



## Comparison of various spatial interpolation methods for precipitation in Turkey

## Türkiye’de yağışın farklı mekânsal enterpolasyon yöntemleriyle karşılaştırılması

Necla Türkoğlu<sup>1</sup>  
Olgu Aydın<sup>2</sup>  
Neşe Duman<sup>3</sup>  
İhsan Çiçek<sup>4</sup>

### Abstract

Precipitation has a structure varying at spatial and temporal scale. Understanding this variation of precipitation has a significant role in the applications of hydrology, climatology, agriculture, ecology and other environmental sciences. It is difficult to make a correct forecast for precipitation and to reveal its spatial distribution in areas in which topography varies in a short distance and there is the insufficient number of stations. In recent years, geostatistical methods are commonly used in solving this problem. Geostatistical methods are preferred in studies, especially on modeling precipitation. Suggesting spatial distribution of precipitation with auxiliary variables explaining precipitation provides correct precipitation forecasts. The aim of this study is to create precipitation forecasting models with the help of precipitation in Turkey where topographic conditions change in a short distance and auxiliary variables such as coastal proximity, elevation, aspect and slope affecting precipitation and to select the correct precipitation forecasting model. The annual mean total precipitation values of 276 meteorological stations for the period of 1970–2014 were used for this purpose. The Kriging

### Özet

Yağış, mekânsal ve zamansal ölçekte değişkenlik gösteren bir yapıya sahiptir. Yağışın bu değişkenliğini anlamak hidroloji, klimatoloji, ziraat, ekoloji ve diğer çevre bilimleri uygulamalarında önemli bir yer tutmaktadır. Topografyanın kısa mesafede değişim gösterdiği, istasyon sayısının yetersiz olduğu alanlarda yağışın doğru tahminini yapabilmek ve mekânsal dağılımını ortaya koymak zordur. Bu problem gidermede son yıllarda jeostatistik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeostatistik yöntemler özellikle yağış modellemesini konu alan çalışmalarda tercih edilmektedir. Yağışı açıklayan yardımcı değişkenlerle birlikte yağışın mekânsal dağılımının ortaya konulması, doğru yağış tahminleri oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, topografik koşulların kısa mesafede değiştiği Türkiye’de, yağış ve yağışı etkileyen kıyıya uzaklık, yükseklik, bakı ve eğim gibi yardımcı değişkenler yardımıyla yağış tahmin modelleri oluşturulması ve en doğru yağış tahmin modelinin seçilmesidir. Bu amaçla 276 meteoroloji istasyonunun 1970–2014 dönemine ait yıllık ortalama toplam yağış

<sup>1</sup> Ph.D., Assoc. Prof., Ankara University, Faculty of Humanities, Department of Geography, [nturkoglu@ankara.edu.tr](mailto:nturkoglu@ankara.edu.tr)

<sup>2</sup> Ph.D., Asst. Prof., Ankara University, Faculty of Humanities, Department of Geography, [oaydin@ankara.edu.tr](mailto:oaydin@ankara.edu.tr)

<sup>3</sup> Ph.D., Asst. Prof., Çankırı Karatekin University, Faculty of Literature, Department of Geography, [nesekduman@gmail.com](mailto:nesekduman@gmail.com)

<sup>4</sup> Ph.D., Prof., Ankara University, Faculty of Humanities, Department of Geography, [Ihsan.Cicek@ankara.edu.tr](mailto:Ihsan.Cicek@ankara.edu.tr)

(Ordinary Kriging), Co-Kriging (Ordinary Co-Kriging) and Kriging with External Drift techniques were used in modeling precipitation. The Coefficient of Determination ( $R^2$ ), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Mean Error (ME) performance measurement values were calculated by evaluating the results with Cross Validation. The precipitation model acquired from the Co-Kriging technique in which elevation was used as the auxiliary variable gave the performance results of  $R^2$  value as 0.64, RMSE (mm) value as 297.8, ME value as 247.8 and MAE value as 253.9. The precipitation model acquired from the Kriging with External Drift technique in which the coastal proximity was used as the auxiliary variable gave the results of  $R^2$  value as 0.64, RMSE (mm) value as 162.3, ME value as -0.246 and MAE value as 107.8. Although it has similarities with  $R^2$  values of the Co-Kriging technique, there is a difference in other performance measurements. The error estimation chart of the results of the Kriging with External Drift analysis in which auxiliary variables of coastal proximity and elevation were used together indicated lower values than the other analyses in terms of high and low estimation values in the study. Furthermore, when the performance results were evaluated with the precipitation estimation model created with the auxiliary variable of coastal proximity, small differences were observed as 0.01 in  $R^2$  and 3.9 in RMSE (mm) value. In accordance with these results, the Kriging with External Drift analysis in which the auxiliary variables of coastal proximity and elevation were used together is the most correct precipitation model created for the annual mean total precipitation estimation model in Turkey.

**Keywords:** Precipitation; precipitation model; geostatistics; Kriging; Co-Kriging; Kriging with External Drift; Turkey.

[\(Extended English abstract is at the end of this document\)](#)

değerleri kullanılmıştır. Yağışın modellenmesinde Kriging (Ordinary Kriging), Co-Kriging (Ordinary Co-Kriging) ve Kriging with External Drift tekniklerinden faydalanılmıştır.

Sonuçlar Çapraz Geçerlilik (Cross Validation) ile ölçülerek, Belirleyicilik Katsayısı ( $R^2$ ), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Ortalama Hata (ME) performans ölçüm değerleri ile hesap edilmiştir. Yüksekliğin yardımcı değişken olarak kullanıldığı Co-Kriging tekniğinden elde edilen yağış modeli,  $R^2$  değeri 0.64, RMSE (mm) değeri, 297.8, ME değeri 247.8 ve MAE değeri, 253.9 performans sonuçları vermiştir. Kıyıya uzaklığın yardımcı değişken olarak kullanıldığı, Kriging with External Drift tekniğinden elde edilen yağış modeli  $R^2$  değeri 0.64, RMSE (mm) değeri, 162.3, ME değeri -0.246 ve MAE değeri 107.8 sonuçları vermiştir. Co-Kriging tekniğine ait  $R^2$  değerleri ile benzerlik göstermesine rağmen, diğer performans ölçümlerinde fark bulunmaktadır. Çalışmada, kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkeninin birlikte kullanıldığı Kriging with External Drift analizi sonucuna ait hata tahmin haritası yüksek ve düşük tahmin değerleri açısından diğer analizlere göre daha düşük değerler göstermiştir. Ayrıca performans sonuçları kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni kullanılarak oluşturulmuş yağış tahmin modeliyle birlikte değerlendirildiğinde,  $R^2$  değerinde 0.01’lik, RMSE (mm) değerinde 3.9’luk küçük bir fark olduğu izlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkenlerinin birlikte kullanıldığı Kriging with External Drift, Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış tahmin modeli için oluşturulmuş en doğru yağış modelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Yağış; yağış modeli; jeoistatistik; Kriging; Co-Kriging; Kriging with External Drift; Türkiye.

## 1. Giriş

Yağış, su kaynaklarını etkileyen en önemli bir iklim elemanıdır. Yağışın doğru tahmin edilmesi suya bağlı planlamalarda büyük önem taşımaktadır. Yağış dağılımını etkileyen iki önemli etmen vardır. Bunlar, küresel faktörler ve coğrafi faktörlerdir. Küresel faktörlerin yağış üzerine etkisi önemlidir. Hava kütlelerinin nemlilik ve kararlılık özelliği, genel atmosfer dolaşımı açısından konveksiyon ve konverjans ya da sübsidans ve diverjans alanlarına ve hava kütleleri ile basınç merkezlerinin mevsimlik hareketlerine göre konumu, yükselici hareketlerin kuvveti ve sürekliliği, bu hareketlerin zonal basınç dağılışı, sıradağlar veya tek dağlar gibi yer şekillerini oluşturan topografik engeller, siklonik ve diğer atmosferik karışıklıklar küresel faktörler olarak bilinir (Türkeş, 2010). Yükselti, bakı, yer şekilleri (rölyef), denize yakınlık-uzaklık (karasallık derecesi), orografik özellikler coğrafi faktörleri oluşturmaktadır. Türkiye’nin iklimini belirleyen bu faktörler, yağışın alansal ve zamansal değişiminin yanında farklı yağış tiplerinin oluşmasında da etkilidir. Bu sebeple yağışın dağılışı ve miktarını tahmin ederken, etkili olan faktörlerin (eğim, bakı, kıyıya uzaklık ve yükseklik) göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Son yıllarda jeoistatistik yöntemler, yağışın miktarını ve alansal dağılımını belirlemede en sık kullanılan yöntemler arasında sayılmaktadır. Bu yöntemler, mekânsal değişim ölçeğinin belirlenmesi ve tahmin edilmesi, bölge tanımlanması, çoklu veri analizi, olasılık haritaları gibi birçok mekânsal problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Veri noktalarını almak ve “*tüm alanda verinin nasıl bir dağılım gösterdiği ile ilgili kullanışlı ve ilgi çekici sonuçları anlatan bir model oluşturmak*” jeoistatistik yöntemlerinin en önemli amaçlarından birini oluşturur (Hengl, 2009). Ayrıca, hata hassasiyetini arttırmak için ikincil verilerin tahmin sürecine dâhil edilebilmesi, jeoistatistik yöntemlerde büyük bir avantajdır (Kravchenko, vd., 1993; Wackernagel, 2003). Bu özellik, tahmin modellerinin geliştirilmesine olanak sağlar. Yağışın modellenmesi ile ilgili çalışmaların sayısı oldukça fazladır. Özellikle yardımcı değişkenlerin analize dâhil edildiği, modellerin karşılaştırıldığı ve en doğru modeli oluşturmayı hedefleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Philips, vd., 1992; Abteu, vd., 1993; Atkinson ve Llyod, 1998; Goovaerts, 2000; Diodato, 2005; Lloyd, 2005; Buytaert, vd., 2006; Schuurmans, vd., 2007; Carrera-Hernandez ve Gaskin, 2007; Basistha, vd., 2008; Moral, 2010; Tobin, vd., 2011; Di Piazza, vd., 2011; Siva, vd., 2014; Silva ve Simões, 2014; Yang, 2015; Frazier, vd., 2016).

Abteu vd. (1993) Güney Florida’da 185\*185 km<sup>2</sup>’lik bir alanda noktasal ve alansal aylık yağış tahminleri yapmışlardır. Bu amaçla altı farklı yöntem kullanmışlardır. Bu yöntemlerden, optimal enterpolasyon ve Kriging metodlarının diğerlerine göre daha avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Goovaerts (2000) Portekiz’de 5.000 km<sup>2</sup>’lik bir alanda, yağışın mekânsal tahmini için Simple Kriging (SK), Kriging with External Drift (KED) ve Co-Kriging tekniklerini karşılaştırmıştır. Çalışmada yağışın, yükseklik değişkeni ile olan ilişkisinin önemini vurgulamıştır. Diodato (2005) Güney İtalya’daki dağlık bölgede, yağışın topografya etkisini araştırmıştır. Yıllık ve mevsimsel yağışın tahmini için, yükseklik ve topografik indeks yardımcı değişkenlerini kullanmıştır. Co-Kriging’in yeryüzü şekillerinin birkaç özelliğini hesaba katarak uygulanabilen, esnek ve güvenilir bir enterpolasyon tekniği olduğunu belirtmiştir. Schuurmans vd. (2007) Hollanda’nın yağış tahminini yaptıkları çalışmalarında OK yöntemini, yüksek çözünürlüklü günlük yağış elde etmek için KED ve Co-Kriging yöntemlerini kullanmışlardır. Radar ve yağış ölçüm verisini birlikte kullandıkları KED ve Co-Kriging metodlarının, özellikle büyük ölçekli alan için daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Frazier vd. (2016) Hawaii Adaları’nda aylık-yıllık yağışın mekânsal ve zamansal tahmininde, Kriging algoritması olan OK, Co-Kriging ve KED tekniklerini kullanmışlardır. OK’nın en az hata istatistiği ürettiği sonucuna varmışlardır.

Türkiye’de de son yıllarda yapılan birçok çalışmada jeoistatistik yöntemler kullanılmıştır. Bostan ve Akyürek (2007) Türkiye’de 225 meteoroloji istasyonunun 1970–2003 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değerlerini kullanarak, sayısal yükseklik modelinden ve sayısal akarsu ağından

elde ettikleri ikincil veriler yardımıyla yağışın mekânsal dağılımını belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada Co-kriging ve Geographically Weighted Regression (GWR) teknikleri kullanılmıştır. Gözlemlenen ve model sonucunda tahmin edilen değerler arasında GWR yöntemi ile 0.826, Co-Kriging ile 0.425 regresyon katsayıları elde edilmiştir. Bostan vd. (2012) yükseklik, bakı, yüzey pürüzlüğü, kıyıya uzaklık, arazi kullanımı ve ekolojik bölgeler gibi çok sayıda değişken kullanarak Türkiye’de 1970–2006 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değişiminin mekânsal dağılımını haritalamaya çalışmışlardır. Çoklu Doğrusal Regresyon (Multiple Linear Regression, MLR), OK, RK, UK, GWR tekniklerini karşılaştırmışlardır. Genel olarak Kriging yöntemlerinin MLR analiz sonuçlarına göre, daha üstün bir enterpolasyon sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Aydın ve Çiçek (2015) 228 meteoroloji istasyonunun 1976–2010 dönemine ait yıllık ortalama toplam yağış verisini kullanarak yağış modelleri oluşturmuşlardır. İlk olarak, farklı teorik yarıvariogram modellerini deneyerek yağış tahmin modelleri geliştirmişlerdir. İkinci olarak Türkiye’yi jeomorfolojik özellikleri ve her bir bölgeye asgari 35 ölçüm noktası düşecek şekilde 6 bölgeye ayırıp, her bir bölge için yağış modelleri üretmişlerdir. Son olarak, her bir bölge için oluşturulan teorik yarıvariogram modellerini tüm ülke için tekrar kullanarak yağış tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Bütün modeller karşılaştırıldığında, en doğru yağış modelinin Bölge 4’ten elde edilen lokal teorik yarıvariogram ile gerçekleştirilen global yağış tahmin modelinin verdiği sonucuna varmışlardır. Türkiye ölçeğinde yapılan bu çalışmaların yanında, bölgesel ölçekte gerçekleştirilmiş çalışmalar da bulunmaktadır (Çetin ve Tülücü, 1998; Apaydin, vd., 2011; İlker ve Terzi, 2012; Aydın ve Çiçek, 2013).

Türkiye’de yağışın mekânsal dağılışı; topografik yapı, kısa mesafede büyük yükseklik farklarının bulunması, kıyılara paralel yüksek dağ sıralarının varlığı gibi pek çok nedenden ötürü karmaşık bir yapı göstermektedir. Ayrıca, Türkiye’de var olan meteoroloji istasyonlarının, sayısının yetersiz oluşu, istasyonların belirli bir alanın yağış karakterini yansıtacak şekilde dağılmamış olması ve yüksek kesimlerde meteoroloji istasyonunun yok denecek kadar az olması gibi sebepler yağışın mekânsal dağılımını açıklayabilmeyi zorlaştırmaktadır.

Buna göre çalışmanın esasını,

- 1970–2014 dönemine ait yıllık ortalama toplam yağış verisi kullanılarak yağış dağılışının gösterilmesi,
- En doğru yağış tahmin modelini elde etmek için, Kriging (Ordinary Kriging, OK) ve Co-Kriging (Ordinary Co-Kriging, COK) ve Kriging External with Drift (KED) tekniklerinin kullanılması oluşturmaktadır.

Çalışmada iki önemli sorunun cevabı açıklanmaya çalışılmaktadır.

- Türkiye’de en doğru yağış tahmini hangi modelle sağlanmıştır?
- Yardımcı değişkenlerin eklenmesi modelin sonucunu nasıl etkilemiştir?

## 2. Veri ve Yöntem

### 2.1. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

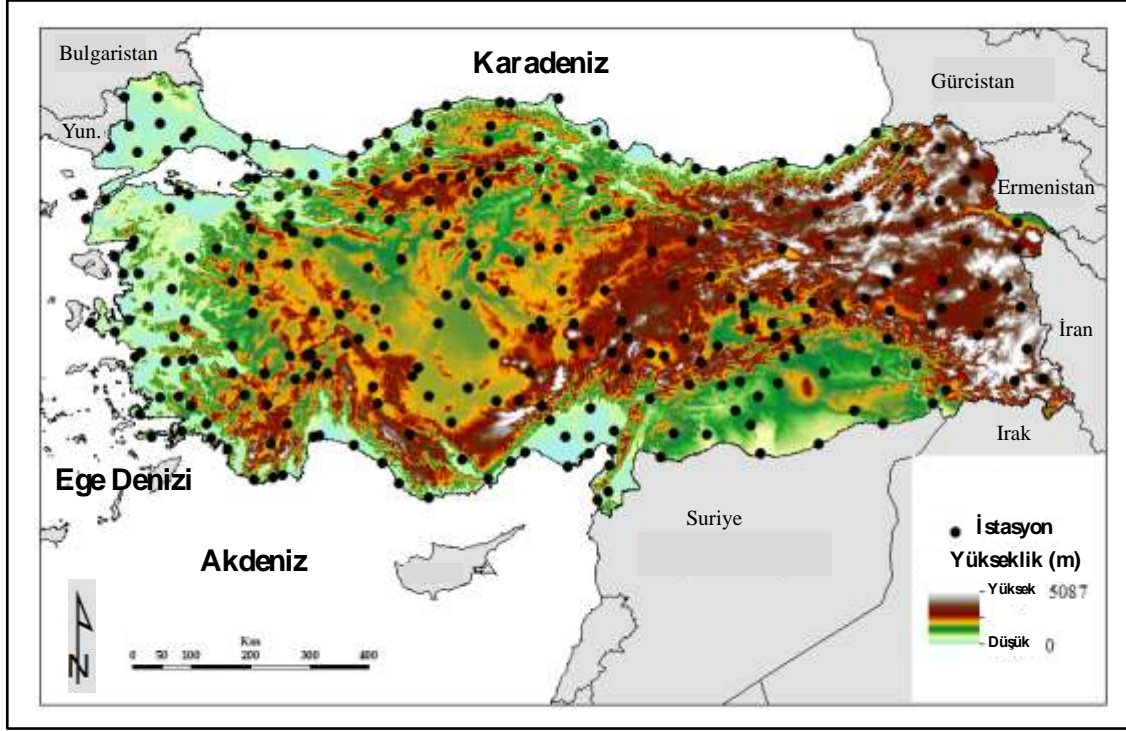
Türkiye’nin ortalama yükseltisi, 1141 m’dir. Ortalama yükseltisi en yüksek olan bölge Doğu Anadolu Bölgesi, en düşük olan bölge Marmara Bölgesi’dir. Yükselti değişkenliği en fazla Akdeniz Bölgesi, en az Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndedir. 1500 metrenin altındaki saha, Türkiye’nin yaklaşık %70’ini oluşturmaktadır. 2500 metrenin üstündeki saha Türkiye’nin %3’ünü bulmaktadır. Bu saha Doğu Anadolu Bölgesi’nin %10’una yaklaşıp (Elibüyük ve Yılmaz, 2010). Ortalama yükseltisi fazla ve bu yükseltinin dağılışında bölgeler arası önemli farklılıklar olan Türkiye’de, kısa mesafede önemli yükseklik farklılıkları göze çarpar. Karadeniz ve Akdeniz kıyı bölgeleri boyunca kıyıya paralel uzanan sıra dağlar kıyı ile iç kesimler arasında coğrafi özelliklerin farklılaşmasında önemli rol oynamaktadır. Buna karşın Ege Bölgesi’nde dağların kıyıya dik uzanması ve aralarında çöküntü ovalarının bulunması kıyının girintili çıkıntılı olmasını, bakı koşullarının sık değişmesini ve

denizel koşulların iç kesimlere ulaşmasına neden olmaktadır. Kuzey ve güneyden kıyıya paralel uzanan dağların Doğu Anadolu’da birbirine yaklaşması, bu bölgenin Türkiye’nin en yüksek bölgesi olmasını sağlamıştır.

Türkiye’de yüksek dağlar ve platolar yağışın en fazla gözlendiği yerlerdir. Buna karşın, İç Anadolu Bölgesi ve havzalar yağışın daha az olduğu yerleri oluşturmaktadır. Bu durum, yükselti faktörünün yağış üzerine etkisinden kaynaklanmaktadır. Özellikle birbirine yakın yerler arasında büyük yükselti farklarının varlığı, yerel farkların ortaya çıkmasına yağış ve sıcaklık koşullarının yatay ve düşey yönde hızla değişmeler göstermesine neden olmaktadır (Koçman, 1993). Türkiye’de yüksek dağlarla çevrili alanlar ve nehirlerin derin vadileri arasında kalan sahalarda az yağış alan yerleri oluşturmaktadır. Cephesel depresyonların geçiş yollarına karşı yamaçların konumu yani bakı özellikleri yağışı etkileyen coğrafi faktörler arasında önemli role sahiptir. Güneyde yer alan Toros dağları, özellikle Batı Toroslar yağışın fazla gözlemlendiği alanları oluşturmaktadır. Bu alan özellikle yükselti ve bakı koşullarına bağlı olarak daha az yağışlı alanlarla kesintiye uğramaktadır. Eğimin yağış üzerine olan etkisi ise, dik yamaçların daha kuvvetli ve sürekli yükselmelere sebep olarak daha bol ve şiddetli yağışların oluşmasını sağlamasıyla izlenmektedir. Türkiye’de denize olan yakınlık uzaklık etkisi, yağışı etkileyen önemli faktörlerden biridir. Dağ sıralarının denize bakan yamaçları bol, uzun süreli ve şiddetli yağışlar almaktadır. Bu dağ sıralarının iç yamaçlarına bakan kısmında ise yağışlar azalmaktadır. Bu durum kıyıda uzaklığın birinci derecede etkili rol oynadığını ortaya koymaktadır (Koçman, 1993). Bu faktörlerin dışında, Türkiye’de yağış üzerine bitki örtüsü ve basınç rejimi etkisinden de bahsedilebilmektedir. Özellikle ormanlık alanlar gibi bitki topluluklarının yoğun olduğu bölgeler yağışın miktarları üzerine etkilidir. Bu alanlar, hava akımlarının düzenini bozarak onları yükseltmeye ve türbülans hareketler yapmaya sevk eder. İzlenen bu durumun, az da olsa yağışta bir artışa sebep olduğu bilinir. Uygun koşullarda adyabatik olarak soğuyan yükselici hava yağışı artırır. Buna karşın alçalıcı hava hareketleri adyabatik olarak ısınmaya neden olarak yağış olasılığını azaltır. Bu noktada, basınç rejiminin yağış rejimi üzerine olan etkisi bilinmektedir.

## 2.2. Çalışmada Kullanılan Veri Seti

Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne (MGM) ait 276 meteoroloji istasyonunun 1970–2014 dönemi yıllık ortalama toplam yağış verisi kullanılmıştır. İstasyonlar, Lambert Conformal Conic projeksiyon sistemi, Datum European 1950 (ED50) olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının bulunduğu lokasyonların Türkiye genelindeki dağılımı Şekil 1’de görülmektedir. Çalışmada kullanılan bakı, eğim, yükseklik ve kıyıya uzaklık değişkenleri OpenStreetMap (2016) adresi kullanılarak indirilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada verileri kullanılan meteoroloji istasyonlarının dağılışı

### 2.3. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Jeostaistiğin temel bileşenleri, yarıvariogram ve Kriging analizlerini oluşturmaktır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Yarıvariogram analizi, mekânsal korelasyonun özelliklerini işaret etmektedir. Kriging analizi, yarıvariogram modelinin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bu konu ile ilgili ayrıntılı açıklamalar Aydın ve Çiçek (2015) ve Aydın vd. (2016) çalışmalarında verilmiştir.

Kriging tekniğinin temeli, bölgesel değişkenler teorisine dayanır. Ölçümü bilinen lokasyonlardan, ölçümü bilinmeyen lokasyonlardaki değişkenlerin değerini tahmin etmek için bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılır. Temel eşitlik,

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

biçiminde gösterilir. Bu eşitlikte  $\hat{Z}(X_0)$ ,  $X_0$  noktasına ilişkin Kriging değerini;  $Z(X_i)$  değişkenlerin her bir  $X_i$  noktasında gözlenen değerleri;  $W_i$ , her bir  $Z(X_i)$ 'ye karşılık gelen değerlerini;  $N$  ise,  $\hat{Z}(X_0)$ 'ın Kriging tahmininde kullanılacak nokta sayısını ifade etmektedir. Tahmin ile elde edilen hatanın varyansı Kriging varyansı olarak adlandırılır ve Kriging varyansı,

$$\begin{aligned} \sigma_K^2 &= 2 \sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_0 - X_i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_i W_j \gamma(X_i - X_j) \\ &= \sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_0 - X_i) + \lambda \end{aligned}$$

ile ifade edilir (Lichtenstern, 2013). Kriging teknikleri çeşitli alanlarda, çalışma alanı ve verilerin yapısına uygun olarak kullanılmaktadır. OK, SK, Universal Kriging (UK), Block Kriging (BK), Indicator Kriging (IK), Co-Kriging, KED vb. gibi farklı türleri mevcuttur. Bu çalışmada, OK, COK ve KED Kriging teknikleri seçilmiştir.

**OK yöntemi;** bilinmeyen değerlerin tahmininde, değişkenlerin durağan ve ortalamasının sabit olduğu varsayımına göre işlem yapmaktadır. Tahmin ağırlıkları yarivariogram modellerine dayanır. Yansız tahminler oluşturur. Çünkü tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ortalama farkın sıfıra eşit olmasını amaçlamaktadır. Aynı zamanda tahmin hatalarının varyansını en düşük seviyede tutmaya çalışarak işlemi gerçekleştirir ve sonuçta en iyi tahmini oluşturur (Aydın ve Çiçek, 2015).

**Co-Kriging yöntemi;** Kriging yönteminin bir uzantısı olan Co-Kriging yöntemi, yardımcı birkaç değişkenin yardımıyla bir değişkeni tahmin etmede kullanılır. Bu değişkenler arasında güçlü bir ilişkisinin olması gerekmektedir. Daha iyi tahmin yapabilmek için, incelenen ana değişken  $Z_1$ 'in ikili otokorelasyonunu ve  $Z_1$  ile diğer tüm değişken türleri arasındaki çapraz korelasyonu kullanır. Daha iyi tahmin yapmak, diğer değişken tiplerini hesaba almak ile mümkündür. Co-Kriging model varsayımı,

$$\begin{aligned} Z_1(S) &= \mu_1 + \varepsilon_1(S) \\ Z_2(S) &= \mu_2 + \varepsilon_2(S) \end{aligned}$$

$\mu_1$  ve  $\mu_2$  bilinmeyen sabitlerdir.  $\varepsilon_1(S)$  ve  $\varepsilon_2(S)$  olmak üzere iki tesadüfi hata vardır. Bundan dolayı, herbiri arasında otokorelasyon ve çapraz korelasyon bulunmaktadır. Co-Kriging, OK gibi  $Z_1(S_0)$ 'ı tahmin etmeye çalışır. Ancak, daha iyi tanımlayabilmek için kovaryans bilgilerini de kullanır. OK'dan farkı ikincil bir değişkenin eklenmesidir.  $Z_1$  ve  $Z_2$  verilerinin aralarında otokorelasyon vardır.  $Z_1$ ;  $\mu_1$  kendi ortalamasının altında ve  $Z_2$ ;  $\mu_2$  kendi ortalamasının üstündedir. Bu sonuca göre,  $Z_1$  ve  $Z_2$ 'de negatif çapraz korelasyon mevcuttur (Johnston, vd., 2001). Çalışmada uygulanan Co-Kriging tekniği, COK olarak gerçekleştirilmiştir.

**KED yöntemi;** bilinmeyen değerlerin tahmini KED analizinde şu şekilde yapılmaktadır.

$$\hat{Z}_{\text{KED}}(X_0) = \sum_{i=1}^N W_i^{\text{KED}} Z(X_i)$$

için

$$\sum_{i=1}^N W_i^{\text{KED}} \cdot q_k(X_i) = q_k(X_0) \quad k = 1, \dots, r$$

$Z(X_i)$  hedef değişken iken,  $q_k$  değerleri tahmin değişkenlerini temsil etmektedir yani, yeni konum  $X_0$  'daki değerlerdir (Hengl, vd., 2003).  $W_i^{\text{KED}}$ , KED ağırlıkları ve  $r$  ise tahminlerin sayısıdır. KED hesaplamalarından önce bazı genel gereksinimlerin yerine getirilmesi gerekmektedir (Goovaerts, 1997). Bunlar, (i) hedef ile tahmin ediciler arasındaki ilişki doğrusal olmalıdır; (ii) tahmin edicilerin değerleri, tüm birincil veri konumlarında ( $X_i$ ) ve tahminlerin yapıldığı tüm yeni konumlarda ( $X_0$ ) bilinmelidir; (iii) ikincil değişken, KED'in değişkenliğini göz ardı etmek için, mekânda çok az değişiklik göstermelidir.

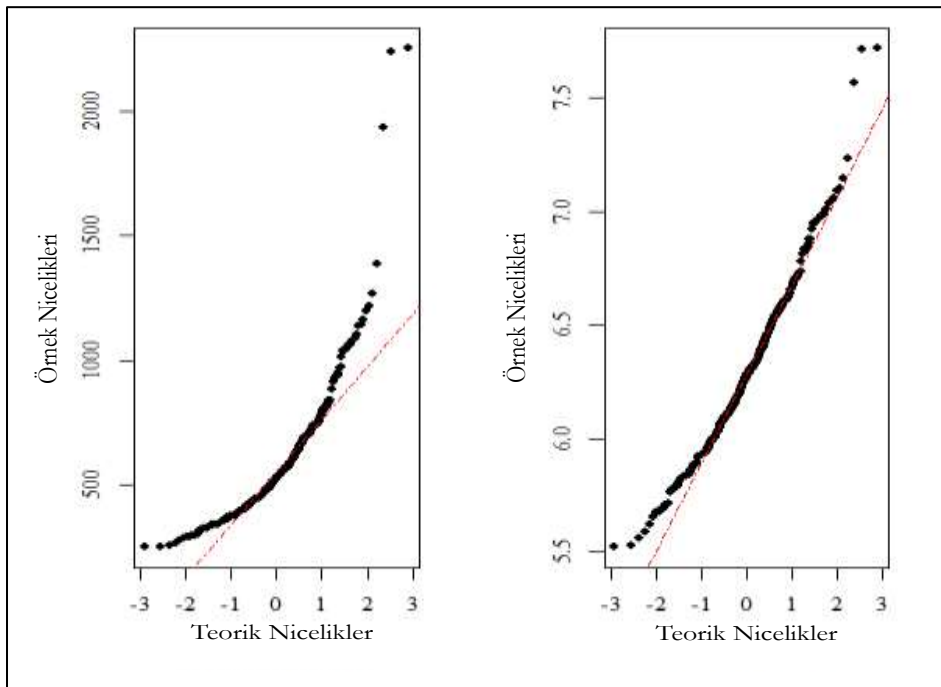
Co-Kriging ve KED yöntemleri yardımcı değişken kullanarak işlem gerçekleştirir. Fakat yöntemler arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Co-Kriging analizinde yardımcı değişken bütün grid noktaları için mevcut olmak zorunda değildir. KED için yardımcı değişken bütün grid noktaları için mevcut olmak zorundadır. KED'de yalnız bir yarivariogram kullanılır. Co-Kriging'de bağımsız değişken ve diğer yardımcı değişkenlerin her biri için yarivariogram kullanılır ve daha sonra çapraz yarivariogramları hesaplamak gerekir. Co-Kriging tahmini yardımcı veriden doğrudan etkilenir. KED'de eğilim, yardımcı bilginin bir doğrusal fonksiyonu olarak modellenmektedir. Bu farklılıklar analizde sonuçları da etkilediğinden her iki yöntemle oluşturulan modellerin değerlendirilmesi önemlidir.

**Çapraz Geçerlilik (Cross Validation);** modellerinin doğruluğu ve geçerliliğini tespit etmek önemlidir. Çapraz Geçerlilik yöntemi, modellerin alandaki verinin gerçek dağılım yapısını ne derece doğru yansıttığını göstermektedir. Temel olarak, bir lokasyondaki değer, veri setinden geçici olarak

çıkarılır ve geriye kalan diğer değerler kullanılarak çıkartılan bu lokasyon için tahmin yapılır (Leave One Out). Bu işlem geride kalan tüm örnekler için aynı şekilde tekrarlanır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Böylece, gözlemlenen değerler Kriging yöntemiyle tahmin edilen değerlerle karşılaştırılarak aradaki fark hata değeri (residual) olarak verilir. Gerçek değerlerle tahmin edilmiş değerler arasındaki farklar yani hata değerleri çeşitli grafikler kullanılarak gösterilebilir. Hataların korelasyonu, hataların dağılımı, hataların histogramı, hataların mekânsal haritası en çok kullanılan gösterim şekilleridir. Ayrıca, tahmin haritalarının değerlendirilmesinde çeşitli hata ölçüm yöntemlerinden yararlanır. Bu çalışmada, Belirleyicilik Katsayısı ( $R^2$ ), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE), Ortalama Hata (ME) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) performans ölçümlerinden faydalanılmıştır.

### 3. Bulgular

Çalışma (i) Türkiye’ye ait yıllık ortalama toplam yağış verisinin araştırılması, yağış ile yardımcı değişkenler arasındaki ilişkinin ölçülmesi; (ii) yarıvariogram analizi; (iii) OK, COK ve KED teknikleri uygulanarak yağış modellerinin oluşturulması; (iv) doğruluk analizlerinin yapılması ve modellerin karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Buna göre, Türkiye’nin 1970–2014 dönemine ait yıllık ortalama toplam yağış verisinin Q-Q Plot grafiği Şekil 2 (a, b)’de gösterilmektedir. Şekil 2 (a) verinin düz çizgi boyunca düzgün bir şekilde dağılmadığını göstermektedir. Dönüşüm uygulandıktan sonra verinin normal bir dağılım gösterdiği Şekil 2 (b)’den izlenmektedir.

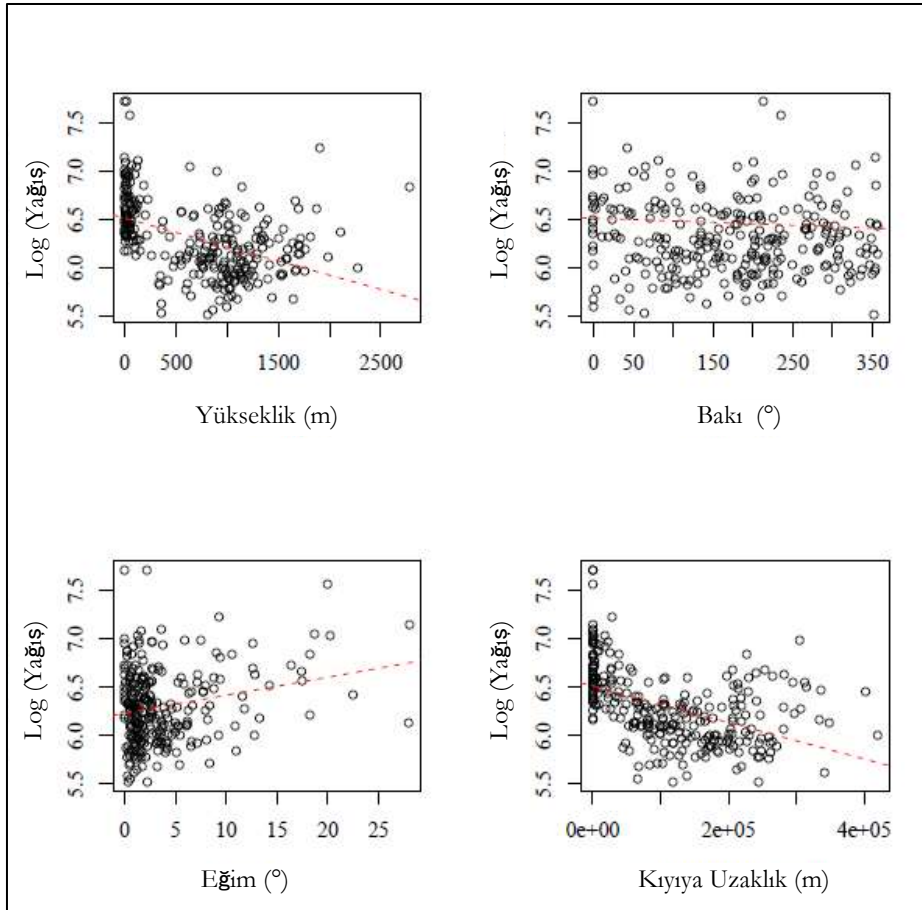


**Şekil 2.** Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağışa ait (mm) Q-Q Plot, (a) orijinal veri; (b) dönüşüm uygulanmış veri

Yağış ile diğer yardımcı değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını araştırmak için korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü, derecesini ve önemini ortaya koyan istatistiksel bir yöntemdir. Çalışmada Pearson korelasyon analizi kullanılmıştır. Böylece bağımlı değişken yağış ile, yağışı etkilediği düşünülen diğer yardımcı değişkenler arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Pearson korelasyon analizinin sonuçları Şekil 3’de gösterilmektedir. Şekil 3’e göre, yükseklik ve kıyıya uzaklık negatif bir ilişki göstermektedir. Eğim



pozitif bir ilişki gösterirken, bakı anlamsız bir ilişkiye sahiptir. Sonuçlara ait değerler Tablo 1’de verilmiştir. Korelasyon katsayısı -1 ve 1 arasında değer almaktadır. -1’e yakın değerler alıyorsa değişkenler arasında negatif yönde, 1’e yakın değerler alıyorsa pozitif yönde bir ilişki olduğu belirlenir. Sıfıra yakın değerler ise, iki değişken arasında bir ilişki olmadığını ifade etmektedir. Eğim ve bakının yağışla olan ilişkisini veren korelasyon katsayısı, yükseklik ve kıyıya uzaklık yardımcı değişkenlerine oranla çok küçüktür. Özellikle bakı -0.085 değeri ile sıfıra çok yakın bir değerde gözlemlenmektedir. Bu nedenle COK ve KED analizlerinde kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkenleri kullanılmış, eğim ve bakı değişkenleri dikkate alınmamıştır.



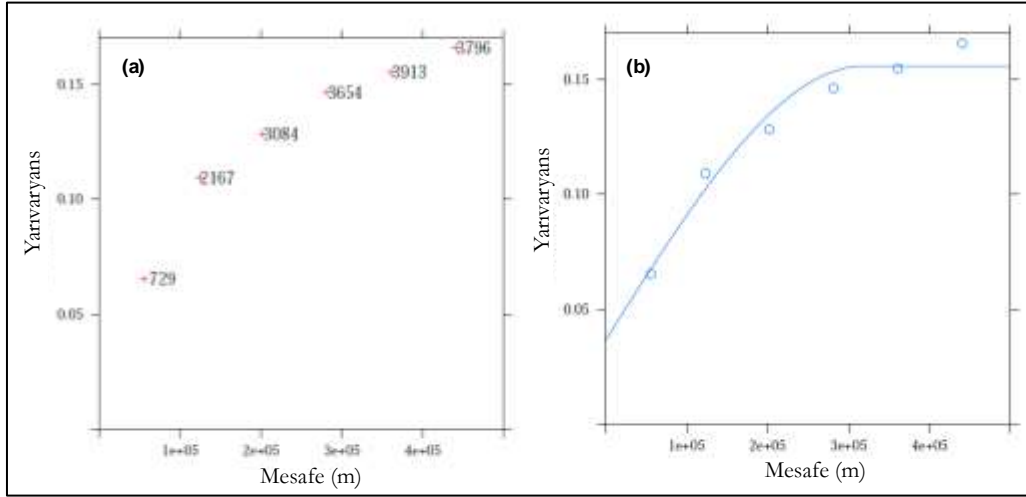
**Şekil 3.** Türkiye yıllık ortalama toplam yağış değişkeni ile yardımcı değişkenler (yükseklik, bakı, eğim ve kıyıya uzaklık) arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi

**Tablo 1.** Pearson korelasyon analizi sonuçları

Değişken	Katsayı	p değeri
Yükseklik	-0.449	< 0.01
Bakı	-0.085	0.159
Eğim	0.223	< 0.01
Kıyıya Uzaklık	-0.472	< 0.01

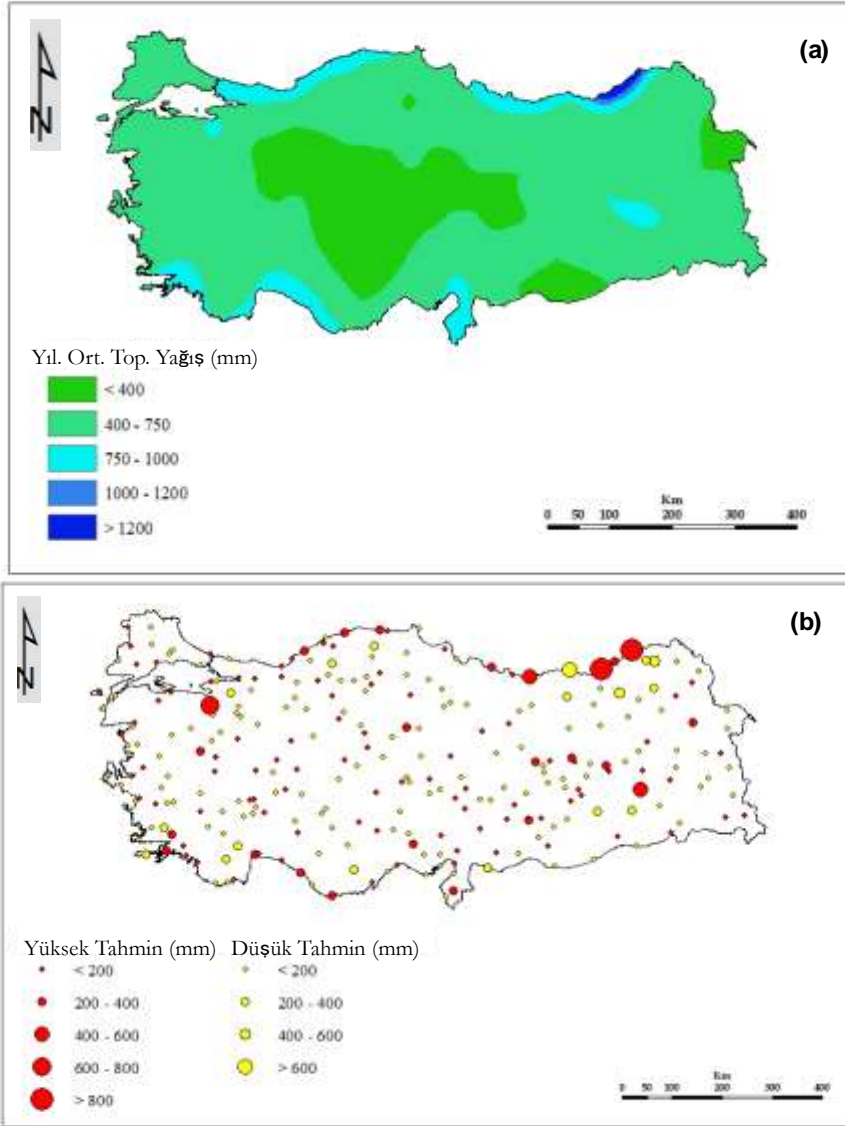
Korelasyon analizi sonuçlarına göre, COK ve KED analizleri gerçekleştirilirken, yükseklik, kıyıya uzaklık ve ikisinin birlikte kullanıldığı üç ayrı model üretilmiştir.

Kriging analizinde, verinin yapısına ve çalışma alanına uygun olarak belirlenmiş olan OK analizi yapmadan önce, Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri yarivariogram ile ortaya konulmuştur. Yarivariogram analizlerinde en temel işlem, değişkeni en iyi temsil edebilecek uygun adım mesafesi ve sınıf sayısını tayin edebilmektir. Bu işlem, yağış değişkenini temsil edebilecek en uygun model bulununcaya kadar değişik aralık ve sayıda işleme alınmıştır. Bu çalışmada, adım mesafesi 80 km, sınıf sayısı 7 olarak belirlenmiştir. Yağış değişkenine ait teorik yarivariogram yapısı “*Spherical*” olarak tespit edilmiştir. Yıllık ortalama toplam yağış değişkenine ait deneysel yarivariogram ve teorik yarivariogram grafikleri Şekil 4(a, b)’de gösterilmektedir.



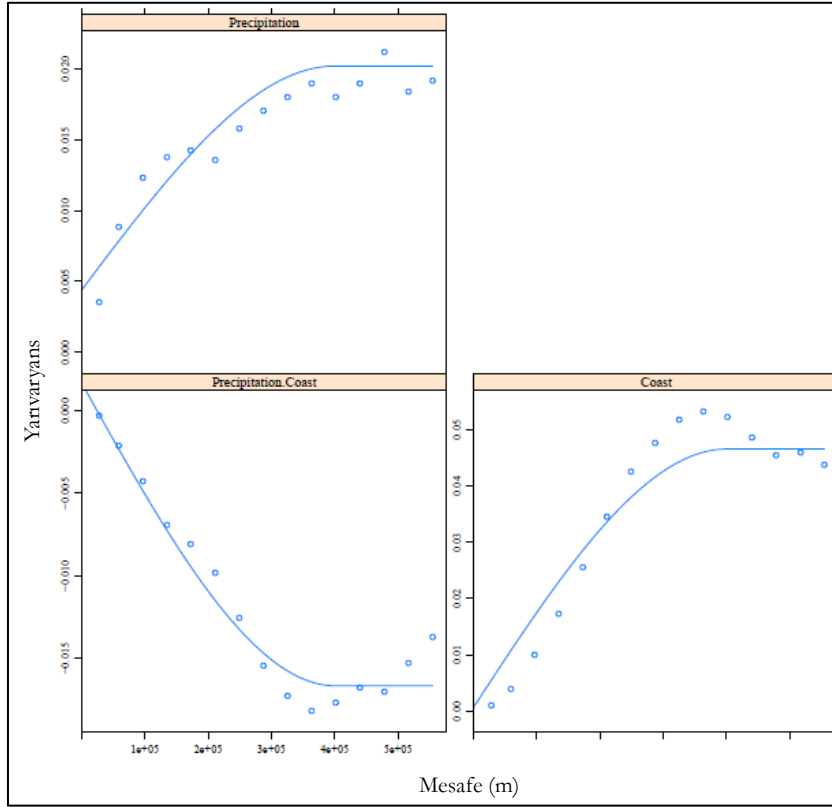
**Şekil 4.** OK analizinde kullanılacak, Türkiye yıllık ortalama toplam yağışa ait yarivariogram yapısı, (a) deneysel yarivariogram; (b) teorik yarivariogram

Gözlemi bulunmayan yerlerin noktasal değerleri OK tahmin yöntemi ile elde edilmiştir. OK analizi sonucu elde edilen yağış tahmin haritası Şekil 5 (a)’da, Çapraz Geçerlilik analiziyle elde edilen OK analizi sonucuna ait hata tahmin haritası Şekil 5 (b)’de görülmektedir. Buna göre, yıllık ortalama toplam yağış miktarının yüksek tahmin edildiği istasyonlar Doğu Karadeniz Bölgesi’nde toplanmaktadır. Bunun dışında yıllık ortalama toplam yağış miktarının istasyon ortalamasından 200 mm’ye kadar yüksek ve 200 mm’den düşük tahmin edildiği istasyonlar Türkiye genelinde hâkimdir. Yani, istasyon ortalamasına yakın sınıf aralığında tahminlerin fazla olması OK ile yapılan yağış tahmin modelinin geçerliliğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

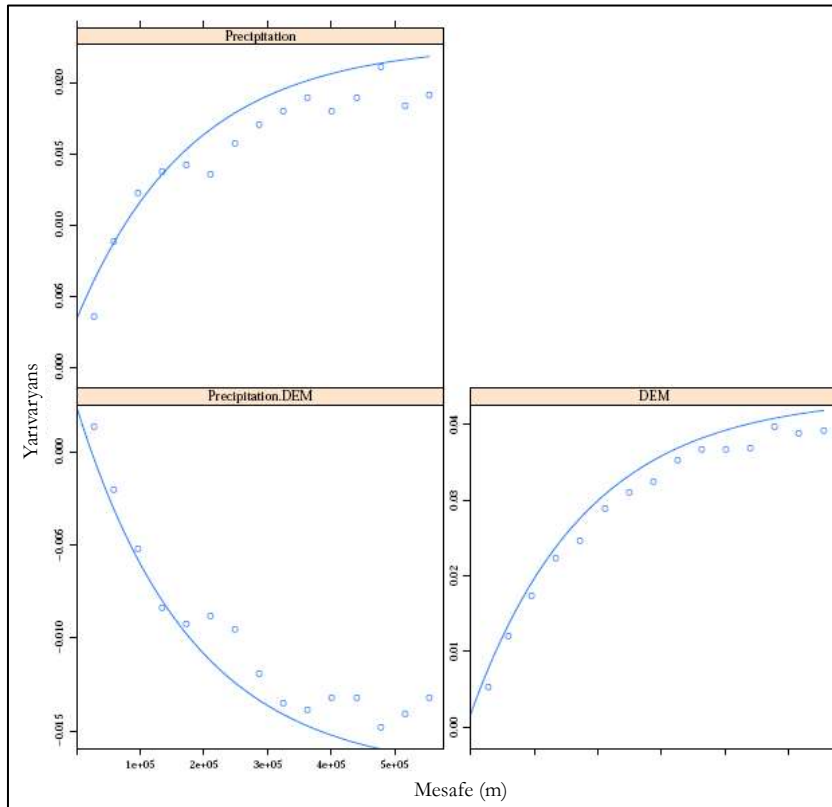


**Şekil 5.** OK yöntemi sonucu elde edilen Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın **(a)** tahmin haritası; **(b)** Çapraz Geçerlilik (Leave One Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

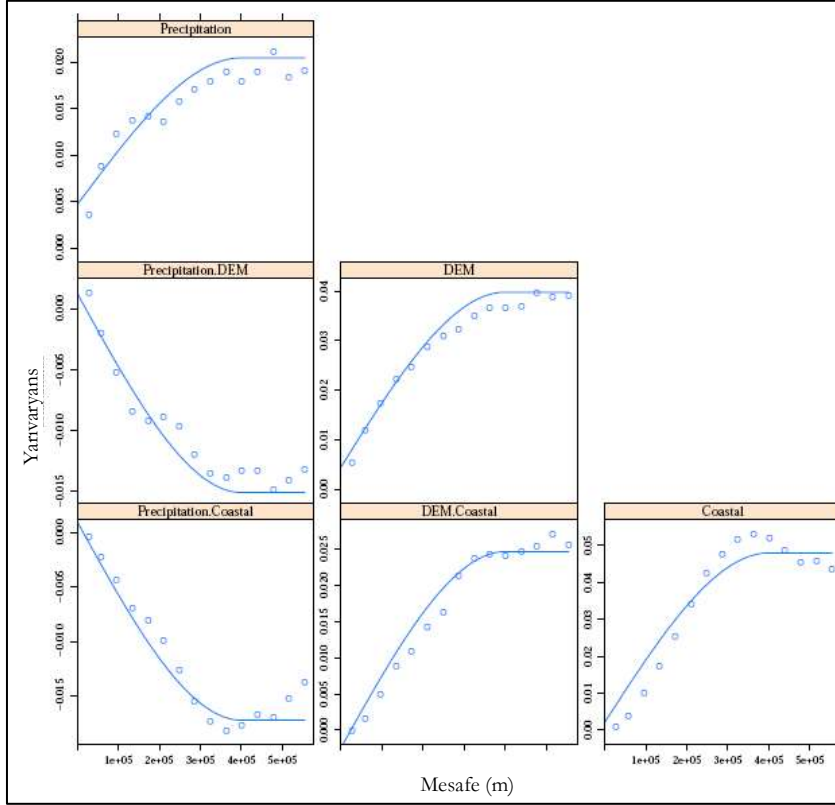
COK analizini gerçekleştirmek için oluşturulacak yarıvariogram modelleri hem bağımlı hem de bağımsız değişkenler için yapılmıştır. Bu yarıvariogramlar kullanılarak Cross-yarıvariogramlar oluşturulmuştur. Şekil 6, yıllık ortalama toplam yağışın, kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni kullanılarak oluşturulmuş teorik yarıvariogram analizi sonucunu göstermektedir. Bu analizde Spherical teorik yarıvariogram seçilmiştir. Şekil 7, yükseklik yardımcı değişkeni, Şekil 8 ise, yükseklik ve kıyıya uzaklık yardımcı değişkenlerinin birlikte analize dâhil edilmesiyle oluşturulmuş teorik yarıvariogram sonuçlarını göstermektedir. Yükseklik yardımcı değişkeni kullanılarak oluşturulan teorik yarıvariogram modelinde, "Exponential" tip teorik yarıvariogram, her iki yardımcı değişkenin birlikte kullanıldığı teorik yarıvariogram için de Spherical tip yarıvariogram en uygun modeller olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6.** COK analizinde, yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin, kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni kullanılarak elde edilen deneysel ve teorik yarıvარიogram grafiği

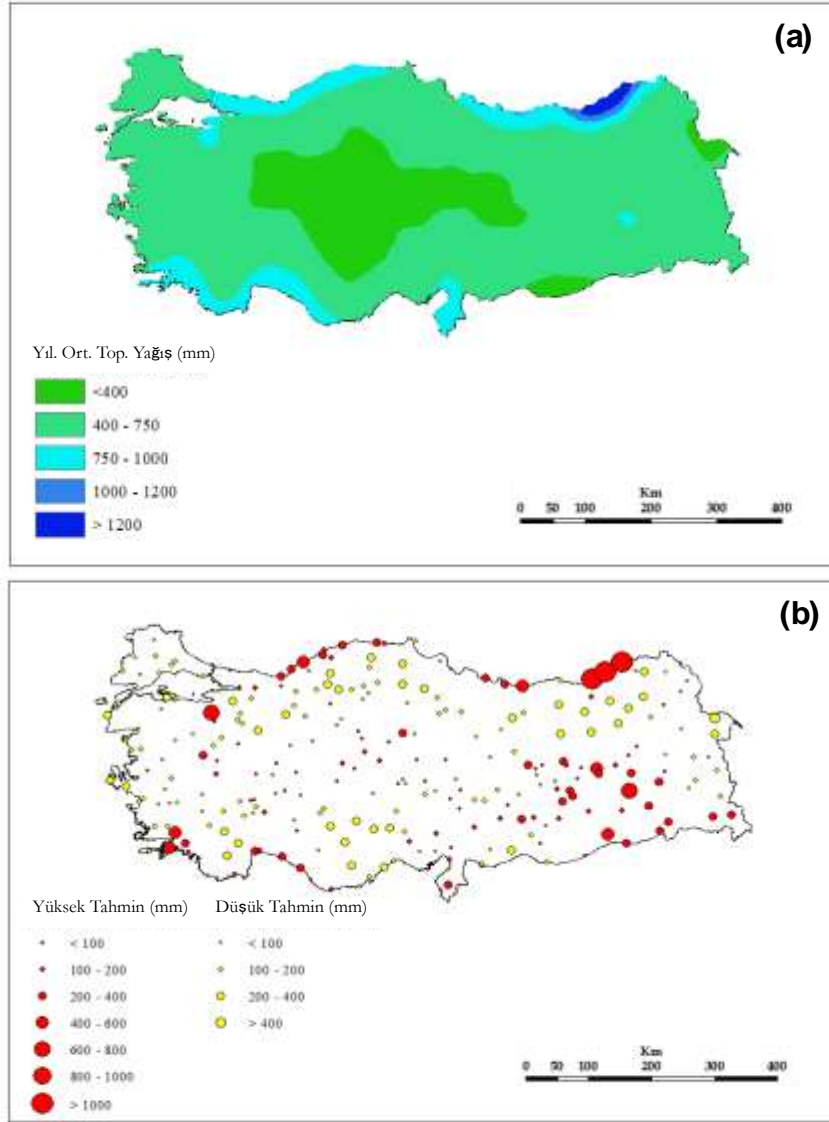


**Şekil 7.** COK analizinde, yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin, yükseklik yardımcı değişkeni kullanılarak elde edilen deneysel ve teorik yarıvარიogram grafiği



**Şekil 8.** COK analizinde, yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin, kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkeni kullanılarak elde edilen deneysel ve teorik yarıvarioqram grafiği

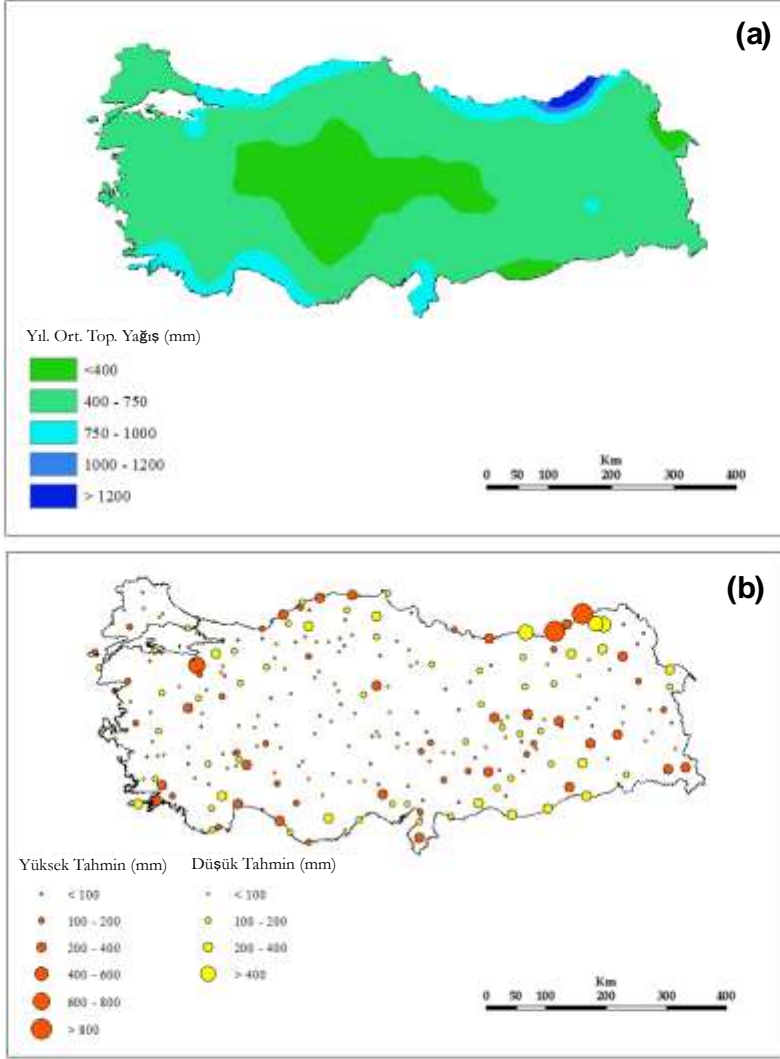
COK tahmin yöntemi kullanılarak gözlemi bulunmayan yerlerin tahmin değerleri elde edilmiştir. COK analizi Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni kullanılarak gerçekleştirilen COK analiz sonucu elde edilen tahmin haritası ve buna ait Çapraz Geçerlilik sonucu oluşan hata tahmin haritası Şekil 9 (a, b)'de verilmiştir. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yıllık ortalama toplam yağış miktarının 1200 mm'den (>1200 mm) yüksek olduğu alanlarda, yağış 800-1000 mm daha yüksek tahmin edilmiştir. Şekil 9 (b)'de yıllık ortalama toplam yağış değerine göre daha düşük hesaplanan tahmin değerleri dikkat çekmektedir. Doğu Karadeniz Dağları, Mescit Dağları, Otlukbeli Dağları, Kop Dağı, Dumlu Dağı'ndan oluşan alan 200-400 mm, düşük tahmin değerleri göstermektedir. Küre dağları ile Ilgaz dağlarının da içinde bulunduğu Batı Karadeniz Bölgesinin bir kısmını oluşturan alan >400 mm düşük tahmin değerlerine sahiptir. Bu değerleri arasında 100-200 mm düşük tahmin değerler de bulunmaktadır. İki alanı birleştiren orta kesim ise 100-200 mm düşük tahmin değerlerine sahiptir. Ülkenin güney kesiminde Orta Torosları oluşturan Bolkar Dağları ve çevresi 200-400 mm düşük tahmin değerleri vermiştir. Güneydoğu Toros Dağlarını içine alan kesim 100-1000 mm değişen bir aralıkta yüksek tahmin değerleri göstermektedir. Kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni ile gerçekleştirilen COK analizi sonucu Türkiye genelinde dağların ve yanılma derecesinin yüksek olduğu yerlerde düşük ve yüksek tahmin değerleri birbirine yakın alanlarda toplanmıştır. Kıyı kesiminde genellikle yıllık ortalama toplam yağış miktarından yüksek, dar ve derin vadiler ile kıyı ardı sıra dağların bulunduğu kesimlerde ise yıllık ortalama toplam yağış miktarından düşük tahminler elde edilmiştir. Bu durum özellikle Ilgaz ve Mescid dağları çevresinde belirgindir. Yani kıyıda yüksek yağış alanlardan hızla iç kesimdeki yağışı düşük olduğu alanlara geçildiğinde kıyıya uzaklık tahmin edilerek yapılan yağış modellemesinde hata yüksektir. Ancak, iç kesimlerde yağışın değişkenliğinin azalması kıyıya uzaklığın yardımcı değişken olarak eklendiği modelin geçerliliğini arttırmaktadır.



**Şekil 9.** COK yöntemi sonucu elde edilen Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni kullanılarak elde edilen **(a)** tahmin haritası; **(b)** Çapraz Geçerlilik (Leave One Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

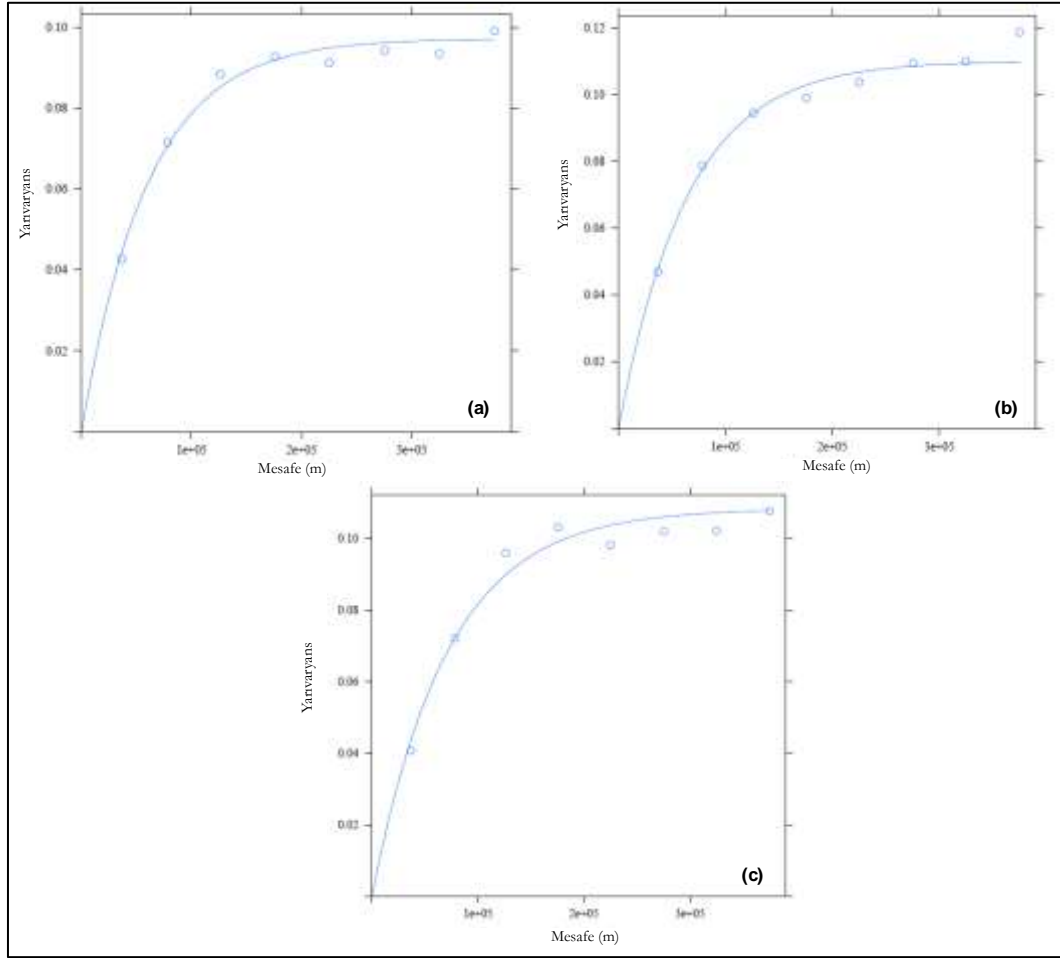
COK analizi, yükseklik yardımcı değişkeni kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Sonuçlara ait tahmin haritası ve hata tahmin haritası Şekil 10 (a, b)'de gösterilmiştir. Şekil 10 (a), bir önceki analiz sonucuyla benzer bir yağış tahmin haritası oluştursa da, hata tahmin haritaları birbirinden farklı yönleri ile ayrılmaktadır. Şekil 11 (b)'de göre yüksek tahmin hatalarında azalma gözlemlenmiştir. Yüksek tahmin ve düşük tahmin değerleri <100 mm ile >100 mm arasında değişmektedir. Bu değerlerin ülke geneline yayıldığı izlenmektedir. Dağlık alanların hâkim olduğu yerlerde, tahmin hata değerlerinin daha düşük olduğu ortadadır. Özellikle kıyıya uzaklık yardımcı değişken kullanılarak gerçekleştirilen COK analiz sonuçlarına ait hata tahmin haritasıyla karşılaştırıldığında, yüksek tahmin değerine sahip güneydoğu kesimlerinde, değerlerin 100-200 mm yüksek yağış tahminine düştüğü ve 100-200 mm değerleri arasında düşük tahmin hata değerlerinin de olduğu izlenmektedir. Yükseklik yardımcı değişkeninin özellikle dağlık alanlarda düşük ve yüksek tahmin hata değerleri göstermiş olması, yıllık ortalama toplam yağışın modellenmesinde önemli bir açıklayıcı değişken olduğunu açıkça göstermektedir. Ancak yine kısa mesafede yükseklik değişikliğin olduğu engebeli alanlarda yüksek ve alçak tahmin yapılan alanlar

yan yana bulunmaktadır. Bu da engebeli alanlarda yağış modelinin güçlülüğünü ortaya koymaktadır.



**Şekil 10.** COK yöntemi sonucu elde edilen Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın yükseklik yardımcı değişkeni kullanılarak elde edilen **(a)** tahmin haritası; **(b)** Çapraz Geçerlilik (Leave One Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

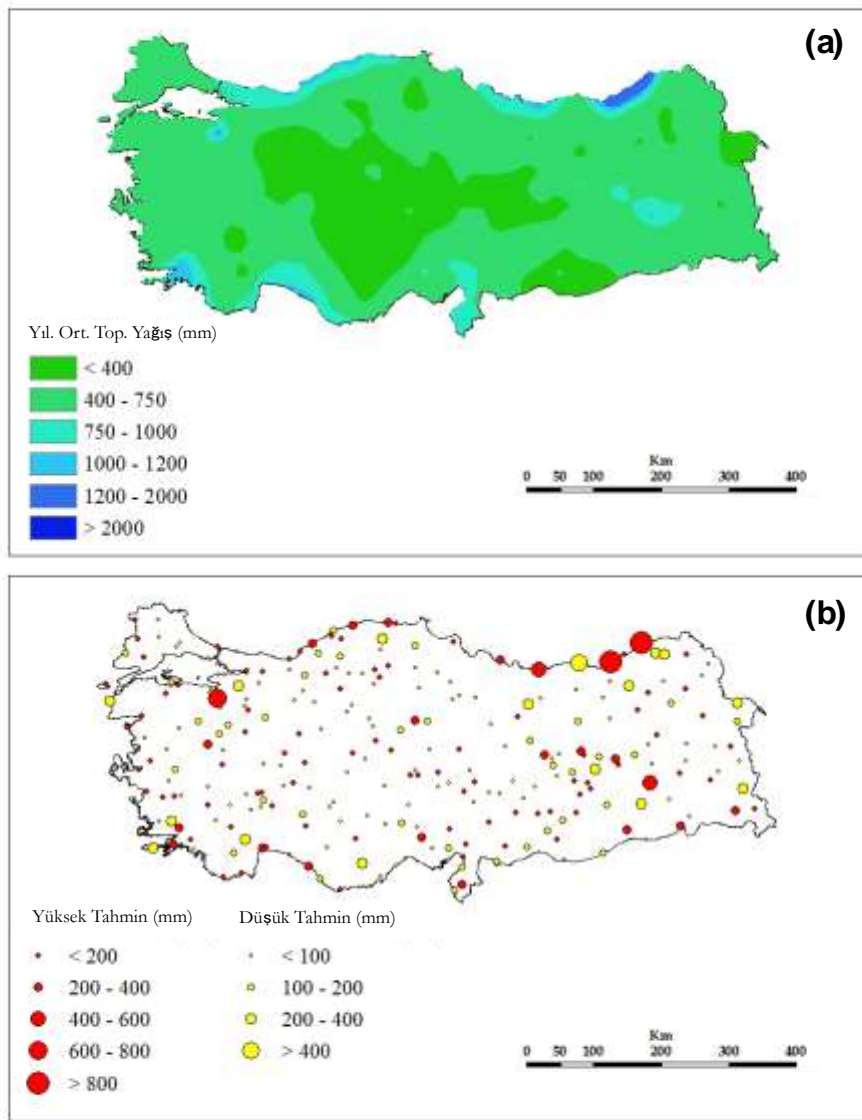
KED, yardımcı değişkenler kullanılarak Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağış modelinin oluşturulmasında faydalanılmış çok değişkenli Kriging tekniklerinden biridir. KED tekniği, COK gibi kıyıya uzaklık, yükseklik ve her iki yardımcı değişken bir arada kullanılarak ayrı ayrı teorik yarıvariogramların oluşturulmasıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 11a, b, c). Oluşturulan her üç teorik yarıvariogram için Exponential tip teorik yarıvariogram modeli seçilmiştir. Daha sonra yağış model analizleri uygulanmıştır.



**Şekil 11.** KED analizinde, yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin, **(a)** kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni; **(b)** yükseklik yardımcı değişkeni; **(c)** kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkenleri birlikte kullanılarak elde edilen deneysel ve teorik yarıvariogram grafiği

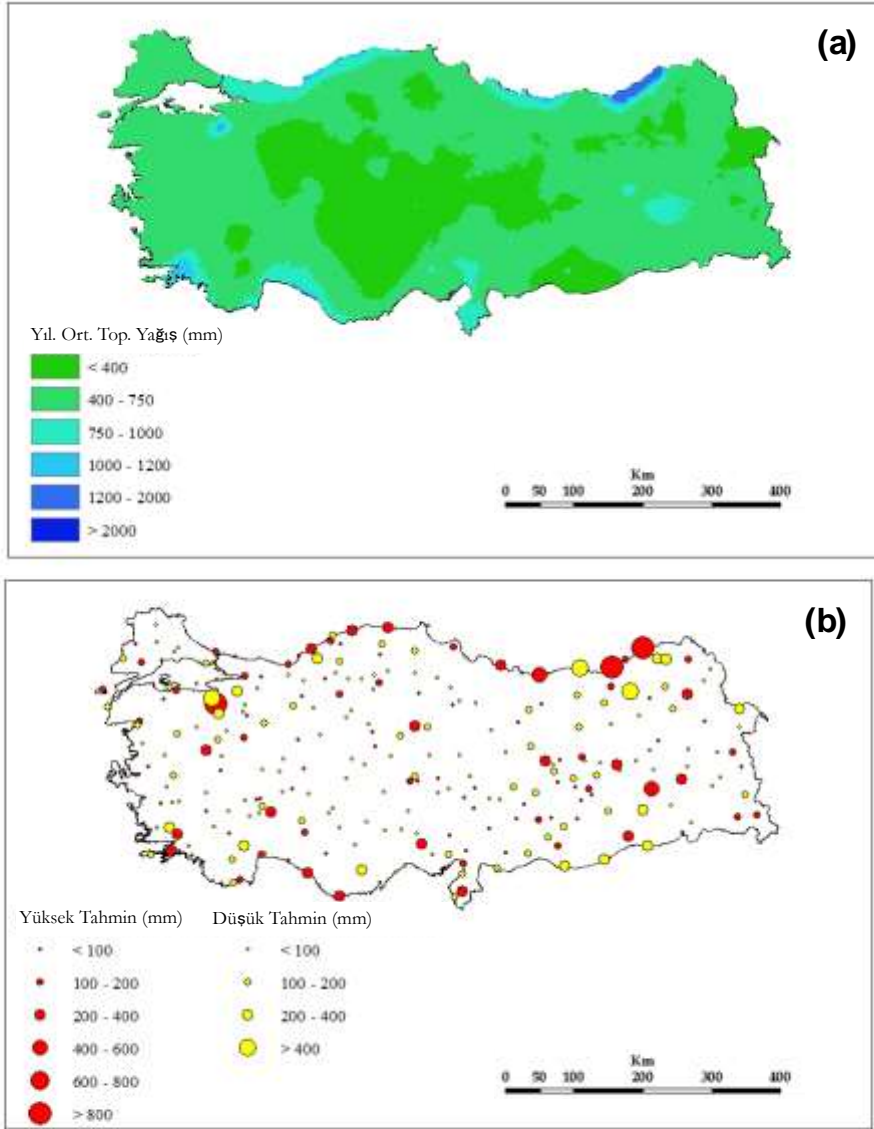
Kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni ile uygulanan KED tekniğine ait yağış tahmin haritası ve hata tahmin haritası Şekil 12 (a, b)'de gösterilmektedir. Yağış tahmin haritasında yağış değerleri <400 mm'den >2000 mm'ye değişmektedir. En yağışlı alan ülkenin kuzey doğusunda yer alan Doğu Karadeniz Bölgesine denk gelmektedir. Ülkenin iç bölgeleri ise <400 mm yağış değerine sahiptir. Yüksek yağış değerine sahip alanlar hata tahmin haritasından yüksek tahmin değerleri vermiştir. Ancak, bu alanın çevresi 100-400 mm arasında değişen değerlerde düşük tahmin değerleri oluşturmaktadır. Türkiye geneli incelendiğinde yüksek tahmin ve düşük tahmin değerlerinin daha düşük değerlerde olduğu ortadadır. Bu oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış modelinin doğruluğunun bir ölçüsüdür.





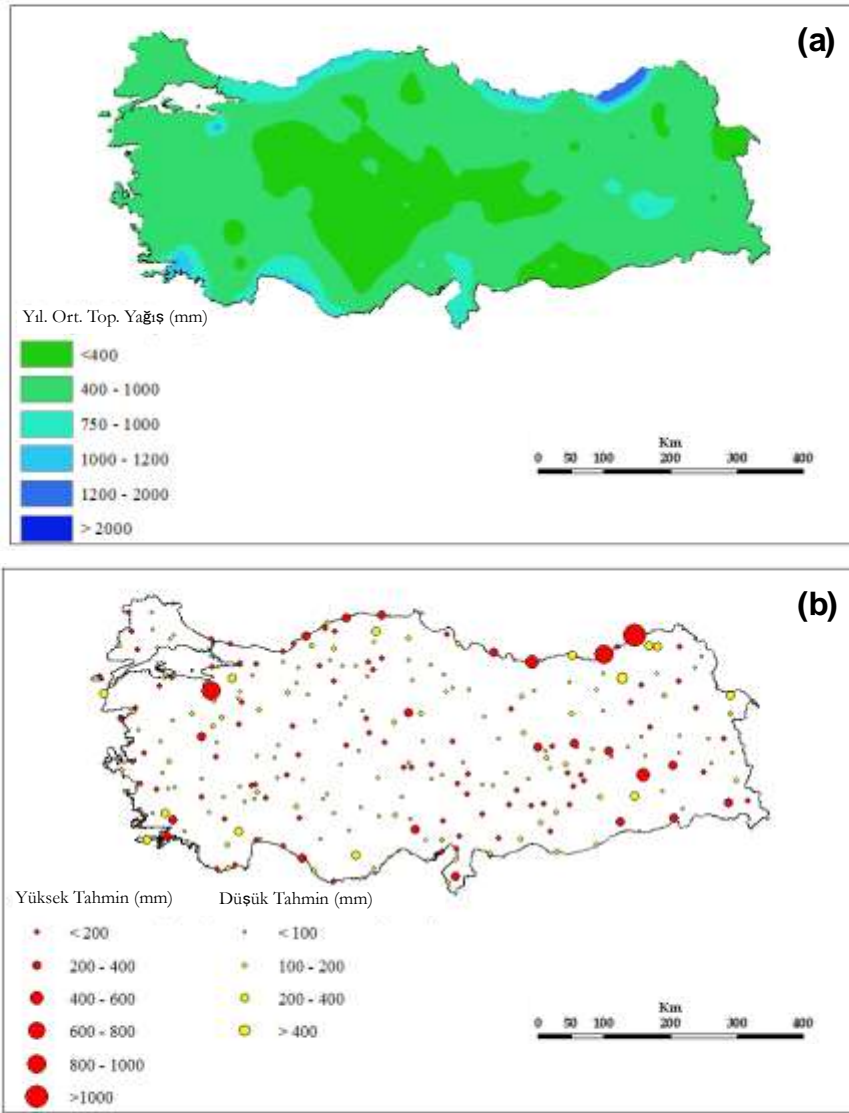
**Şekil 12.** KED yöntemi sonucu elde edilen Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni kullanılarak elde edilen **(a)** tahmin haritası; **(b)** Çapraz Geçerlilik (Leave One Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Yükseklik yardımcı değişkeni ile uygulanan KED analizi sonuçları Şekil 13 (a, b)'de verilmiştir. Türkiye yıllık ortalama toplam yağış tahmin değerleri <400 mm ile >2000 mm arasında değişmektedir. Yüksek tahmin değerlerinde özellikle kıyı bölgelerde dikkat çekici bir artış vardır.



**Şekil 13.** KED yöntemi sonucu elde edilen Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın yükseklik yardımcı değişkeni kullanılarak elde edilen **(a)** tahmin haritası; **(b)** Çapraz Geçerlilik (Leave One Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Her iki değişkeninde de birlikte kullanıldığı KED analizi sonucu elde edilen Türkiye'nin yıllık ortalama tahmin haritası ve hata tahmin haritası Şekil 14 (a, b)'de gösterilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, yıllık ortalama toplam yağış miktarının istasyon ortalamasından 200 mm'ye kadar yüksek tahmin ve 100 mm'den daha az düşük tahmin edilen istasyonların hâkim olduğu izlenmektedir (Şekil 14b). Yağış tahmin haritasında yağış değerlerinin yüksek olduğu alanlarda yüksek tahmin hata değerleri büyüktür. Şeytan Dağları, Şerafettin Dağları, İhttiyarşahap Dağlarını takip eden hat boyunca 200 mm'den 600 mm arasında yüksek tahmin değerleri dikkat çekmektedir.



**Şekil 14.** KED yöntemi sonucu elde edilen Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkeni kullanılarak elde edilen **(a)** tahmin haritası; **(b)** Çapraz Geçerlilik (Leave One Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

OK, COK ve KED analizlerine ait performans sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. OK analizi yağış tahmin modelinin %62’si açıklamıştır. RMSE performans değeri (169.8 mm) ise, yağış gibi değişkenlik gösteren bir iklim değişkeni için makul bir sonuç vermiştir. COK’a göre yükseklik yardımcı değişkeni kullanılarak oluşturulan yağış tahmin haritası 0.64  $R^2$  değeri ile yüksek performans göstermiştir. Bunun dışında kıyıya uzaklık ve kıyıya uzaklık ile yükseklik yardımcı değişkenini bir arada kullanılarak oluşturulan diğer yağış tahmin modellerine göre, düşük RMSE değeri vermiştir. Yükseklik yardımcı değişkeni ile gerçekleştirilen COK tekniğinin en iyi yağış modeli oluşturduğu görülmektedir. KED analizine ait sonuçlar değerlendirildiğinde oluşturulan yağış tahmin modelleri birbirine benzer sonuçlar vermektedir. Ancak, hata tahmin sonuçları birbirlerinden farklıdır. Kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkeninin birlikte kullanıldığı KED analizi sonucuna ait hata tahmin haritası daha az sayıdaki istasyonda düşük, yüksek ve düşük tahmin değerleri vermektedir. Modellere ilişkin performans sonuçlarında, yüksek  $R^2$  (0.64) ve düşük RMSE (mm) (162.3), ME (-0.246) ve MAE (107.8) değerleri ile kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni

kullanılarak oluşturulmuş yağış tahmin modeli düşünülür. Kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkenine ait performans sonuçları değerlendirildiğinde 0.63 R<sup>2</sup>, 166.2 RMSE (mm), -0.900 ME ve 108.6 MAE değerleriyle, kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni kullanılarak oluşturulmuş yağış tahmin modeliyle farkın çok büyük olmadığı görülmektedir. Her iki durumda değerlendirildiğinde, KED analizi sonucunda her iki değişkenin birlikte kullanıldığı yağış tahmin modelinin doğru bir model olduğu sonucuna varılır. Bu sonuçlar doğrultusunda, kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkeninin birlikte kullanıldığı KED analizi sonucu Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış tahmin modeli için oluşturulmuş en doğru yağış modelidir.

**Tablo 2.** OK, COK ve KED modellerinin performans sonuçları

Model ve Kullanılan Değişkenler	R <sup>2</sup>	RMSE (mm)	ME	MAE
<b>OK</b>				
-	0.62	169.8	-0.378	111.7
<b>COK</b>				
Kıyıya uzaklık	0.58	305.6	248.8	255.9
Yükseklik	0.64	297.8	247.8	253.9
Kıyıya uzaklık+yükseklik	0.59	304.7	249.0	255.7
<b>KED</b>				
Kıyıya uzaklık	0.64	162.3	-0.246	107.8
Yükseklik	0.60	171.2	-2.96	110.1
Kıyıya uzaklık+yükseklik	0.63	166.2	-0.900	108.6

### 3. Tartışma ve Sonuç

Jeostatistik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde ölçümü yapılmamış noktaların tahmini yapılır. Gözlemler arası korelasyon dikkate alınarak yapılan yansız ve minimum varyanslı tahminler jeostatistik analizleri ile mümkündür. Bu teknikler kullanılarak elde edilen yağış modelleri daha doğru tahmin modelleri vermektedir. Farklı alternatif kullanımlarla modellerin doğruluğunu yükseltmek mümkündür. Bu çalışmada da, birinci değişken olan yağış değerleri ile Kriging tekniği uygulanmıştır. Türkiye’de yağış dağılışı, pek çok faktörün etkisi altında bulunduğundan doğru bir yağış tahmin haritası oluşturmak için, kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkenleri kullanılarak COK ve KED analizleri gerçekleştirilmiştir. Her üç teknikle elde edilen yağış modelleri karşılaştırıldığında ikincil değişken kullanılarak elde edilen sonuçların daha doğru tahmin modelleri oluşturulduğu izlenmiştir. Bu sebeple, çalışmada Türkiye’nin topografik yapısı, kısa mesafede büyük yükseklik farklılıklarının bulunması, kıyıya paralel yüksek dağ sıralarının varlığı gibi etmenlerin etkisi altında olduğu düşünüldüğünde yardımcı değişkenlerin analize dâhil edilmesi daha doğru yağış tahmin modelinin oluşmasını sağlamıştır. Çalışmada iki önemli sorunun cevabı açıklanmaya çalışılmıştır. Bunlar;

- Türkiye’de en doğru yağışın tahmini hangi modelle sağlanmıştır?
- Yardımcı değişkenlerin eklenmesi modelin sonucunu nasıl etkilemiştir?

Buna göre, kıyıya uzaklık ve yükseklik yardımcı değişkenlerinin birlikte kullanıldığı KED yağış tahmin modelinin daha doğru bir model olduğu sonucuna varılmıştır. O halde, Türkiye gibi yağışı etkileyen pek çok faktörün hâkim olduğu alanlarda çok sayıda yardımcı değişkenin eklenmesi model performansını yükseltmektedir.

Türkiye’de gerçekleştirilen benzer çalışmalarda bu çalışmanın bulgularını destekleyen sonuçlar elde edilmiştir. Bostan ve Akyürek (2007) Türkiye’de yağışın mekânsal dağılımında akarsuya yakınlık, yükseklik ve bakı derecesinin ikincil değişkenler olarak belirleyici faktörler olarak kabul

etmişlerdir. Bostan vd. (2012) Türkiye’de kıyıya uzaklık, arazi kullanımı ve kıyıya uzaklık ile yükseklik arasındaki etkileşim gibi yardımcı değişkenlerin yıllık ortalama toplam yağış tahmininde istatistiksel olarak önemli olduğunu vurgulamışlardır. Apaydin vd. (2011) İç Anadolu Bölgesi için 1976–2005 dönemine ait aylık ortalama global güneş radyasyonu, güneşlenme süresi, yüzey hava sıcaklığı, nisbi nem, rüzgar hızı ve yağış gibi iklim parametreleri üzerine topografyanın ve coğrafi etmenlerin etkilerini araştırdıkları çalışmalarının ilk aşamasında, kullandıkları Kriging ve Co-Kriging tekniklerinin karşılaştırılmasında, yükseklik yardımcı değişkeninin ilave edilmesinin hesaplama hatalarını en az düzeye indirdiği sonucuna varmışlardır. Bununla birlikte yağış modellerinin oluşturulmasında yardımcı değişkenlerin kullanıldığı ve model performansını yükselttiği çok sayıda çalışmadan bahsedilebilir. Kravchenko vd. (1996) topografik bilgilerin doğru tahminler elde edilmesinde önemli katkısı olduğu ve KED sonuçlarının OK tekniğine göre daha doğru tahmin değerleri verdiğini belirtmişlerdir. Boer vd. (2001) yükseklik değişkenini yardımcı değişken olarak kullanmanın tahmin sonuçlarında daha iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır. Diodato (2005) yağış ile topografik indeks yardımcı değişkeni kullandığı çalışmada, Co-Kriging tekniğinin düşük tahmin hata değerleri verdiğini belirtmiştir. Moral, (2010) yüksekliğin hesaplamalarda dikkate alınmasının daha doğru aylık ve yıllık yağış haritaları oluşturmaya yardımcı olduğunu vurgulamıştır.

Yağış dağılışının doğru bir şekilde hesap edilmesi klimatoloji ve hidroloji gibi çalışmalarda ileriye dönük yapılan planlamaların daha gerçekçi olmasını sağlayacaktır. Yağış değişkenine bağlı hidrolojik çalışmalar, kurak-nemli dönemler ve sel gibi atmosferik afetlerin tahmin edilmesi, yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının miktarının tahmini, su kaynaklarının kirlenmesi ile ilişkili konularda önemli bir yere sahiptir. Bu noktada yağış dağılışının araştırılması önemlidir. Noktasal veri analizleri sayesinde, bölgesel ve lokal yağış dağılışını incelemek mümkündür. Ancak, meteoroloji gözlem ağının yatayda ve dikeyde yetersiz ve heterojen dağılımı, kayıt tarihlerinin sınırlılığı yağış dağılışının tespit edilmesinde sıkıntılara yol açmaktadır. Bundan dolayı, mekânsal modelleme, ölçüm yapılmamış lokasyonlar için yağış değişkeninin tahmininde önemli bir seçenektir. Kriging tekniklerinin kullanımı, yağış dağılışının incelenmesinde yeterli olmaktadır. Bunun yanında, Kriging tekniklerinin uygulanmasında yardımcı değişkenlerin kullanımı modelin performansını artırmaktadır. Böylece, oluşturulan modeller yağış için daha kesin değerler sağlayacaktır. Bu sayede ülke ekonomisi, enerjisi, su ve toprak kaynakları, su kaynaklarının doğru kullanılabilmesi, yapılacak olan su yapılarının doğru projelendirilmesi, tarım gibi birçok alandaki uygulamalara doğru altlık oluşturması mümkün olabilecektir.

## Not

Bu çalışma, **15B0759001** kodlu Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## Referanslar

- Abteu, W., Obeysekera, J. & Shih, G. (1993). Spatial analysis for monthly rainfall in South Florida. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 29(2), 179–188.
- Apaydin, H., Anli, A. S. & Ozturk, F. (2011). Evaluation of topographical and geographical effects on some climate parameters in the Central Anatolia Region of Turkey. *International Journal of Climatology*, 31, 1264–1279.
- Aydın, O. & Çiçek, İ. (2013). Ege Bölgesi’nde yağışın mekânsal dağılımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 101–120.
- Aydın, O. & Çiçek, İ. (2015). Geostatistical Interpolation of Precipitation in Turkey, Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany.
- Aydın, O., Türkoğlu, N. & Çiçek, İ. (2015). The importance of geostatistics in physical geography.

- International Journal of Human Science*, 12(2), 1397–1415.
- Atkinson, P. M. & Lloyd, C. D. (1998). Mapping precipitation in Switzerland with ordinary and indicator kriging. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2(2), 65–76.
- Boer, E. P. J., Beurs de, K. M. & Hartkamp, A. D. (2001). Kriging and thin plate splines for mapping climate variables. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3(2), 146–154.
- Bostan, P. A. & Akyürek, S. Z. (2007). İkinci Veriler Kullanılarak Türkiye Ortalama Yıllık Yağış Değerlerinin Mekânsal Dağılımının Modellenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim–02 Kasım 2007, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Bostan, P. A., Heuvelink, G. B. M. & Akyurek, S. Z. (2012). 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.
- Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., Bièvre, B. & De Wyseure, G. (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*, 329(3–4), 413–421.
- Carrera-Hernandez, J. J. & Gaskin, S. J. (2007). Spatio temporal analysis of dairly precipitation and temperature in the Basin of Mexico. *Journal of Hydrology*, 336, 231–249.
- Çetin, M. & Tülücü, K. (1998). Doğu Akdeniz Bölgesi’nde aylık yağışların yersel değişimlerinin jeostatistik yöntemle incelenmesi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 22, 279–288.
- Diodato, N. (2005). The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. *International Journal of Climatology*, 25, 351–363.
- Di Piazza, A., Conti, F. L., Noto, L. V., Viola, F., & La Loggia, G. (2011). Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 396–408.
- Elibüyük, M., Yılmaz, E. (2010). Türkiye’nin coğrafi bölge ve bölümlerine göre yükselti basamakları ve eğim grupları. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 8(1), 27–55.
- Frazier, A. G., Giambelluca, T. W., Diaz, H. F. & Needham, H. L. (2016). Comparison of geostatistical approaches to spatially interpolate month-year rainfall for the Hawaiian Islands. *International Journal of Climatology*, 36(3), 1459–1470.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, UK.
- Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228, 113–129.
- Hengl, T., Heuvelink, G. B. M. & Stein, A. (2003). Comparison of kriging with external drift and regression-kriging. Technical note, ITC, <http://www.itc.nl/library/Academic-output/>.
- Hengl, T. (2009). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Isaaks, E. & Srivastava, R. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
- İlker, A. & Terzi, Ö. (2012). Akdeniz Bölgesi’nde Yağışın Alansal Dağılımı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitim Anabilim Dalı, Isparta.
- Johnston, K., Ver Huef, J.M., Krivoruchko, K. & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*, ESRI Press, Redlands, CA, USA.
- Kravchenko, A., Zhang, R. & Tung, Y. (1996). Estimation of Mean Annual Precipitation in Wyoming Using Geostatistical Analysis. Proceedings of American Geophysical Union 16th Annual Hydrology Days, April 15–18, 1996, Fort Collins, Colorado.

- Koçman, A. (1993). Türkiye İklimi. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İzmir.
- Linchtenstern, A. (2013). Kriging Methods in Spatial Statistics. Bachelor’s Thesis, Technische Universität München, Department of Mathematics, Germany.
- Lloyd, C. D. (2005). Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain. *Journal of Hydrology*, 308, 128–150.
- Moral, F. J. (2010). Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: Application to precipitation. *International Journal of Climatology*, 30(4), 620–631.
- Phillips, D. L., Dolph, J. & Marks, D. (1992). A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58(1–2), 119–141.
- Schuermans, J. M., Bierkens, M. F. P., Pebesma, E. J. & Uijlenhoet, R. (2007). Automatic prediction of high-resolution daily rainfall fields for multiple extents: The potential of operational radar. *Journal of Hydrometeorology*, 8(6), 1204–1224.
- Silva, W. M. & Simões, S. J. (2014). Spatial intra-annual variability of precipitation based on geostatistics: A case study for the Paraíba Do Sul Basin, Southeastern Brazil. *International Journal of Geosciences*, 5, 408–417.
- Tobin, C., Nicotina, L., Parlange, M. B., Berne, A. & Rinaldo, A. (2011). Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region. *Journal of Hydrology*, 401(1–2), 77–89.
- Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Kriter Yayınları, İstanbul.
- Wackernagel, H. (2003). *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications*, Springer-Verlag, Berlin.
- Yang, M. (2015). *Benchmarking Rainfall Interpolation Over the Netherlands* (Master’s Thesis). University of Twente, Enschede.

### **Extended English Abstract**

The mathematical location of Turkey is between 36°-42° North latitude and 26°-45° East longitude. Parallel mountain ranges, volcanic mountains or plateaus plains covered with lacustrine and marine sediments and deeply split by river valleys, delta valleys expanding in outfalls of big rivers, tectonic basins with subsoil covered with alluvions constitute the basic units of geographical formations in Turkey. The country is a rough, high mountain region of which average elevation is approximately 1132 m and the square measure of high areas is approximately more than 55%. The factors such as its location, the fact that it is surrounded on three sides by the sea, its being situated high above sea level, having alongshore mountain ranges, its closeness and distance to the sea, geographical formations varying in a short distance affect Turkey’s climate. The effect of climate changes on precipitations cannot be ignored. The pattern, amount and duration of precipitation in Turkey vary in terms of the seasons and regions. For this reason, it is required to conduct current studies regarding precipitation variability, precipitation tendencies and fluctuations, precipitation probability, atmospheric oscillation patterns and circulation types related to precipitation reliability, and precipitation models. Because of the fact that the distribution of precipitation is calculated correctly enables that forward-looking plans in studies such as climatology and hydrology are more realistic. Hydrologic studies related to the precipitation variable have a significant role in the prediction of dry-wet periods and atmospheric disasters such as flood, the estimation of the amount of surface and underground water sources, and contamination of water sources. It is possible to examine the distribution of regional and local precipitation thanks to the point data analysis. However, horizontal and vertical insufficient and heterogeneous distribution of the meteorological observation network and the restriction of record dates cause problems for detection of the precipitation distribution. Thus, spatial modeling conducted with geostatistical methods is a significant choice in the estimation of the precipitation variable for unmeasured

locations. Kriging is the main method of geostatistics. The interpolation related to spatial dependency of the observed samples was first used to estimate the amount of gold in the ore in mining industry in South Africa in the 1950s by D.G. Krige. In 1963, French mining engineer Matheron developed the regional variables theory based on this method. Therefore, the basis of the Kriging technique is based on the regional variables theory. It is a statistical calculation method that addresses the relationship between the samples by considering the coordinates of the samples and which is based on the stationary coincidence theory in functions theory. This calculation method has significant advantages such as the possibility to determine the amount of error made at certain confidence levels. It enables to reveal the spatial distribution of precipitation with auxiliary variables explaining especially precipitation and to make more correct precipitation estimations. The aim of this study is to create precipitation models with the help of precipitation and auxiliary variables such as coastal proximity, elevation, aspect and slope affecting precipitation in Turkey and to determine the most correct precipitation model. For this purpose, the annual mean total precipitation values calculated from 276 meteorology stations covering the period between 1970 and 2014 were used. The Kriging (Ordinary Kriging), Co-Kriging (Ordinary Co-Kriging) and Kriging with External Drift techniques were used in modeling precipitation. The results were tested with the Cross Validation method. The Coefficient of Determination ( $R^2$ ), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Mean Error (ME) performance measurement values were calculated and the models were compared. Firstly, the correlation analysis was conducted to investigate whether there was a linear relationship between precipitation and auxiliary variables. According to the results, the auxiliary variables of coastal proximity and elevation were selected to be used in the Co-Kriging and Kriging with External Drift analyses. Accordingly, three separate models in which elevation, coastal proximity and both of them were used together were produced while conducting the Co-Kriging and Kriging with External Drift analyses. When the performance results of the precipitation estimation model created without using auxiliary variables were evaluated,  $R^2$  value was observed to be 0.62, RMSE (mm) value was observed to be 169.8, ME value was observed to be -0.378 and MAE value was observed to be 111.7. However, the precipitation values in the precipitation estimation chart are strongly transitive and high estimation values are included in the error estimation chart. The precipitation model acquired from the Co-Kriging technique in which elevation was used as the auxiliary variable gave the performance results of  $R^2$  value as 0.64, RMSE (mm) value as 297.8, ME value as 247.8 and MAE value as 253.9. The precipitation model acquired from the Kriging with External Drift technique in which the coastal proximity was used as the auxiliary variable gave the results of  $R^2$  value as 0.64, RMSE (mm) value as 162.3, ME value as -0.246 and MAE value as 107.8. Although it has similarities with  $R^2$  values of the Co-Kriging technique, there are differences in other performance measurements. In the study, the error estimation chart of the results of the Kriging with External Drift analysis in which the auxiliary variables of coastal proximity and elevation were used together indicated lower values when compared to other analyses in terms of high and low estimation values. Furthermore, when the performance results were evaluated with the precipitation estimation model created by using the auxiliary variable of coastal proximity, small differences were observed as 0.01 in  $R^2$  and 3.9 in RMSE (mm) value. In accordance with these results, the annual mean total precipitation estimation model in Turkey was created and identified as the most correct precipitation model as a result of the Kriging with External Drift analysis in which the auxiliary variables of coastal proximity and elevation were used together. The application of Kriging techniques is one of the appropriate methods in the examination of the distribution of precipitation. In addition to this, the use of auxiliary variables in the application of Kriging techniques increases the performance of the model. Thus, models created provide more precise values for precipitation. This makes it possible to form a correct basis for common applications in many fields such as national economy, energy, water and land resources, the correct use of water resources, correct planning of hydraulic structures, and agriculture.