.

İstasyon adı	Zaman serisindeki eksik veri (yıl)
Sebinkarahisar	2013
Divriği	2013
Çerkeş	2013
Kangal	2013
İspir	2013
Arapkır	2012, 2013
Çemişgezek	2013
Bafra	2013
Trabzon	2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013
Tosya	2013
Merzifon	2013

Çizelge 3. Veri kümelerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler.
Table 3. Descriptive statistical values of data sets.

	Maksimum	Medyan	Minimum	Standard sapma	Ortalama
Orijinal veri kümesi	2241.00	450.15	372.80	373.68	616.60
Logaritmik dönüşüm yapılmış veri kümesi	3.35	2.65	2.57	0.18	2.74

göre gerekli hesaplamalar yapılarak kestirim değerleri elde edilmiştir. Seçili istasyonlar için model sonuçlarına göre elde edilen kestirim değerleri ve gerçek rasat değerleri Çizelge 5’de verilmiştir.

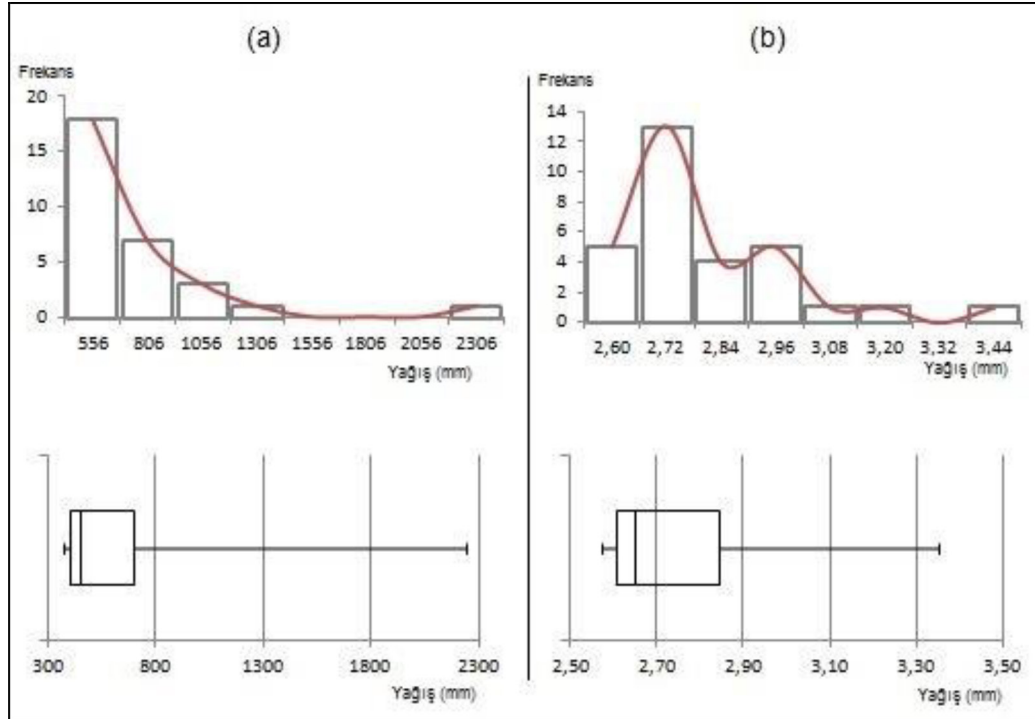
OK ve IDW yöntemleri ile elde edilen mekânsal yağış dağılımı haritaları Şekil 5’de verilmiştir. Her iki yöntemle elden edilen haritalar; Karadeniz sahil şeridinde yaklaşıldığında yağış değerlerinin artış, havza merkezine doğru ise azalış eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Veri kümesine ait ölçüm değerleri ile IDW ve OK kestirimleri bir arada değerlendirilmiştir. OK yöntemi ile yapılan kestirimlerin, 24 istasyonda gerçek ölçüm değerlerine daha yakın olduğu saptanmıştır (Çizelge 5). Her iki yöntemde ölçülen gerçek rasat değerlerine göre büyük sapmalar, havzanın kuzey doğu ve güney aksında yer alan istasyonlarda gerçekleşmiştir.

Kestirimlerde en büyük ve en küçük mutlak sapmalar IDW yönteminde hesaplanmıştır. En büyük mutlak sapma Rize istasyonunda 1654.54 mm ve en küçük mutlak sapma Tosya istasyonunda 4.86 mm olarak hesaplanmıştır.

Ölçüm istasyonlarına ait Bırakımlı Çapraz Geçerlilik doğruluk analizine göre hesaplanan hata değerleri Çizelge 6’da verilmiştir. OK yöntemi ile hesaplanan RMSE değeri IDW yöntemi ile hesaplanan değerlere göre daha düşüktür. Benzer şekilde MAE değeri, OK yönteminde sıfıra daha yakındır.

Deterministik yöntemlerden IDW ve stokastik yöntemlerden OK yönteminin karşılaştırıldığı çalışmanın ikinci aşamasında, OK yöntemi ile yapılan kestirimler daha doğru sonuçlar vermiştir. Çalışmada, çalışma alanını temsil eden en uygun enterpolasyon yöntemi OK olarak belirlenmiştir. Çalışmanın üçüncü kıs-



Şekil 2. Veri kümesine ait histogram ve kutu grafikler. (a) Orijinal veri kümesine ait (b) Logaritmik dönüşüm yapılmış veri kümesine ait.

Figure 2. Histogram and box plot graphs of data set. (a)Original data set (b) Logarithmic conversion.

Çizelge 4. Teorik yarıvariogram modelleri ve hata değerleri.

Table 4. Theoretical semivariogram models and error values.

	RMSE	RMSSE
Üssel (Exponential)	0.1591	0.9487
Küresel (Spherical)	0.1510	0.9597
Gaussian	0.1690	1.4830
Dairesel (Circular)	0.1470	0.9908

RMSE: Karakök Ortalama Hata

RMSSE:Standardize Karekök Ortalama Hata

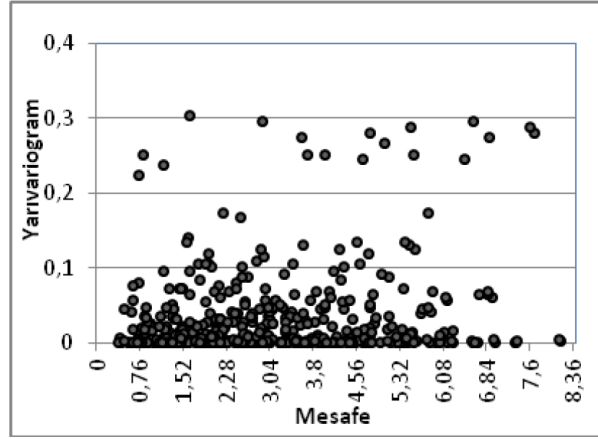
mini oluşturan; otuzar yıllık iki dönemi temsil eden mekânsal yağış haritalarının oluşturulması ve değişimin araştırılması için jeostatistiksel enterpolasyon yöntemi olan OK kullanılmıştır.

1954 – 1984 ve 1984 – 2014 dönemlerine ait Yeşilirmak Havzası'nda meydana gelen mekânsal yağış dağılımı haritaları sırası ile Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.

1954 – 1984 yılları arasındaki otuz yıllık döneme ait mekânsal yağış dağılımı incelendiğinde, en yüksek

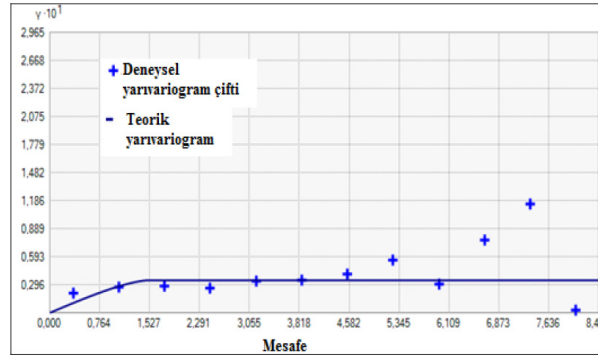
yağış kuşağı havzanın kuzey aksında yer almaktadır. En düşük yağış ise Çekerek Çayı'nın güneyi ile Bozok Platosu'nun kuzeyinde yer alan geniş bir kuşak üzerinde kaydedilmiştir. Dönemde, genel olarak havzanın kuzeyi güneyine göre daha fazla yağış almıştır.

1984 – 2014 yılları arasını kapsayan otuz yıllık döneme ait mekânsal yağış dağılımı incelendiğinde, havza genelinde yağış kuşaklarının önceki dönem ile benzer olduğu belirlenmiştir. İkinci otuz yıllık dönemde, hav-



Şekil 3. Veri kümesine ait yarıvariogram bulutu.

Figure 3. Semivariogram cloud of data set.



Şekil 4. Veri kümesine ait deneysel ve teorik yarıvariogram.

Figure 4. Experimental and theoretical semivariogram of data set.

zaya düşen yağış miktarının genel olarak arttığı tespit edilmiştir. Özellikle havza kuzeyinde yağış yüksekliği ortalaması 645 – 676 mm aralığından, 708 – 758 mm aralığına yükselmiştir. Benzer şekilde havzanın güneybatısında yağış yüksekliği 490 – 512 mm aralığından, 560 – 575 mm aralığına yükselmiştir. Bir önceki dönemde havzanın en az yağış alan kuşağı, bu dönemde daralmış ve kuşaktaki yağış yüksekliği artmıştır. Havzanın en az yağış alan kuşağı ise 354 – 380 mm aralığı ile Kelkit Çayı'nın güneyinde, Erzincan'ın kuzeyinde yer alan dar kuşak olmuştur.

Genel olarak mekânsal yağış dağılımındaki değişim, 1954 – 1984 ve 1984 – 2014 yılları arasında incelendiğinde iki temel bulgu ortaya çıkmaktadır. Bulgulardan ilki, havzaya düşen yağış miktarının artış eğilimi göstermesidir. Artış eğilimi özellikle kuzey – güney aksında daha belirgindir. Diğer temel bulgu ise havzanın en az yağış yüksekliğe sahip olan kuşağının değişmesidir. 1954 – 1984 döneminde, en az

yağış alan kuşak Çekerek Çayı'nın güneyi ile Bozok Platosu'nun kuzeyinde yer alırken; 1984 – 2014 döneminde en az yağış alan kuşak, Kelkit Çayı'nın güneyinde, Erzincan'ın kuzeyinde yer almıştır.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

1954 – 2014 yılları arasında Yeşilirmak Havzası'nda meydana gelen mekânsal yağış dağılımına ait değişimin incelendiği bu çalışmanın iki temel sonucu bulunmaktadır. Sonuçlardan ilki, jeostatistiksel bir interpolasyon yöntemi olan OK'dan elde edilen modelin, deterministik bir interpolasyon yöntemi olan IDW'den elde edilen modele göre daha iyi kestirim sonuçları vermesidir. Çalışmanın bir diğer sonucu ise ikinci otuz yıllık dönemde havza genelinde yağış yüksekliğinin artış eğiliminde olmasıdır.

Çizelge 5. İstasyonlara ait rasat ve kestirim değerleri.
Table 5. Observed and estimated values of stations.

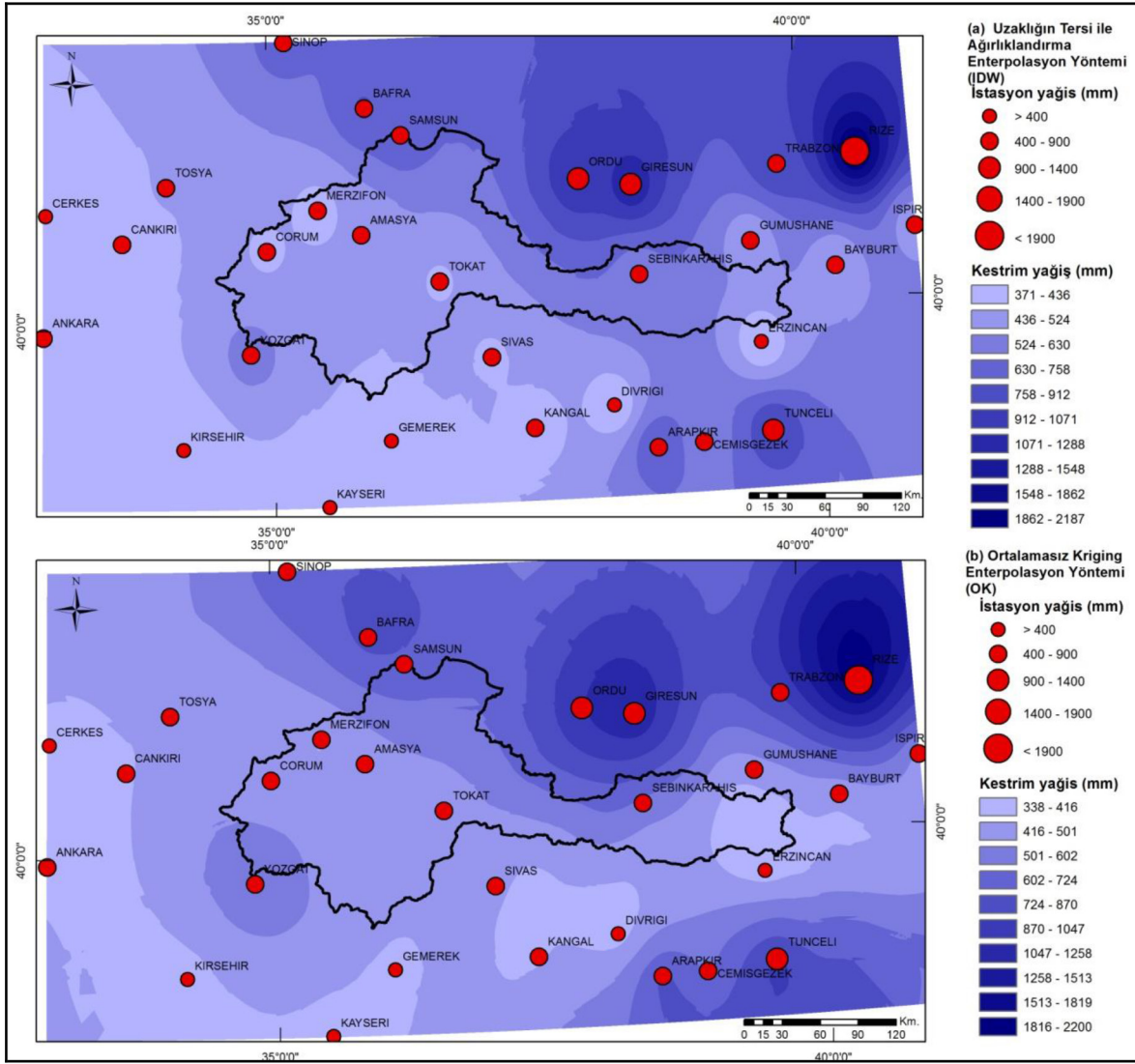
İstasyon adı	Uzun Dönem Rasat Ortalaması	Kestirim		İstasyon adı	Uzun Dönem Rasat Ortalaması	Kestirim	
		IDW	OK			IDW	OK
AMASYA	2.65	2.69	2.66	KANGAL	2.61	2.69	2.67
ANKARA	2.6	2.62	2.61	KAYSERİ	2.59	2.63	2.65
ARAPKIR	2.88	2.71	2.7	KIRSEHIR	2.58	2.66	2.71
BAFRA	2.89	2.78	2.82	MERZIFON	2.62	2.69	2.68
BAYBURT	2.64	2.85	2.78	ORDU	3.02	2.89	2.97
CANKIRI	2.61	2.64	2.63	RIZE	3.35	2.77	2.83
CEMISGEZEK	2.77	2.81	2.91	SAMSUN	2.85	2.8	2.81
CERKES	2.59	2.63	2.64	SEBINKARAHIS	2.76	2.84	2.84
CORUM	2.64	2.68	2.66	SINOP	2.83	2.74	2.76
DIVRIGI	2.58	2.78	2.72	SIVAS	2.64	2.69	2.62
ERZINCAN	2.57	2.82	2.7	TOKAT	2.64	2.71	2.7
GEMEREK	2.6	2.63	2.66	TOSYA	2.65	2.65	2.64
GIRESUN	3.1	2.86	2.91	TRABZON	2.95	2.85	2.99
GUMUSHANE	2.66	2.83	2.69	TUNCELI	2.96	2.72	2.72
ISPIR	2.68	2.94	3	YOZGAT	2.76	2.63	2.66

OK: Ortalamasız Kriging Enterpolasyon Yöntemi

IDW: Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma Enterpolasyon Yöntemi

Çalışma alanının temsili için seçilen MGİ'lerin çok büyük bir kısmı havza sınırları içerisinde yer almaktadır. Yeşilirmak Havzası içerisinde uzun dönem kesintisiz rasat verilerine sahip istasyon sayısının az olması sebebiyle komşu havzalarda yer alan istasyon verilerinden faydalanılmıştır. Havza drenaj alanı dışında yer alan MGİ verilerinin kullanılması tartışmaya açık bir konu olmakla beraber, deterministik ve stokastik yöntemlerin ihtiyaç duyduğu olabildiğince büyük veri kümesine ulaşmak için azami ölçekte kullanılması zorunlu olmuştur. Gerek havzadaki MGİ sayısının az olması, gerekse istasyonların coğrafi dağılımlarının homojen olmaması veri kümesinin havza-yı temsil etme yetisini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum logaritmik dönüşüm uygulanmış veri setinde yer alan uç değerlerde açıkça görülmektedir.

Yeşilirmak Deltası'na ait kıyı çizgisi 1975'ten günümüze gerileme eğilimi göstermektedir (Avcı vd., 2003; Avcı et al., 2004; Köle vd., 2016). Bu gerilemede antropojenik bir etkinin olmadığı, bölgesel tektonik yapının korunduğu, hâkim rüzgâr, dalga etkisi vb. doğal etkenlerin değişmediği varsayılacak olursa; kıyı çizgisi gerilemesi yağış yüksekliği artış eğilimi ile örtüşmemektedir. Yağış yüksekliğinin artması ve diğer faktörlerin değişmemesi koşulunda, akarsuyun daha fazla aşındırma faaliyeti yaparak daha fazla sediman taşınması gerekmektedir. Bu durumda, deltanın deniz yönünde gelişimine devam etmesi beklenen bir sonuç olarak karşımıza çıkacaktır. Beklenen sonucun tersine, deltada gerileme süreci hakimdir. Gerileme süreci, önceki araştırmacılar tarafından antropojenik müdahale ile açıklanmaktadır. Delta gelişiminde hakim olan doğal hiçbir faktörün değişmediği koşulu ve



Şekil 5. Mekânsal yağış dağılımı.(a) Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma enterpolasyon yöntemine göre (b) Ortalamasız Kriging enterpolasyon yöntemine göre.

Figure 5. Spatial distribution of precipitation. (a) Inverse Distance Weighted interpolation method (b) Ordinary Kriging interpolation method.

Çizelge 6. Veri kümesine ait hata değerleri.

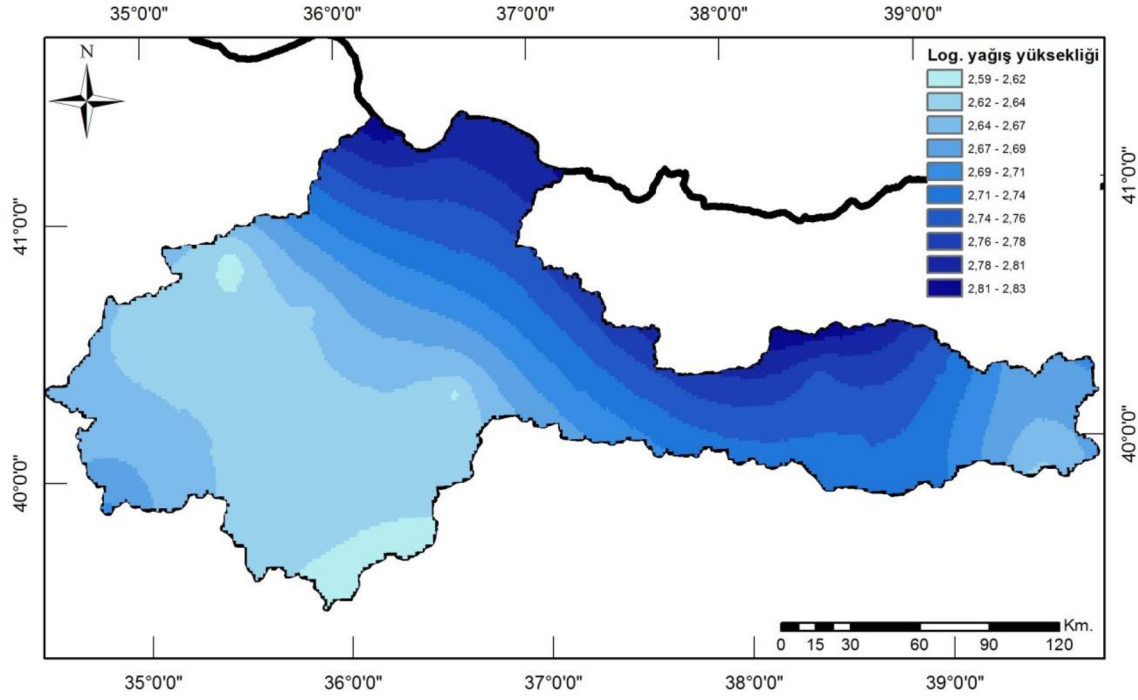
Table 6. Error values of data set.

	ME	MAE	RMSE
IDW	-0.001	0.122	0.1670
OK	0.002	0.102	0.1470

ME: Ortalama Hata

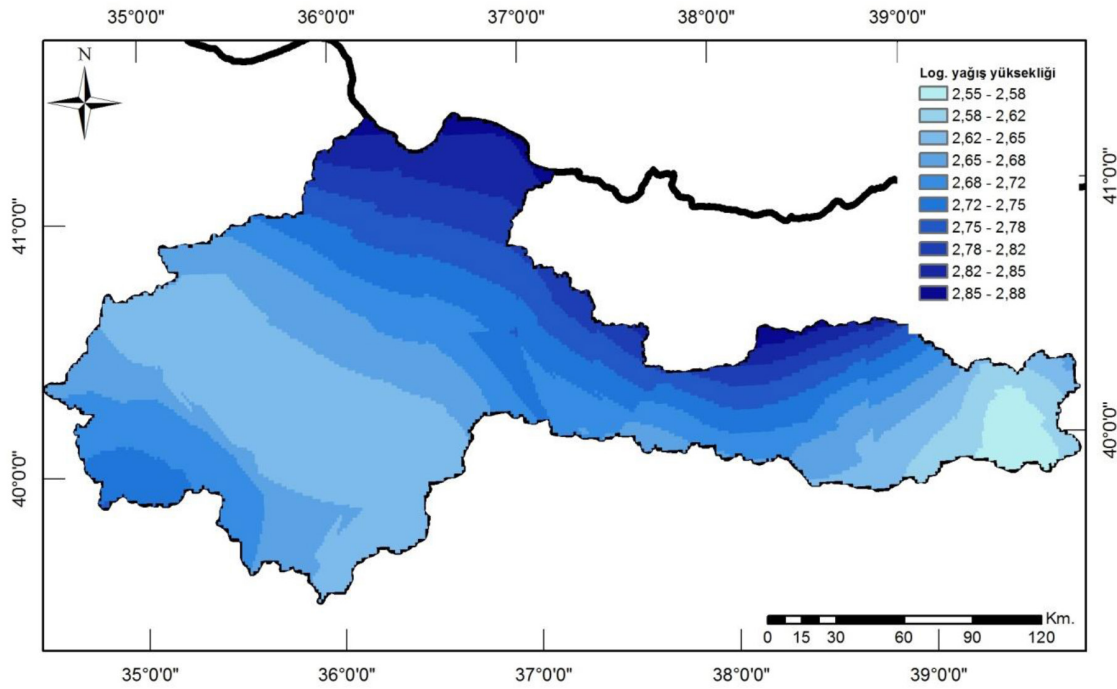
MAE: Mutlak Ortalama Hata

RMSE: Karakök Ortalama Hata



Şekil 6. Yeşilırmak Havzası için mekânsal yağış dağılımı (1954 – 1984).

Figure 6. Spatial distribution of precipitation for Yeşilırmak Basin (1954 – 1984).



Şekil 7. Yeşilırmak Havzası için mekânsal yağış dağılımı (1984 – 2014).

Figure 7. Spatial distribution of precipitation for Yeşilırmak Basin (1984 – 2014).

yağış yüksekliğinde yaşanan artış, antropojenik etkinin varlığını da kuvvetlendirmektedir.

Antropojenik müdahalenin ne oranda delta gelişiminde etken olduğunun ortaya çıkartılması gerekmektedir. Bu nedenle, delta oluşumunda etken bölgesel tektonik yapı, hâkim rüzgâr, dalga etkisi vb. doğal etkenlerin zamana bağlı olarak olası değişiminin detaylı bir şekilde araştırılması ve bir arada yorumlanması gerekmektedir. Bu sayede daha anlamlı sonuçlara ulaşılabileceği düşünülmektedir.

KATKI BELİRTME

Yazar; bu çalışmanın olgunlaşmasında değerli görüşlerinden yararlanan, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Coğrafya Bölümü öğretim üyesi Dr. Olgu Aydın'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Ahrens, B., 2006. Distance in spatial interpolation of daily rain gauge data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(2), 197- 208.
- Atalay, İ., 1982. Türkiye Jeomorfolojisine Giriş. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi. Yayın No: 9, İzmir.
- Atalay, İ., 1986. Uygulamalı Hidrografiya. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi. Yayın No: 38, İzmir.
- Aydın, O., 2014. Türkiye'de yıllık ortalama toplam yağışın kriging yöntemiyle belirlenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara (yayımlanmamış).
- Aydın, O., ve Çiçek, İ., 2013. Ege bölgesindeki yağışın mekânsal dağılımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11 (2), 101-120.
- Aydın, O., and Çiçek, İ., 2015. Geostatistical Interpolation of Precipitation in Turkey. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken.
- Avcı, K.M., Erkal, T., ve San, B.T., 2003. Yeşilirmak Deltası kıyı çizgisi değişiminin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemi ile incelenmesi. *Maden Tetkik ve Arama (MTA), Rapor no: 10612*, Ankara.
- Avcı, K.M., Erkal, T., and San, B.T., 2004. Practical detection of coastline changes of the Yeşilirmak Delta using remote sensing and GIS techniques, northern Turkey. *Proceedings of International Symposium on Earth System Sciences 2004*, İstanbul.
- Bailey, T.C., and Gatrell, A.C., 1995. *Interactive Spatial Data Analysis*. Addison Wesley Longman Limited, Harlow.
- Bayazıt, M., 1995. Hidroloji. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Bivand, R.S., Pebesma, E.J., and Gómez-Rubio, V., 2008. *Applied Spatial Data Analysis with R (Use R)*. Springer, New York.
- Chun, Y., and Griffiths, D.A., 2013. *Spatial Statistics&Geostatistics*. SAGE, London.
- Delhomme, J.P., 1978. Kriging in the hydrosociences. *Advantages in Water Resources*, 1(5) , 251-266.
- Erkal, T., 1991. Çarşamba ovası (yeşilirmak deltası) ve çevresinin jeomorfolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul (yayımlanmamış).
- Erkal, T., 1995. Plio-Quaternary evolution of the Yeşilirmak Delta, northern Turkey. *Geology of the Black Sea Region*, A.Erler, T.Ercan, E.Bingöl and S.Örçen (eds.), *Proceedings of the International Symposium on the Geology of the Black Sea Region*, Ankara.
- Ertunç, G., 2013. Kovaryans eşlemeli krigleme yöntemi ile kaynak kestirimi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara (yayımlanmamış).
- Fetter, C.W., 1994. *Applied Hydrogeology*. Prentice Hall, New Jersey.
- Fisk, H.N., 1955. Sand facies of recent Mississippi Delta deposit. 4th World Petroleum Congress. Rome.
- Fotheringham, A., Brunsdon, C., and Charlton, M., 2000. *Quantitative Geography Perspectives on Spatial Data Analysis*. SAGE, London.
- Frazier, D.E, 1967. Recent deltaic deposits of the Mississippi River: Their development and chronology. *Gulf Coast Association of Geological Societies*, 17, 287-315.
- Franke, R., and Nielson, G., 1980. Smooth interpolation of large sets of scattered data. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 15, 1691-1704.
- Hengl, T., 2009. *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Isaaks, E., and Srivastava, R., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.

- İnal, C., ve Yiğit C.O., 2003. Jeodezik uygulamalarda Kriging interpolasyon yönteminin kullanılabilirliği. TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Konya.
- Jagannathan, P., Arlery, R., Ten, K.H., and Zavarina, M., 1967. A note on climatological normals. World Meteorological Organization (WMO), *Technical Note 84*, Geneva.
- Kalkhan, M.A., 2011. Spatial Statistics Geospatial Information Modelling and Thematic Mapping. CRC Press, USA.
- Kerey, E.İ., ve Erkal, T., 2014. Sedimantoloji. Nobel, Ankara.
- Köle, M.M, ve Ataoğlu, M., 2016. Yeşilırmak Deltası'nda 2000 - 2016 yılları arasında gözlenen kıyı erozyonu. 4.Uluslararası Coğrafya Sempozyumu GEOMED 2016, R. Efe, İ. Cürebal ve L. Levai (edt.), Antalya.
- Krige, D., 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, 52, 119-139.
- Krivoruchko, K., Gotway, C., and Zhigimont, A., 2003. Statistical tools for regional data analysis using GIS. GIS'03 Proceedings of the 11th Association for Computing Machinery (ACM) International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, New Orleans.
- Liu, F, Yuan, L., Yang, Q., Ou, S., Xie, L., and Cui, X., 2014. Hydrological responses to the combined influence of diverse human activities in the Pearl River delta, China. Catena, 113, 41-55.
- Saraç, C., 1994. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel simülasyon yöntemlerinin kullanılması. Jeoloji Mühendisliği, 44-45, 21-27.
- Tercan, A.E., ve Saraç, C., 1998. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın no 48, Ankara.
- Thompson, M., 1983. Control Procedures in Geochemical analysis. In statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting, Hovvarth, R.J. (eds.), Elsevier, Amsterdam.
- Ünver, Ö., Gangam, H., ve Altunkaynak, B., 2013. Temel İstatistik Yöntemler. Seçkin, Ankara.
- Vieira, S.R., Hatfield, J.L., Nielsen, D.R., and Biggar, J.W., 1983. Geoistatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, 51(3), 1-75.
- Xing, W., and ChaoYu, W., 2011. Holocene delta evolution and sequence stratigraphy of the Pearl River Delta in South China. Science China Earth Sciences, 54(10), 1523-1541.