



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**JEOİSTATİSTİK ANALİZ İLE YAĞIŞ
HARİTALARININ GÖRSELLEŞTİRİLMESİ**

Mustafa HÜSREVOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2018
KONYA

Her Hakkı Saklıdır
TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa Hüsrevoğlu tarafından hazırlanan “Jeoistatistik Analiz İle Yağış Haritalarının Görselleştirilmesi” adlı tez çalışması 28/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri yeleri

Başkan

Prof. Dr. İsmail Bülent GÜNDOĞDU

Danışman

Prof. Dr. İsmail Bülent GÜNDOĞDU

ye


Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ

ye

Doç. Dr. İbrahim YILMAZ

İmza









Yukarıdaki sonucu onaylım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Mustafa HÜSREVOĞLU

Tarih: 28.06.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOİSTATİSTİK ANALİZ İLE YAĞIŞ HARİTALARININ GÖRSELLEŞTİRİLMESİ

Mustafa HÜSREVOĞLU

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. İsmail Bülent GÜNDOĞDU

2018, 128 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. İsmail Bülent GÜNDOĞDU

Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ

Doç. Dr. İbrahim YILMAZ

Küresel ısınma ve iklim değişikliği olaylarının gözlemlendiği günümüzde, iklim konuları hakkında yapılan araştırmaların önemi artmıştır. Bu tez çalışması ile Türkiye’de meydana gelen yağış olaylarının yağış miktarı cinsinden konumsal dağılımı jeoistatistik analiz ile incelenerek haritalandırılmıştır. Çalışmada kullanılan veri seti Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilmiştir. Veriler 265 meteoroloji gözlem istasyonunun 30 yılı kapsayan aylık ortalama yağış miktarından oluşmaktadır. Yağış miktarı hakkında veri bulunmayan konumlar için en uygun tahminlerin nasıl yapılabileceği deneysel uygulamalar ile araştırılmıştır. Bu amaç için deterministik ve jeoistatistik yöntemler kullanılmıştır. Konumsal tahminler için deterministik yöntemler olarak bilinen, mesafenin tersine göre ağırlıklandırma, radyal bazlı fonksiyonlar, global ve yerel polinom enterpolasyonu yöntemleri yaygın olarak kullanılırlar. Ancak bu yöntemler araştırılan değişkenlerin birbirleri arasındaki mekânsal ilişkiyi ihmal ederek sadece matematiksel esaslarına göre tahmin sonuçları üretirler. Geoistatistik analiz için konumsal bağımlılık yarı variogram modelleri ile belirlenir ve tahminlerde kullanılır. Geoistatistik analiz çeşitli disiplinlerde yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu çalışmada jeoistatistik yöntemlerinden Ordinary Kriging (OK), Simple Kriging (SK), Universal Kriging (UK) ve meteoroloji istasyonlarının yükseklik değerlerinin ikincil değişken olarak kullanıldığı Co-Ordinary Kriging (COK) yöntemleri kullanılmıştır. Geoistatistik analiz sonuçlarını etkileyen her bir unsurun tahminlere etkisi çok sayıda uygulamanın gerçekleştirilmesi ile ortaya konmuştur. Deterministik yöntemler ve jeoistatistik yöntemler ile gerçekleştirilen tahminlerin doğruluk ve hassasiyetleri çapraz değerlendirme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Uygulamalar sonucunda jeoistatistik yöntemlerin deterministik yöntemlere göre daha uygun tahmin sonuçları ortaya çıkardığı belirlenmiştir. Buna ek olarak jeoistatistik yöntemler de birbirleri arasında karşılaştırılmış olup bu yöntemler arasından en uygun tahmin bulgularını, trend etkisinin kaldırılması ve Küresel (Spherical) yarı variogram modelinin kullanılması ile tahminlerin yapıldığı OK yöntemi ortaya çıkarmıştır. Uygulamalar sonucunda her yöntem için ortaya çıkan haritalar verilmiştir. OK yöntemi ile elde edilen en uygun tahmin haritası ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilen yıllık toplam yağış haritası karşılaştırılmıştır. Geoistatistik analizin uygulama esasları ve dikkat edilecek hususlar ayrıntılı şekilde gösterilmiştir. Birçok uygulama sonucunda elde edilen en uygun tahmin haritası ile Türkiye’de meydana gelen yağışların konumsal dağılımı hakkında yapılacak farklı araştırmalara yol gösterilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enterpolasyon, Geoistatistik, Kartografya, Kriging, Meteoroloji, Yağış

ABSTRACT

MS THESIS

VISUALIZATION OF PRECIPITATION MAPS BY GEOSTATISTICAL ANALYSIS

Mustafa HÜSREVOĞLU

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN GEOMATICS ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Ismail Bulent GUNDOGDU

2018, 128 Pages

Jury

**Prof. Dr. Ismail Bulent GUNDOGDU
Prof. Dr. Ibrahim Oztug BILDIRICI
Assoc. Prof. Dr. Ibrahim YILMAZ**

Nowadays, because of the global warming and climate change events, the importance of research on climate issues has been increased. In this thesis, spatial distribution of precipitation events in Turkey by type of precipitation amount have been examined and mapped by geostatistical analysis. The dataset used in the study has been obtained from the Turkish State Meteorological Service. The data consists of monthly average precipitation of 30 years record of meteorological stations. Experimental studies have been performed on how to make the most appropriate estimates for locations where there has no data on precipitation. For this purpose deterministic and geostatistical methods have been performed. Known as deterministic methods; inverse distance weighting, radial basis functions, global and local polynomial interpolation methods are widely used for spatial estimates. However, these methods produce prediction results based solely on mathematical basis by neglecting the spatial relationship between the variables investigated. In geostatistical analysis, spatial dependency can be determined by semi variograms then determined results use for estimation. In recent years geostatistical analysis has been common in various disciplines. In this study, Ordinary Kriging (OK), Simple Kriging (SK), Universal Kriging (UK) and Co-Ordinary Kriging (COK) methods have been performed as geostatistical methods. Elevation values of meteorological stations have been used as a secondary variable for Co-Ordinary Kriging (COK) method. The effects of each factor affecting the results of geostatistical analysis have been applied by estimating the number of implementations. Accuracy and precision of the estimates performed by the deterministic methods and geostatistical methods have been compared by using cross validation method. As a result of the applications, it has been determined that the geostatistical methods have more suitable estimation results than the deterministic methods. In addition, geostatistical methods have been compared with each other, and the most appropriate estimation finding among these methods has been found by OK method, in which the trend effect has been removed with used the Spherical semi-variogram model. As a result of the applications; related maps for each method have been produced. The most appropriate prediction map has been obtained by the OK method and compared with the annual mean precipitation map obtained from the General Directorate of Meteorology. Implementation principles and considerations of geostatistical analysis have been given in detail. It is aimed that most appropriate estimated map, will guide for future studies.

Keywords: Cartography, Geostatistics, Interpolation, Kriging, Meteorology, Precipitation

ÖNSÖZ

Değerli hocam Prof. Dr. İsmail Bülent Gündoğdu'ya ve değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa HÜSREVOĞLU
KONYA-2018



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Materyal ve Çalışma Alanı	9
3.2. Yöntem.....	11
4. JEOİSTATİSTİK ANALİZ ESASLARI	20
4.1. Verilerin İstatistiksel Dağılımının Araştırılması.....	25
4.2. Yarı Variogram Fonksiyonu	31
4.3. Kriging Metotları	39
4.4. Çapraz Değerleme Metodu	46
4.5. Deterministik Enterpolasyon Metotları	48
4.5.1. Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW)	48
4.5.2. Global polinom enterpolasyonu (GPI).....	49
4.5.3. Yerel polinom enterpolasyonu (LPI)	50
4.5.4. Radyal bazlı fonksiyonlar (RBF)	51
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	53
5.1. Veri Setinin İstatistiksel ve Konumsal Özelliklerinin İncelenmesi	53
5.2. Mekânsal Bağımlılığın Araştırılması.....	59
5.3. Yönelimsel Yarı Variogram ile Anizotropinin Araştırılması	61
5.4. Komşuluk Arama Özelliklerinin Belirlenmesi	62
5.5. Uygun Adım Aralığı ve Adım Sayısının Belirlenmesi	63
5.6. Durağanlığın Araştırılması	64
5.7. Kriging Metotlarından Elde Edilen Tahmin Bulguları	66
5.7.1. Ordinary kriging metodu ile elde edilen bulgular.....	67
5.7.2. Simple kriging metodu ile elde edilen bulgular.....	74
5.7.3. Universal kriging metodu ile elde edilen bulgular.....	81
5.7.4. Co-Ordinary kriging metodu ile elde edilen bulgular.....	86
5.7.5. Kriging metotlarının tahmin bulgularının karşılaştırılması	93
5.8. Deterministik Metotlardan Elde Edilen Tahmin Bulguları.....	97
5.8.1. Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW) bulguları.....	97

5.8.2. Global polinom enterpolasyonu (GPI) bulguları	98
5.8.3. Yerel polinom enterpolasyonu (LPI) bulguları.....	99
5.8.4. Radyal bazlı fonksiyonların (RBF) bulguları	101
5.8.5. Deterministik metotların tahmin bulgularının karşılaştırılması.....	105
5.9. Kriging Metotları İle Deterministik Metotların Karşılaştırılması.....	108
5.10. Tartışma	109
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR	123
ÖZGEÇMİŞ	128



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- x : Rasgele değişken.
 x_i : ' i ' konumundaki rasgele değişken, örnek noktası.
 \bar{x} : Rasgele değişkenlerin ortalama değeri.
 x_m : Rasgele değişkenlerin medyan değeri.
 x_0 : Tahmini yapılan nokta.
 $z(x_i)$: ' x_i ' konumundaki örnek noktasının beklenen değeri.
 $\hat{Z}(x_0)$: ' x_0 ' noktasındaki rasgele değişkenin tahmin edilen değeri.
 n : Örnek noktası sayısı.
 I_q : Çeyrekler açıklığı.
 s : Standart sapma.
 k_s : Çarpıklık katsayısı.
 k_k : Basıklık değeri.
 k : Histogram sınıf sayısı.
 Y_i : Normal dağılımlı veri.
 χ_i : Çarpık dağılımlı veri.
 $\hat{\gamma}(h)$: Yarı variogram fonksiyonu.
 h : Adım aralığı.
 N : Karşılaştırılan örnek çifti sayısı.
 γ : Yarı varyans.
 a : Etki mesafesi.
 C : Eşik değeri.
 C_0 : Nugget varyansı.
 λ_i : Ağırlık katsayısı.
 $\psi(x_0)$: Lagrange çarpanı.
 $\hat{\sigma}^2(x_0)$: Kriging tahmini varyansı.
 p : Güç parametresi.
 $\phi(r)$: Radyal tabanlı fonksiyon.
 C_E : Euler sabiti.

Kısaltmalar

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ASE	Average Standart Error
COK	Co-Ordinary Kriging
CRS	Completely Regularized Spline
GPI	Global Polynomial Interpolation
IDW	Inverse Distance Weighting
ISD	Inverse Square Distance
LPI	Local Polynomial Interpolation
ME	Mean Error
MSE	Mean Standardized Error
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
OK	Ordinary Kriging
RMSE	Root Mean Square Error
RMSSE	Root Mean Square Standardized Error
RBF	Radial Basis Functions
SK	Simple Kriging
SWT	Spline With Tension
TM	Transversal Merkator
TPS	Thin Plate Spline
UK	Universal Kriging
WGS84	World Geodetic System 1984

1. GİRİŞ

Yeryüzünde mevcut bulunan veya meydana gelecek sonsuz sayıda verinin çoğu zaman konumsal bir bileşeni vardır. Konumsal veriler bir mekânı temsil etmekle birlikte bu verilerin zamana bağlı bileşenleri de olabilir. Araştırılan konu ile ilgili değişkenlerin konumsal özelliklerinin belirlenebilmesi için ilk önce verilerin toplanması gerekir. Ancak herhangi bir konuya ait verinin bütün yeryüzü için veya belirlenen bir alanın tamamında eksiksiz olarak toplanmasının ekonomi ve zaman açısından mümkün olmayacağı açıktır. Bu yüzden incelenen alanı temsil edebilecek sayıda örnek veri toplamak ve bu veriler ile bilgi sahibi olunmayan diğer konular için tahminde bulunmak en yaygın araştırma metodudur.

Yağış, sıcaklık, nem ve rüzgâr şiddeti gibi birçok iklim değişkeni insan yaşamını ve yeryüzünü doğrudan etkilemektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği etkileri ile birlikte kuraklık, taşkın, sel ve iklime dayalı sektörlerde görülen riskler gibi çevresel ve ekonomik yeni sorunlar meydana gelmektedir. İklim ile doğrudan bağlantılı olan birçok konu hakkında mevcut iklim normallerinin belirlenmesi, geleceğe dair fikir edinmek ve alınması gereken önlemlerin tespit edilebilmesi amaçları iklim hakkında daha fazla çalışmanın ortaya konmasını gerektirmektedir. Bu nedenle iklim ile ilgili çalışmalar araştırmacıların ve toplumların günümüzde ilgi gösterdiği önemli konular haline gelmiştir.

Yağış değerlerinin bilinmediği konular için uygun tahminler gerçekleştirmek, ekonomik kararlar, afetlerin önlenmesi, iklime bağlı diğer değişkenlerin araştırılması gibi çeşitli konulara yol gösterecektir. Çalışma alanımız Türkiye’de, başlıca ekonomik gelir kaynaklarının tarım ve hayvancılık olması, yağışlara bağlı olarak sel ve taşkın afetlerinin görülmesi ve su yönetimi gibi çeşitli konular için mevcut yağış dağılımının en uygun şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir. Yağış miktarı belirli konularda yer alan gözlem istasyonları ile toplanır. Ancak elde edilen veriler tek başlarına araştırılan konu hakkında istenilen düzeyde bilgi veremezler veya incelenen çalışma alanının tamamı için yağışın konumsal dağılımının doğrudan anlaşılmasını sağlayamazlar. Bu nedenle mevcut veriler araştırılarak ve işlenerek konumsal tahmin metodları ile araştırılan değişkenin konumsal dağılımı hakkında bilgi sağlanır. Elde edilen tahmin verilerinin konumsal bileşenleri ile birlikte sunulmasının ve yorumlanmasının en uygun yolu ise haritaları kullanmaktır. Haritalar mevcut verinin konumsal olarak kavranabilmesini ve daha doğru karar vermeyi sağlar. Bu tez çalışması

ile Türkiye’de meydana gelen yağış olaylarının konumsal dağılımlarının haritalanmasında jeoistatistik yöntemlerin uygulanabilirliği, nasıl uygulanması gerektiği ve bu yöntemlerin geleneksel tahmin yöntemlerine göre farklılıkları araştırılarak yağış dağılımının haritalanması için uygun konumsal tahmin yöntemleri belirlenmiştir.

Türkiye’ de meydana gelen yağışlara ait verilerin jeoistatistiksel yaklaşımlar ile değerlendirilip, yağışlar hakkında en doğru harita gösterimini sağlamak ve geleneksel yöntemler ile jeoistatistik yöntemlerin farklılıklarının uygulamalar ile vurgulanması tezin amaçlarından biridir. Bu amaç için yaygın olarak kullanılan Mesafenin Tersine Göre Ağırlıklandırma yöntemi (Inverse Distance Weighting, IDW), Global Polinom Enterpolasyonu (Global Polynomial Interpolation, GPI), Yerel Polinom Enterpolasyonu (Local Polynomial Interpolation, LPI), Radyal Bazlı Fonksiyonlar (Radial Basis Functions, RBF) gibi geleneksel tahmin yöntemleri ve önceleri maden ve jeoloji disiplinlerinde kullanılan, daha sonra birçok disiplinde kullanımı yaygınlaşan jeoistatistik analiz yöntemleri ile uygulamalar yapılarak en doğru tahmin yöntemi araştırılmıştır. Jeoistatistik başlığı altında çeşitli kriging yöntemleri olup bu çalışmada Ordinary Kriging (OK), Simple Kriging (SK), Universal Kriging (UK) ve yağış verileri ile birlikte ikincil veri olarak meteoroloji istasyonlarının yükseklik bilgisinin kullanıldığı Co-Ordinary Kriging (COK) yöntemleri ile uygulamalar yapılmıştır. Geleneksel ve jeoistatistik yöntemler sonucunda elde edilen tahmin değerlerinin doğruluğu ve en uygun tahmin yöntemi, çapraz değerlendirme yöntemi ile incelenerek ortaya çıkan tahmin hatalarının karşılaştırılması ile belirlenmiştir. En uygun yöntem sonucunda elde edilen tahmin değerleri ile yağışların konumsal dağılımı haritalanarak yağış verilerinin konumsal olarak yorumlanması ve iletilmesi sağlanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan veri seti Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden (MGM) temin edilmiştir. Veri seti Türkiye sınırları içerisinde bulunan 265 meteoroloji gözlem istasyonuna ait 30 yıllık yağış verilerinin aylık ortalamalarından ve istasyonların yatay ve düşey konum bilgilerinden oluşmaktadır. Tahmin yöntemlerinin uygulanışı ve elde edilen verilerin haritalandırılmasında ArcGIS 10.2.2 (Selçuk Üniversitesi Lisansı) yazılımı kullanılmıştır. Farklı yöntemler ve her yöntemin farklı uygulama biçimleri ile elde edilen uygun tahmin büyüklükleri eş yükseklik eğrileri ile renklendirilerek haritalandırılmıştır. Haritalar, Transversal Merkator (TM) projeksiyonu dilim orta meridyeni 36° seçilerek, WGS84 (World Geodetic System 1984) elipsoidinde elde edilmiştir. Tez çalışmasında bu seçim ‘TM’ olarak ifade edilmiştir.

Jeoistatistik analiz ile iklim ve çeşitli konular hakkında yapılan çalışmalarda araştırmacıların çoğu zaman jeoistatistik analiz esaslarının arkasında yatan bazı etki unsurları ihmal ettikleri ve kriging metotlarından çoğu zaman sadece OK metodunun kullanıldığı gözlemlenmiştir. Oysaki jeoistatistik analiz ile optimal tahmin bulguları elde edebilmek için mevcut verilerin birbirleri arasındaki istatistiki ve konumsal ilişkinin araştırılması, jeoistatistik varsayımlarının sağlanması ve buna göre uygun analiz yaklaşımının, yarı variogram modelinin ve kriging metodunun belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada en uygun tahmin değerlerinin elde edilmesi için verilerin dağılım şekli, jeoistatistik varsayımlarının sağlanması, uygun şekilde yarı variogram parametrelerinin ve modellerinin belirlenmesi, konumsal trend etkisi ve anizotropi gibi etki unsurları araştırılarak hem teorik uygulama prensipleri hem de deneysel olarak tüm bu etkilerin farklı kriging yöntemleri üzerindeki etkileri araştırılarak, çalışma alanı ve mevcut veri için her bir etki unsurunun tahminler üzerindeki rolü belirlenmiştir. Böylece en doğru analiz yaklaşımı araştırılmıştır. Uygulamalar sonucunda jeoistatistik yöntemlerin geleneksel yöntemlere göre üstünlüğü ortaya konmuş olup en uygun tahmin bulguları mevcut veri setinden konumsal trend etkisinin kaldırılması, çarpık dağılımlı veri setinin kullanımı ve Küresel (Spherical) yarı variogram modeli ile OK yönteminin kullanılması ile elde edilmiştir. Farklı uygulama varyasyonlarının sunulduğu bu çalışma ile jeoistatistik analiz konusunda gelecekte yapılacak çalışmalara yol gösterici bilgiler verilmiştir.

Tahmin değerlerinin sunulduğu ilgili haritaların kullanışlı ve en doğru yöntemler ile üretilmesi doğru bilgilere ve tedbirlere ulaşmak için en önemli faktörlerden biridir. Bu tez ile uzun yıllar aylık ortalama yağış verilerinin istatistik ve matematik esaslarla desteklendiği ve doğrulandığı haritalar üretilmesi, bundan sonraki yıllarda yağışlara bağlı oluşabilecek doğal afetler için alınacak önlemler açısından önemli altlıklar olacaktır.

Tezin ikinci bölümünde konu ile ilgili kaynak araştırması bilgileri verilmiştir. Üçüncü bölümde ise araştırma alanı ve kullanılan veri seti ile birlikte uygulamaların nasıl bir strateji ile gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Dördüncü bölüm, jeoistatistik analiz ve deterministik enterpolasyon metotlarının esaslarından oluşmaktadır. Beşinci bölümde, uygulamalar sonunda ortaya çıkan araştırma bulguları ve elde edilen bilgilerin yorumlanarak tartışılmasına yer verilmiştir. Son olarak altıncı bölümde, araştırma sonunda edinilen bilgilerden ortaya çıkan sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Birçok araştırmacı tarafından konumsal tahmin yöntemleri, jeostatistik analizin matematiksel esasları ve uygulama prensipleri ayrıntılı şekilde verilmiştir (Matheron, 1963; 1973; Englund ve Sparks, 1988; Isaaks ve Srivastava, 1989; Cressie, 1993; Goovaerts, 1997; Kitanidis, 1997; Armstrong, 1998; Chiles ve Delfiner, 1999; Johnston ve ark., 2001; Wackernagel, 2003; Bohling, 2005; Krivoruchko, 2005; Webster ve Oliver, 2007; Hengl, 2009; Şen, 2009; Oliver, 2010; Sarma, 2010; Haining, 2014; Oliver ve Webster, 2015).

Çetin ve Tülücü (1998) çalışmalarında Doğu Akdeniz Bölgesi için aylık yağış verilerinin konumsal dağılımını OK yöntemi kullanarak belirlemiştir. Elde ettikleri bulgulara göre çalışma alanı için en uygun yarı variogram modelinin Küresel yarı variogram modeli olduğu belirlenmiştir. OK yöntemi ile elde edilen tahmin değerleri ve hataları haritalanmıştır. Yüksek tahmin hatalarının görüldüğü bölgeler için daha fazla meteoroloji istasyonunun tesis edilmesini tavsiye etmişlerdir.

Apaydin ve ark. (2004) çalışmalarında güneş ışınması, güneş ışığı süresi, sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yağıştan oluşan altı farklı iklim parametresi ile Güneydoğu Anadolu Projesi Bölgesi'nde GPI, LPI, spline yöntemi, kriging ve Co-Kriging yöntemlerini kullanarak bu mekânsal tahmin yöntemlerini karşılaştırmıştır. Spline yöntemi ile güneş ışığı süresi ve yağış için Co-Simple Kriging yöntemi ile diğer iklim parametreleri için uygun tahmin sonuçları elde etmişlerdir.

Lloyd (2005) çalışmasında İngiltere'de görülen yağışların her ay için haritalanmasında ikincil değişken olarak yükseklik verisinin kullanılmasının etkilerini araştırmıştır. OK, SK, UK, IDW ve hareketli pencere regresyonu yöntemlerini kullanarak bu yöntemleri karşılaştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre bazı aylar için dışsal drift ile birlikte kriging yöntemi diğer aylar için ise OK yöntemi uygun tahmin sonuçları üretmiştir.

Uyar (2005) yüksek lisans tezinde, 'JEVAR3' isimli bir variogram hesaplama ve kriging yazılımı geliştirerek, Ordu ili Sayaca altın cevherleşmesi kapsamında bu yazılım ile örnek kriging uygulamaları yapılmıştır.

Uzunlar (2006) yüksek lisans tezinde, Türkiye'de yüzey sıcaklığı ve yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımlarını belirlemek amacıyla jeostatistik analiz uygulamaları gerçekleştirmiştir.

Şensoy ve ark. (2007) klimatolojik uygulamalarda ArcGIS yazılımının Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hangi alanlarda kullanıldığı ve hangi yöntemlerin kullanıldığı konusunda bilgiler vermiştir. Sıcaklık, yağış, ısıtma ve soğutma gün dereceleri gibi konuların haritalanması çalışmaları hakkında bilgiler sunulmuştur. Çalışmanın sonucunda uygun konumsal tahmin yönteminin arandığının ve jeostatistik analiz için eğitim alınmasının önemi vurgulanmıştır.

Topal (2007) yüksek lisans tezinde, 'HGeMS' isimli yazılım ile Ordu ili Sayaca altın cevherleşme kapsamında örnek bir uygulama olarak, analizi yapılan çeşitli elementlerin variogram hesaplamaları, gerçekleştirilen kriging ve simülasyon çalışmaları sunulmaktadır.

Uyguçgil (2007) doktora tezinde, rezerv-tenör tahmini için uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma, OK, SK, iki değişkenli COK ve üç değişkenli COK yöntemleri kullanılarak bu yöntemler karşılaştırılmıştır. Beylikova Magnezit Ocağı için yapılan uygulamalarda, üç değişkenli COK yöntemi uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

Ersoy ve Yünsel (2008) kitaplarında, maden rezerv hesapları için klasik ve jeostatistik yöntemlerin esaslarını ve uygulamalarını vermiştir.

Çakın (2009) çalışmasında Türkiye'nin jeotermal potansiyelini değerlendirmiş, IDW ve kriging yöntemi ile Türkiye'nin yeraltı sıcaklık haritasını oluşturmuştur. Ayrıca Güneydoğu Anadolu ile Trakya Bölgeleri için sadece derin kuyu verileri kullanılarak bu bölgeler için yeraltı sıcaklık haritalarını oluşturmuştur.

Atlı (2010) doktora tezinde, Erzin Ovası yer altı suyu kirlenme potansiyelinin coğrafi bilgi sistemi tabanlı drastic modeli kullanılarak belirlenmesi amacıyla, yer altı suları ile ilgili çeşitli değişkenleri OK yöntemi ile haritalandırmıştır.

Yavuz (2010) çalışmasında IDW, RBF ve OK yöntemleri ile Türkiye'deki çeşitli iklim verilerinin zamansal ve mekânsal analizini gerçekleştirmiştir. OK yöntemini en uygun yöntem olarak belirlemiştir.

Aksoy (2011) doktora tezinde, arazi ve toprak özelliklerinin birbirleri arasındaki ilişki ve dağılım desenini jeostatistik analiz yaklaşımları ile inceleyerek geleneksel toprak haritalama uygulamalarına alternatif bir metot geliştirmiştir. Kriging yöntemi ile elde edilen toprak haritasının, geleneksel yöntem ile hazırlanan harita ile büyük ölçüde benzerlik gösterdiğini ancak daha ayrıntılı bilgi içerdiğini tespit etmiştir.

Eriş (2011) çalışmasında, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimi için yağış dağılımının belirlenmesini amaçlamıştır. Yağışın topoğrafik değişkenler ve kıyı şekli ile

olan ilişkisi araştırılmıştır. Yağış dağılımının haritalanmasında çoklu lineer regresyon, IDW, RBF ve OK yöntemleri kullanılarak bu yöntemlerin doğruluğu karşılaştırılmıştır.

İlker (2012) çalışmasında Akdeniz Bölgesi'nde yağışın alansal dağılımını IDW, Spline enterpolasyon yöntemleri ve OK yöntemi ile araştırmıştır. Akdeniz Bölgesi için yağışın alansal dağılımının belirlenmesinde IDW yönteminin uygun ve kullanılabilir olduğunu tespit etmiştir.

Karaman ve ark. (2012) çalışmalarında, çilek tarımı yapılan arazide konumsal olarak organik madde değişimlerinin belirlenmesinde IDW, RBF, global ağırlıklandırılmış enterpolasyon ve OK yöntemlerini kullanmıştır. Bu yöntemleri karşılaştırmıştır. Araştırma bulgularına göre en uygun yöntem anizotropik şekilde uygulanan OK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Bostan (2013) yağışın mekân ve mekân zamansal dağılımlarını ve değişimlerini incelemiştir. Yağışın mekânsal dağılımının araştırılması için coğrafi ağırlıklı regresyon, çoklu lineer regresyon ve kriging yöntemlerini kullanmıştır ve en uygun sonuç UK yöntemi ile elde edilmiştir. Mekân-zamansal incelemeler için ise mekân-zaman OK ve UK yöntemlerini kullanmıştır, en uygun sonuçlar OK yöntemi ile elde edilmiştir.

Aydın (2014) Türkiye'de 1975-2010 dönemine ait meteoroloji istasyonlarının yıllık ortalama toplam yağış verilerini kullanarak, yağışın mekânsal dağılımını OK yöntemi ile araştırmıştır. OK yönteminin bölgesel olarak kullanılması ile mekânsal dokunun daha iyi yansıtıldığını, OK yönteminin bu konu için uygun bir yöntem olduğunu belirtmiştir.

Özçakal (2014) çalışmasında Ege Bölgesi'nde yağış ve sıcaklık değerlerinin zaman ve mekân boyutunda değişimlerini incelemiştir. Verilerin mekânsal değişimlerinin belirlenmesi ve haritalanmasında kriging yöntemi kullanılmış olup uygulamaların çapraz değerlendirme bulgularına göre Üssel (Exponential) ve Küresel yarı variogram modellerinin en uygun modeller olduğunu belirtmiştir. Yedi adet tahmin haritası ile iklim parametrelerinin zaman içerisindeki değişimlerini belirlemiştir.

Yeşilkanat ve ark. (2014) çalışmalarında OK ve UK yöntemi ile Artvin ilindeki doğal kaynak sularında ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivitesinin örnek alınmamış noktalarda tahmini değerleri hesaplamış ve şartlı gauss simülasyonu ile hem toplam alfa hem de toplam beta için bölgedeki dağılım belirlemiştir. Elde ettikleri bulgulara göre UK yöntemini OK yöntemine göre daha uygun olarak belirlemişlerdir.

Wang ve ark. (2014) IDW, GPI, LPI, RBF, OK, ve UK yöntemleri ile Kanada-Ontario'da 12 meteoroloji istasyonuna ait yağış verileri ile yağışın konumsal

dağılımının tahminini gerçekleştirmiştir. Çalışmada LPI yöntemi tahminlerin hata bulgularına göre en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

Başbozkurt (2015) tez çalışmasında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, Çamgazi Toplulaştırma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri Projesi kapsamında Adıyaman'ın Merkez ilçesine ait 19 köyü kapsayan alanda toprak örneklerinden belirlenen; çözünebilir tuz, kireç miktarı, gibi özelliklerin mekânsal regresyon ve jeostatistik metotlar kullanılarak haritalanması ile analizini araştırmıştır.

Borges ve ark. (2016) çalışmalarında sekiz farklı konumsal enterpolasyon yöntemini Brezilya'da bir bölgedeki yağışın mekânsal tahmini için karşılaştırmıştır. OK ve IDW yöntemleri ile en düşük hatalı tahmin bulgularını elde etmişlerdir.

Kuzucu (2016) çalışmasında konumsal ve zamansal olarak, Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Seyhan Havzası'nda kuraklık analizi yapmıştır. Konumsal analiz için 30 adet meteoroloji gözlem istasyonundan yararlanarak, OK yöntemi uygulanmıştır.

Taylan ve Damçayırı (2016) çalışmalarında Isparta bölgesinde yağış değerlerinin tahmini için IDW ve OK yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmanın tahmin bulgularına göre IDW yöntemi ile OK yöntemine göre daha uygun tahmin değerleri ve haritaları elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Çitakoğlu ve ark. (2017) çalışmalarında, 200 adet yağış gözlem istasyonunun 20 yıl veya daha fazla süre ile kaydedilmiş aylık yağış verilerini kullanarak Türkiye üzerinde mevsimsel yağışların konumsal değişimlerini jeostatistik analiz ile incelenmiştir. Tahminler için OK yöntemi kullanılmış olup uygun variogram modeli olarak Gaussian variogram modeli belirlenmiştir. Kullanılan yöntem ile yeterli doğrulukta tahminlerin yapılabileceği ve yağış olaylarının mevsimlere göre konumsal özellikleri ifade edilmiştir.

Gundogdu (2017) çalışmasında, Türkiye'de yer alan 264 meteoroloji istasyonundan elde edilen aylık ortalama yağış verilerinin haritalanması için Ters Kare Mesafe (Inverse Square Distance, ISD), lineer regresyon ve COK yöntemlerini karşılaştırmıştır. COK yöntemi için ikincil değerler olarak, meteoroloji istasyonlarının yükseklik, eğim ve bakı bilgileri kullanılmıştır. En uygun yöntem olarak COK yöntemi belirlenmiş olup, en uygun tahmin bulguları ikincil veri olarak bakı verisinin kullanılması ile elde edilmiştir.

Javari (2017) çalışmasında, İran üzerinde uzun yıllar aylık ortalama yağış verilerinin konumsal dağılımını deterministik ve jeostatistik yöntemler ile tahmin ederek sekiz farklı tahmin yöntemini karşılaştırmıştır. Çalışmada 140 meteoroloji

gözlem istasyonu kullanılmıştır. Uygulamalar sonucunda OK ve Deneysel Bayesian Kriging yöntemleri en uygun tahminciler olarak belirlenmiştir.

Qu ve ark. (2017) Güney Çin'de atmosferik azot birikiminin kestirimi için konumsal enterpolasyon metotlarından IDW, UK, OK ve RBF yöntemlerini kullanarak bu yöntemleri karşılaştırmıştır. Azot birikiminin konumsal dağılımının analizi için en uygun yöntem olarak OK yöntemi belirlenmiştir. En kötü tahmin sonuçları ise UK yöntemi ile elde edilmiştir.

Berndt ve Haberlandt (2018) Kuzey Almanya'da yağış, sıcaklık, nem ve güneşlenme süresi gibi farklı iklim değişkenleri için konumsal tahmin metotları ile tahminler gerçekleştirerek bu metotların performanslarını araştırmıştır. Elde ettikleri çapraz değerlendirme bulgularına göre kriging yöntemlerinin çalışmada kullanılan IDW ve yakın komşuluk metotlarından daha uygun tahminciler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çok değişkenli olarak gerçekleştirilen tahminlere ikincil verilerin etkisi araştırılmıştır.

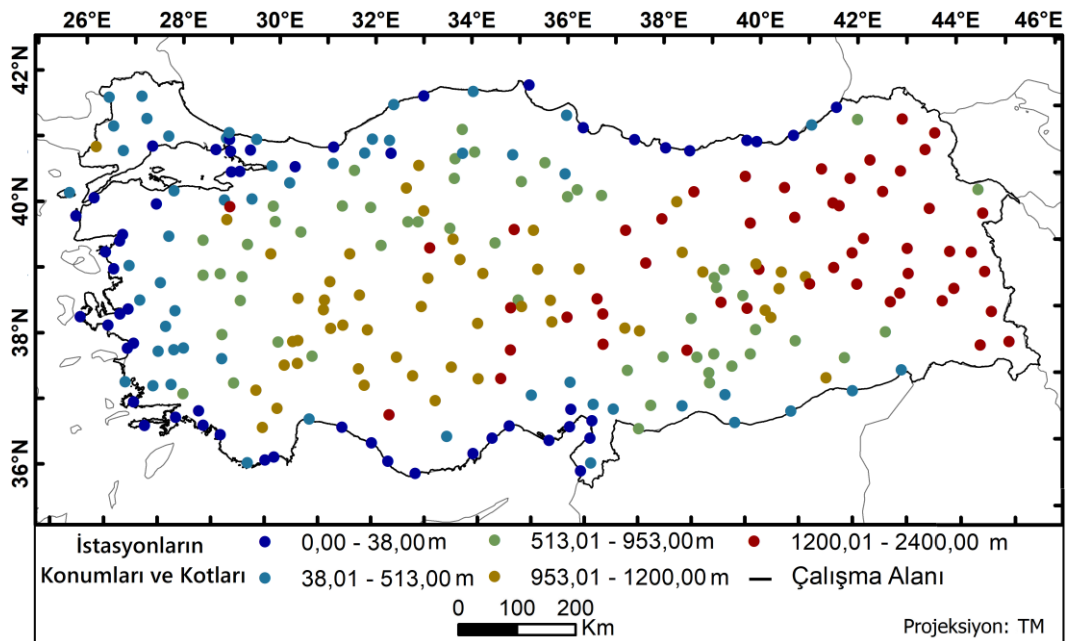
Bostanci (2018) bir cadde etrafında belirli noktalar üzerinde hesaplanan günlük ortalama gürültü miktarını IDW, RBF ve OK yöntemleri ile haritalandırmıştır. En uygun gürültü haritasının RBF yöntemi ile elde edildiğini belirtmiştir.

Canli ve ark. (2018) çalışmalarında, saatlik olarak elde edilen yağış verilerinin, erken uyarı sistemi ile heyelanların önlenmesi için otomatik olarak konumsal dağılımlarının haritalanmasının potansiyelini araştırmıştır. Bu amaç için IDW yöntemi ve OK yöntemi ile otomatik olarak konumsal dağılımının haritalanması ve bu yöntemlerin birbirlerine göre ortaya çıkardığı sonuçlar incelenmiştir.

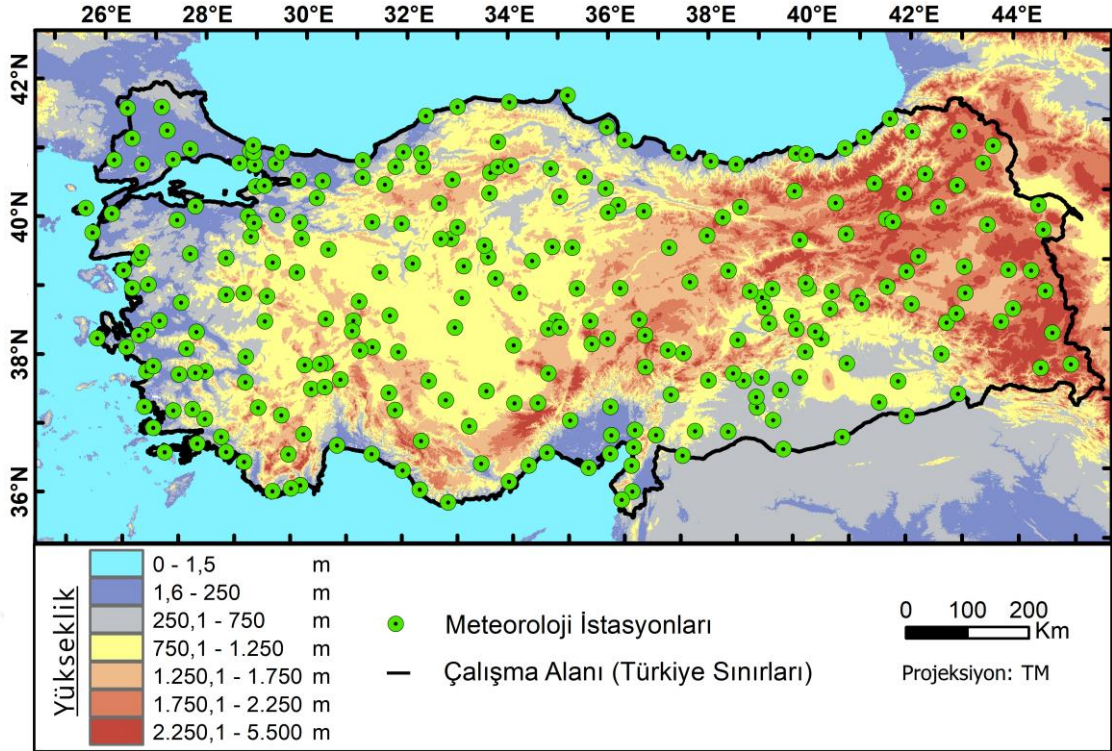
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal ve Çalışma Alanı

Yağış verilerinin örneklememiş noktalar üzerinde tahmin edilmesi ve haritalanması için kullanılan veri seti MGM'nden temin edilmiştir. Bu veri seti, Türkiye sınırları içerisinde yer alan 265 farklı meteoroloji gözlem istasyonlarına ait yatay ve düşey yönde konum bilgilerini, istasyon numaralarını ve istasyonlardan elde edilen 10, 20 ve 30 yıllık yağış verilerinin toplam yağış değeri cinsinden uzun yıllar aylık ortalamalarını içermektedir. İstasyon noktaları çalışma alanı içerisinde konumsal olarak dağınık bir yapı göstermektedir. Veri setinde yer alan, bir metrekare alan için ölçülen, uzun yıllar ortalama aylık toplam yağış için en küçük yağış değeri 2.24 cm/m^2 , en büyük yağış değeri 12.79 cm/m^2 ve ortalama yağış değeri ise 5.69 cm/m^2 olarak gözlemlenmiştir. İstasyonların deniz seviyesinden olan ortalama yükseklikleri 707 m ve en yüksek konumlu istasyon ise 2400 m yükseklikte yer almaktadır. Çalışma alanı ve yağış değerlerinin elde edildiği meteoroloji istasyonlarının konumları, deniz seviyesinden olan yükseklik farkları ve dağılımları Şekil 3.1. ile verilmiştir. Çalışma alanının yükseklik özellikleri ile birlikte meteoroloji istasyonlarının konumları ise Şekil 3.2. ile verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı sınırları ile verilerin elde edildiği istasyonların, yatay ve düşey konumları



Şekil 3.2. Çalışma alanının yükseklik değişimleri ve meteoroloji istasyonlarının konumları

Türkiye ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer alır. Etrafının denizler ile çevrili olması, yeryüzü şekilleri, dağların uzanış şekilleri gibi nedenlerle farklı iklim tipleri görülür (Sensoy ve ark., 2008).

Türkiye’de yağış dağılışı, zaman ve konum bakımından farklılıklar göstermektedir (Türkeş, 1990; Sensoy ve ark., 2008; Ölgen, 2010). Kıyı bölgelerinde, deniz etkisi ile daha ılıman iklim görülürken, Kuzey Anadolu ve Toros sıra dağları deniz etkilerinin iç kesimlere girmesini engelleyerek, iç kesimlerde karasal iklim görülmesine neden olur (Sensoy ve ark., 2008). Kıyı bölgelerinde görülen yüksek nemli hava kütlelerinin Kuzey Anadolu Dağları ve Torosların yamaçlarında yükselerek, bu dağların kıyı tarafı yamaçlarında yüksek miktarda yağışlar bırakmaları ile iç kesimlere doğru yağış miktarları azalmaktadır (Koçman, 1993; Ölgen, 2010). Türkiye’de yıllık ortalama yağış miktarı m^2 'de 57.4 cm olmak üzere, en yüksek yağış miktarı Doğu Karadeniz Bölgesi’nde görülür. En düşük yağış miktarı ise genel olarak İç Anadolu Bölgesi’ndedir. Doğu Anadolu Bölgesi ise yıllık ortalama yağış miktarının altında yağış miktarları gösterir (Ölgen, 2010).

Yağış rejimleri için yedi farklı sınıflandırma Türkeş (2010) tarafından şu şekilde verilmektedir;

- 1) Karadeniz kıyı kuşağı için her mevsim yüksek yağış miktarı görülen Karadeniz yağış rejimi.
- 2) Yaz mevsiminde daha düşük olmak üzere diğer mevsimler yüksek yağışlı olan Marmara geçiş rejimi.
- 3) Ege ve Akdeniz kıyılarında, yazları kurak ve kış aylarında yüksek yağış görülen Akdeniz yağış rejimi.
- 4) Gaziantep, Güneydoğu Toroslar ve Van'a kadar uzanan orta yağışlı kış ve ilkbahar ile çok kurak yaz özelliği gösteren Karasal Akdeniz yağış rejimi.
- 5) Göller Bölgesi ile Kütahya'ya kadar uzanan, kış ve ilkbaharın orta yağışlı görüldüğü Akdeniz geçiş rejimi.
- 6) Orta yağışlı kış ve ilkbahar ile çok kurak yaz görülen Karasal İç Anadolu rejimi.
- 7) Orta yağışlı ilkbahar ve yaz ile Karasal Doğu Anadolu yağış rejimi.

Türkiye'de sel ve taşkın afetleri önemli kayıplara neden olabilmektedir. Uzun yıllar yağış ortalamalarının üzerinde gerçekleşen yağış olayları, sel ve taşkınların nedenlerinden biridir (Yalçın, 2012). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre 1947 yılından beri ani ve şiddetli yağışlara bağlı olarak gerçekleşen, toplam 708 sel, taşkın ve su baskını olayı kaydedilmiştir. Bu verilere göre 196 kişi hayatını kaybetmiş, 58 kişi yaralanmış, 24 kişi kaybolmuş ayrıca 61181 bina hasar görmüştür (AFAD, 2018). Ani ve şiddetli yağışlara bağlı olarak sel ve taşkın olayları şu illerde diğer illere kıyasla daha sık görülmektedir; İstanbul, Erzurum, Gümüşhane, Ankara, Denizli, Bitlis, Gaziantep, Van, Antalya, Bingöl, Muğla, Samsun, Sivas, Aydın, Ağrı, Amasya, Giresun, Bursa, Kayseri, Kocaeli, Rize, Sakarya, Hatay. Yüksek yağışların aksine aşırı kuraklıklar da su ve tarımsal ihtiyaçlar için önemli sorunlar oluşturmaktadır. Konumsal olarak kısa mesafede farklı yağış miktarlarının görülmesi, tahmin doğruluğunu sağlamayı zorlaştıracak bir etken olarak düşünülebilir.

3.2. Yöntem

Yağış gözlemleri ve bu gözlemlere dair veriler belirli meteoroloji gözlem istasyonları ile elde edilebilmektedir. Gözlem istasyonu bulunmayan noktalar için yağış değerinin ne olabileceğinin tahmin edilmesi ve elde edilen tahmin verilerinin uygun şekilde haritalar aracılığı ile görsel hale getirilmesi, bu tez çalışması için yapılan uygulamaların temelini oluşturmaktadır. Tahminler, çalışma alanının tamamını kapsayacak şekilde jeostatistik analiz yöntemleri ve deterministik tahmin yöntemleri ile

yapılmıştır. Jeostatistik analiz yöntemleri arasından OK, SK, UK, COK metotları kullanılmıştır. Deterministik yöntemler için ise IDW, GPI, LPI ve RBF yöntemleri kullanılarak bu yöntemler ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler ile meteoroloji istasyonlarından elde edilen uzun yıllar yağış verilerinin aylık ortalamaları kullanılmıştır ve tahminler sadece konumsal anlamda gerçekleştirilmiştir. COK uygulamalarında yağış verilerinin yanında ikincil veri olarak ise meteoroloji istasyonlarının yükseklik bilgisi kullanılmıştır. Uygulamaların sonucunda elde edilen tahmin verileri, iki boyutlu düzlemde eş yükseklik eğrileri ile harita çıktıları şeklinde görselleştirilmiştir. Jeostatistik analiz varsayımlarının ve uygulama prensiplerinin sağlanması için uygulamalardan önce verilerin ön değerlendirmesi yapılarak, istatistiksel bulgular ve verilerin birbirleri arasındaki konumsal ilişkileri incelenmiştir. Deterministik yöntemler için ise, veriler doğrudan kullanılmıştır.

Jeostatistik analiz için şu hususlar gözetilmiştir;

Mevcut veri setine ait yağış değerleri istatistiksel olarak çarpık dağılım göstermektedir. Jeostatistik analiz uygulamalarında daha uygun tahmin değerleri elde etmek için ise çarpık dağılımlı verilerin çeşitli dönüşüm yöntemleri ile normal dağılıma yaklaştırılması önerilmektedir.

Uygulamalarda kriging metotları ile yapılan tahminler istatistiksel olarak verilerin dağılım şekli dikkate alınarak hem mevcut çarpık dağılımlı veriler ile hem de verilere logaritmik dönüşüm uygulanması ile normal dağılıma yaklaştırılan verilerin kullanımıyla gerçekleştirilmiştir.

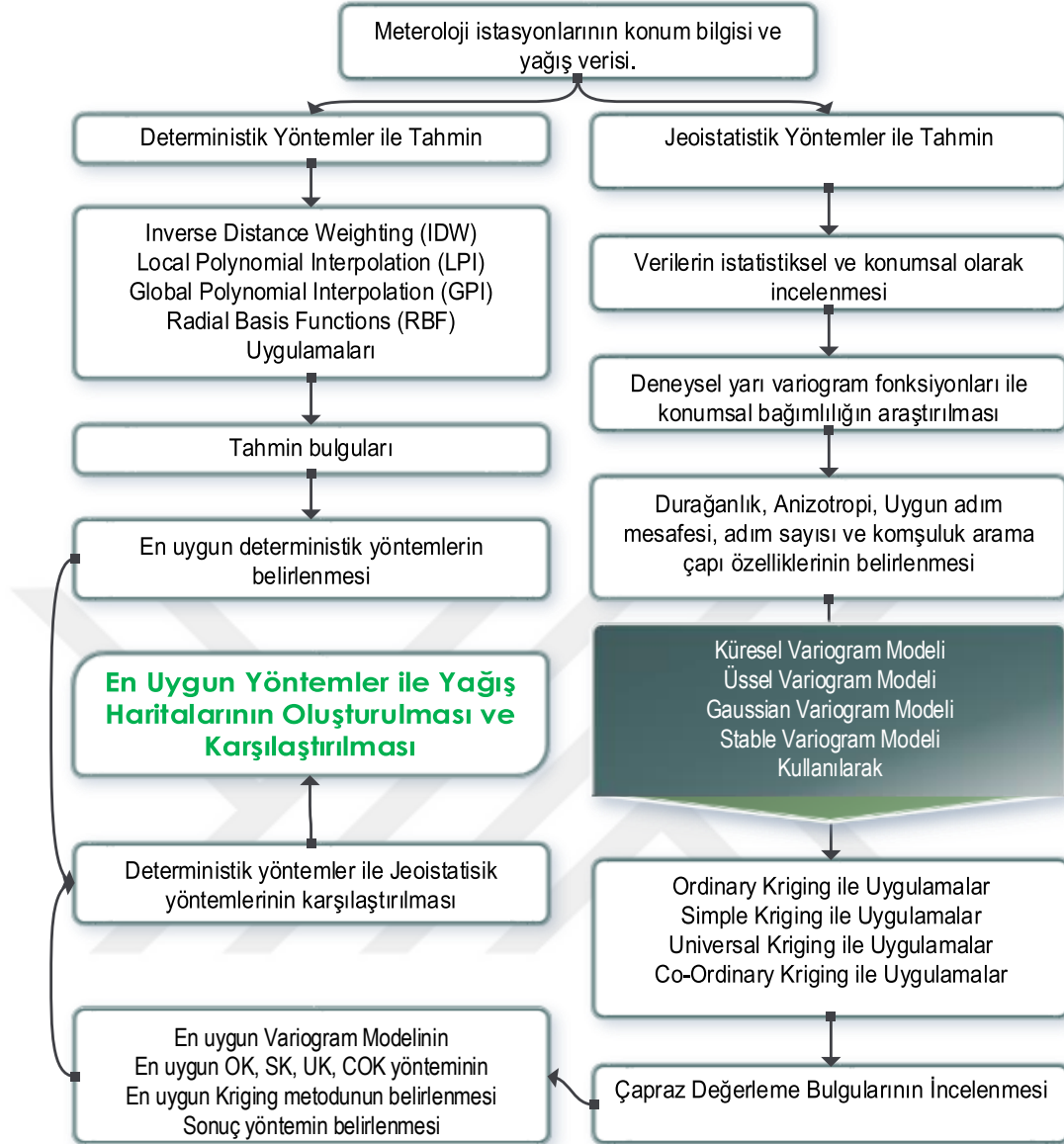
Veriler arasında mevcut olabilecek konumsal trend etkisi ise teorik olarak kaldırılmalıdır. Ancak kriging tahminleri ile yapılan uygulamalar hem trend etkisi ile birlikte hem de bu etki kaldırılarak, farklı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Trend etkisinin kaldırıldığı uygulamalarda, trend etkisini kaldırma işlemi 2. dereceden polinomlar ile elde edilen trend yüzeyinin kaldırılması ile gerçekleştirilmiştir. Trend etkisinin kaldırıldığı kriging uygulamalarında, tahmin sonuçlarına kaldırılan bu etki yüzeyi yeniden ilave edilir.

Dördüncü bölümde tanımı verilen anizotropi araştırılarak, yönelimsel yarı variogramlar ile anizotropi bulguları tespit edilmiştir. Bu nedenle anizotropik variogram modelleri ve anizotropik komşuluk arama özellikleri uygulanmıştır. Ayrıca buna karşı yine verilerin izotropik varyasyon gösterdiği varsayımıyla uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu varsayımlar ile yapılan uygulamalar sonucunda teorik uygulama esasları kıyaslanarak uygun tahmin yaklaşımını belirlemek amaçlanmıştır.

Kriging metotlarının uygulanmasında ve sonuçlarında doğrudan etkili olan yarı variogram modelleri ise yukarıdaki her bir durum için uygulanarak Küresel, Üssel, Gaussian ve Stable yarı variogram modelleri ile tahminler uygulanmıştır. Kullanılan yarı variogram modellerine göre, tahminler sonucunda çapraz değerlendirme yöntemi ile elde edilen tahminlerin ortalama hatası (Mean Error, ME), standartlaştırılmış hata (Mean Standardized Error, MSE), ortalama standart hata (Average Standart Error, ASE), tahminin karesel ortalama hatalarının kökü (Root Mean Square Error, RMSE), tahminin standartlaştırılmış karesel ortalama hatalarının kökü (Root Mean Square Standardized Error, RMSSE) değerleri incelenmiştir. En iyi variogram modeli, tahmin metodu ve tahmini etkileyen hususların etkisi araştırılmıştır.

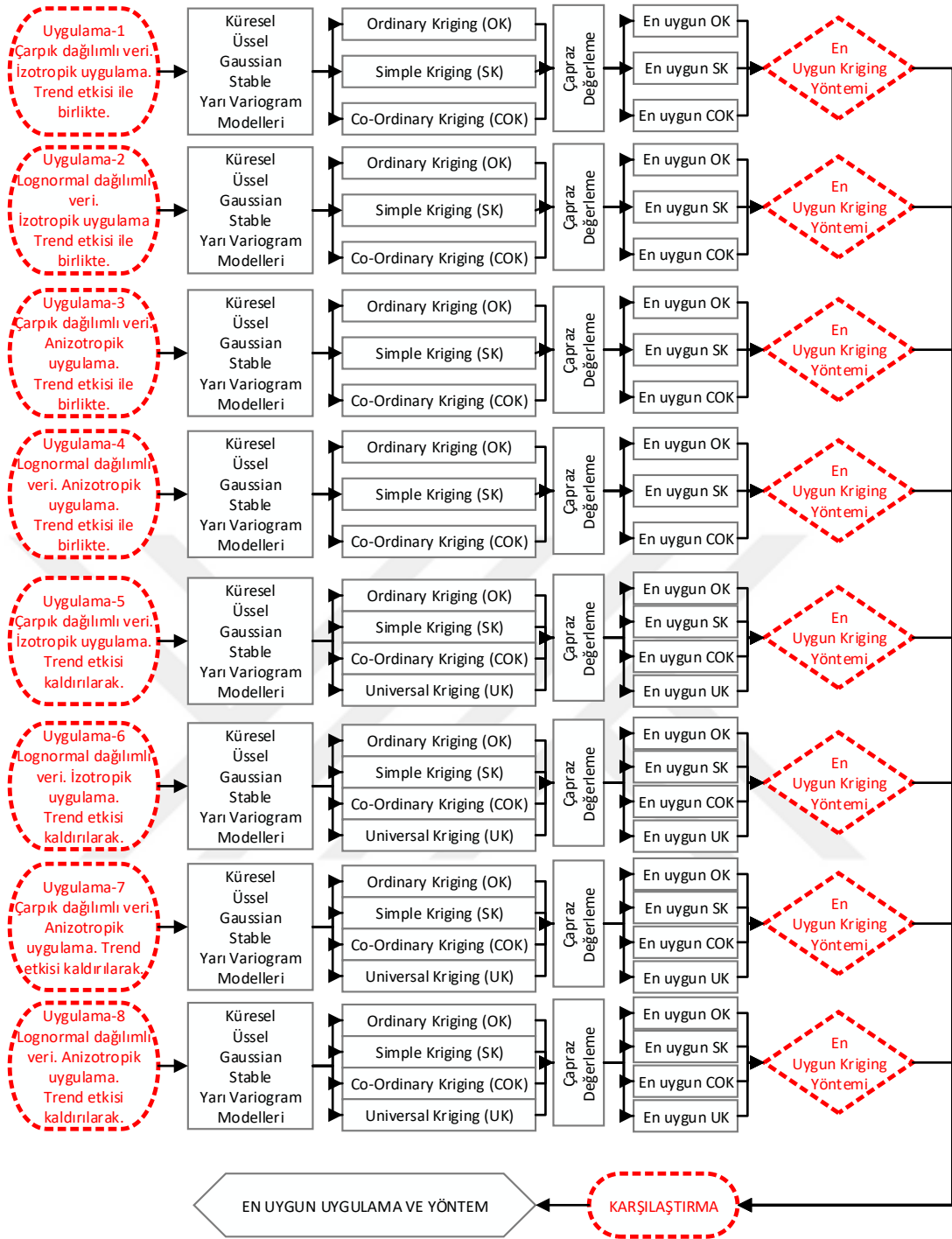
Böylece farklı uygulamalar ile kriging yöntemlerinin yukarıda bahsedilen trend etkisi, anizotropi, izotropi, veri dağılımı ve kullanılan variogram modeli gibi farklılıklardan nasıl etkilendiği ve en uygun sonuçları veren kriging metodu araştırılmıştır.

Uzun yıllar ortalama aylık yağış verisi kullanılarak, istasyonların bulunmadığı noktalar için en uygun tahmin metodu araştırılıp, deterministik ve jeostatistik yöntemler karşılaştırılmıştır. Tahmin uygulamaları ve haritalama işlemleri, ArcGIS paket yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. En iyi ve yansız tahmin sonuçları ile uygun yağış haritası elde edilmiştir. Bu amaç için izlenilen uygulama ve araştırma akış diyagramı Şekil 3.3. ile verilmiştir.



Şekil 3.3. Tez çalışmasının, uygulama ve araştırma akış diyagramı

Tez çalışmasında jeoistatistik analiz uygulamalarının akış diyagramı ve uygulama stratejisi Şekil 3.4. ile verilmiştir.



Şekil 3.4. Jeostatistik analiz ile uygulama akışı

Deterministik metotlar ile yapılan tahminler IDW yöntemi ile 2. dereceden güç parametresi kullanılarak, GPI yöntemi ile global olarak tahmin yapıldığından varyasyonun farklı bölgelerde daha ayrıntı şekilde ortaya çıkabilmesi için 5. dereceden polinom denklemi kullanılarak, RBF yöntemi ile ise Completely Regularized Spline (CRS) yöntemi, Spline With Tension (SWT), Multiquadratic, Inverse Multiquadratic ve Thin Plate Spline (TPS) yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Jeostatistik analiz uygulamalarının hangi kriging yöntemi ile hangi yarı variogram modeli kullanılarak, ne tür dağılımlı veri ile ve trend etkisinin kaldırılıp kaldırılmadığı gibi bilgiler Çizelge 3.1., Çizelge 3.2., Çizelge 3.3., Çizelge 3.4., Çizelge 3.5., Çizelge 3.6., Çizelge 3.7. ve Çizelge 3.8. ile verilmiştir. Aynı kriging metodlarının farklı uygulama özellikleri nedeniyle, her kriging metodu için metod adının kısaltması ve numaralar kullanılarak yöntem adları belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Uygulama-1 için gerçekleştirilen tahminler ve metod özellikleri

UYGULAMA-1					
Yöntem Adı	Kriging Metodu	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
OK-01	Ordinary	Çarpık	VAR	Üssel	İzotropik
OK-02	Ordinary	Çarpık	VAR	Gaussian	İzotropik
OK-03	Ordinary	Çarpık	VAR	Küresel	İzotropik
OK-04	Ordinary	Çarpık	VAR	Stable	İzotropik
SK-01	Simple	Çarpık	VAR	Üssel	İzotropik
SK-02	Simple	Çarpık	VAR	Gaussian	İzotropik
SK-03	Simple	Çarpık	VAR	Küresel	İzotropik
SK-04	Simple	Çarpık	VAR	Stable	İzotropik
COK-01	Co-Ordinary	Çarpık	VAR	Üssel	İzotropik
COK-02	Co-Ordinary	Çarpık	VAR	Gaussian	İzotropik
COK-03	Co-Ordinary	Çarpık	VAR	Küresel	İzotropik
COK-04	Co-Ordinary	Çarpık	VAR	Stable	İzotropik

Çizelge 3.2. Uygulama-2 için gerçekleştirilen tahminler ve metod özellikleri

UYGULAMA-2					
Yöntem Adı	Kriging Metodu	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
OK-05	Ordinary	LogNormal	VAR	Üssel	İzotropik
OK-06	Ordinary	LogNormal	VAR	Gaussian	İzotropik
OK-07	Ordinary	LogNormal	VAR	Küresel	İzotropik
OK-08	Ordinary	LogNormal	VAR	Stable	İzotropik
SK-05	Simple	LogNormal	VAR	Üssel	İzotropik
SK-06	Simple	LogNormal	VAR	Gaussian	İzotropik
SK-07	Simple	LogNormal	VAR	Küresel	İzotropik
SK-08	Simple	LogNormal	VAR	Stable	İzotropik
COK-05	Co-Ordinary	LogNormal	VAR	Üssel	İzotropik
COK-06	Co-Ordinary	LogNormal	VAR	Gaussian	İzotropik
COK-07	Co-Ordinary	LogNormal	VAR	Küresel	İzotropik
COK-08	Co-Ordinary	LogNormal	VAR	Stable	İzotropik

Çizelge 3.3. Uygulama-3 için gerçekleştirilen tahminler ve metot özellikleri

UYGULAMA-3					
Yöntem Adı	Kriging Metodu	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
OK-09	Ordinary	Çarpık	VAR	Üssel	Anizotropik
OK-10	Ordinary	Çarpık	VAR	Gaussian	Anizotropik
OK-11	Ordinary	Çarpık	VAR	Küresel	Anizotropik
OK-12	Ordinary	Çarpık	VAR	Stable	Anizotropik
SK-09	Simple	Çarpık	VAR	Üssel	Anizotropik
SK-10	Simple	Çarpık	VAR	Gaussian	Anizotropik
SK-11	Simple	Çarpık	VAR	Küresel	Anizotropik
SK-12	Simple	Çarpık	VAR	Stable	Anizotropik
COK-09	Co-Ordinary	Çarpık	VAR	Üssel	Anizotropik
COK-10	Co-Ordinary	Çarpık	VAR	Gaussian	Anizotropik
COK-11	Co-Ordinary	Çarpık	VAR	Küresel	Anizotropik
COK-12	Co-Ordinary	Çarpık	VAR	Stable	Anizotropik

Çizelge 3.4. Uygulama-4 için gerçekleştirilen tahminler ve metot özellikleri

UYGULAMA-4					
Yöntem Adı	Kriging Metodu	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
OK-13	Ordinary	LogNormal	VAR	Üssel	Anizotropik
OK-14	Ordinary	LogNormal	VAR	Gaussian	Anizotropik
OK-15	Ordinary	LogNormal	VAR	Küresel	Anizotropik
OK-16	Ordinary	LogNormal	VAR	Stable	Anizotropik
SK-13	Simple	LogNormal	VAR	Üssel	Anizotropik
SK-14	Simple	LogNormal	VAR	Gaussian	Anizotropik
SK-15	Simple	LogNormal	VAR	Küresel	Anizotropik
SK-16	Simple	LogNormal	VAR	Stable	Anizotropik
COK-13	Co-Ordinary	LogNormal	VAR	Üssel	Anizotropik
COK-14	Co-Ordinary	LogNormal	VAR	Gaussian	Anizotropik
COK-15	Co-Ordinary	LogNormal	VAR	Küresel	Anizotropik
COK-16	Co-Ordinary	LogNormal	VAR	Stable	Anizotropik

Çizelge 3.5. Uygulama-5 için gerçekleştirilen tahminler ve metot özellikleri

UYGULAMA-5					
Yöntem Adı	Kriging Metodu	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
OK-17	Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Üssel	İzotropik
OK-18	Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
OK-19	Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	İzotropik
OK-20	Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	İzotropik
SK-17	Simple	Çarpık	Kaldırıldı	Üssel	İzotropik
SK-18	Simple	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
SK-19	Simple	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	İzotropik
SK-20	Simple	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	İzotropik
UK-01	Universal	Çarpık	Kaldırıldı	Üssel	İzotropik
UK-02	Universal	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
UK-03	Universal	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	İzotropik
UK-04	Universal	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	İzotropik
COK-17	Co-Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Üssel	İzotropik
COK-18	Co-Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
COK-19	Co-Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	İzotropik
COK-20	Co-Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	İzotropik

Çizelge 3.6. Uygulama-6 için gerçekleştirilen tahminler ve metot özellikleri

UYGULAMA-6					
Yöntem Adı	Kriging Metodu	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
OK-21	Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Üssel	İzotropik
OK-22	Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
OK-23	Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Küresel	İzotropik
OK-24	Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Stable	İzotropik
SK-21	Simple	LogNormal	Kaldırıldı	Üssel	İzotropik
SK-22	Simple	LogNormal	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
SK-23	Simple	LogNormal	Kaldırıldı	Küresel	İzotropik
SK-24	Simple	LogNormal	Kaldırıldı	Stable	İzotropik
UK-05	Universal	LogNormal	Kaldırıldı	Üssel	İzotropik
UK-06	Universal	LogNormal	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
UK-07	Universal	LogNormal	Kaldırıldı	Küresel	İzotropik
UK-08	Universal	LogNormal	Kaldırıldı	Stable	İzotropik
COK-21	Co-Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Üssel	İzotropik
COK-22	Co-Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Gaussian	İzotropik
COK-23	Co-Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Küresel	İzotropik
COK-24	Co-Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Stable	İzotropik

Çizelge 3.7. Uygulama-7 için gerçekleştirilen tahminler ve metot özellikleri

UYGULAMA-7					
Yöntem Adı	Kriging Metodu	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
OK-25	Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Üssel	Anizotropik
OK-26	Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	Anizotropik
OK-27	Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	Anizotropik
OK-28	Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	Anizotropik
SK-25	Simple	Çarpık	Kaldırıldı	Üssel	Anizotropik
SK-26	Simple	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	Anizotropik
SK-27	Simple	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	Anizotropik
SK-28	Simple	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	Anizotropik
UK-09	Universal	Çarpık	Kaldırıldı	Üssel	Anizotropik
UK-10	Universal	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	Anizotropik
UK-11	Universal	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	Anizotropik
UK-12	Universal	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	Anizotropik
COK-25	Co-Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Üssel	Anizotropik
COK-26	Co-Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Gaussian	Anizotropik
COK-27	Co-Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	Anizotropik
COK-28	Co-Ordinary	Çarpık	Kaldırıldı	Stable	Anizotropik

Çizelge 3.8. Uygulama-8 için gerçekleştirilen tahminler ve metot özellikleri

UYGULAMA-8					
Yöntem Adı	Kriging Metodu	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
OK-29	Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Üssel	Anizotropik
OK-30	Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Gaussian	Anizotropik
OK-31	Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Küresel	Anizotropik
OK-32	Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Stable	Anizotropik
SK-29	Simple	LogNormal	Kaldırıldı	Üssel	Anizotropik
SK-30	Simple	LogNormal	Kaldırıldı	Gaussian	Anizotropik
SK-31	Simple	LogNormal	Kaldırıldı	Küresel	Anizotropik
SK-32	Simple	LogNormal	Kaldırıldı	Stable	Anizotropik
UK-13	Universal	LogNormal	Kaldırıldı	Üssel	Anizotropik
UK-14	Universal	LogNormal	Kaldırıldı	Gaussian	Anizotropik
UK-15	Universal	LogNormal	Kaldırıldı	Küresel	Anizotropik
UK-16	Universal	LogNormal	Kaldırıldı	Stable	Anizotropik
COK-29	Co-Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Üssel	Anizotropik
COK-30	Co-Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Gaussian	Anizotropik
COK-31	Co-Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Küresel	Anizotropik
COK-32	Co-Ordinary	LogNormal	Kaldırıldı	Stable	Anizotropik

4. JEOİSTATİSTİK ANALİZ ESASLARI

Bu çalışmada kullanılan tahmin metotları deterministik ve jeoistatistik metotlar olarak ayrılmıştır. Jeoistatistik, istatistiğin bir dalı olarak, konumsal veya konum-zamansal ilişkili fenomenlerin analizini ve tahminini gerçekleştirerek bu tahminlerin belirsizliği hakkında da bilgi veren bir dizi metotlardır (Johnston ve ark., 2001). Jeoistatistik analiz yaklaşımı aynı zamanda ‘bölgeselleşmiş değişkenler teorisi’ (Theory of Regionalized Variables) olarak da bilinir (Kitanidis, 1997).

Güney Afrikalı bir maden mühendisi olan D.G. Krige, altın madenleri için rezerv tahmini yaparken komşu maden bloklarından alınan örnekler ile örneklenmemiş noktaların rezerv tahminlerini iyileştireceğini düşünmüş ve klasik istatistiksel yaklaşımlarının yerine veriler arasında mekânsal bağımlılığın yani bir otokorelasyonun bulunduğu deneysel bir tahmin yöntemi geliştirmiştir. Jeoistatistik çalışmalarında bu tahmin metotlarının genel adına ‘Kriging’ denilmektedir (Webster ve Oliver, 2007). Yine bu yıllarda bir matematikçi olan G. Matheron (1963) madencilik üzerine en iyi tahmin araştırmalarını sürdürmüş ve bugün jeoistatistiğin temelini oluşturan bölgeleşmiş değişkenler teorisini üretmiştir. Önceleri, çoğunlukla maden ve jeoloji disiplinlerinde kullanılan bu en iyi ve yansız tahmin çalışmaları, jeoistatistik adı altında hidroloji, ekoloji, çevre bilimleri gibi çok sayıda çeşitli disiplinlere yayıldı (Webster ve Oliver, 2007; Gundogdu, 2017).

Klasik istatistik yöntemleri ile yapılan hesaplamalarda örnek verilerin birbirleri arasındaki konumsal ilişkileri ihmal edilir yani örnek verilerin konumsal olarak birbirinden bağımsız olduğu varsayılır. Bu şekilde elde edilen istatistik bulguları, örnek veri seti içindeki değerlerin ait oldukları konumları temsil edemez. Bunun aksine jeoistatistik analizin temel farkı incelenen örnek verilerin arasında mekânsal bir otokorelasyon olduğu kabulüdür ve incelenen değişkenler ait oldukları konuma göre farklı istatistiksel özellikler taşır (Uzunlar, 2006; Karaman ve ark., 2012; Yeşilkanat ve ark., 2014). Mekânsal otokorelasyon, veriler arasındaki ardışık konumsal bağımlılık ve ilişkidir. Konumsal ilişki, örnek veri değerlerinin birbirleri arasındaki mesafeye göre orantılı şekilde anlamlı değişiklikler göstermesidir.

Bölgesel değişkenler teorisinin anlaşılması jeoistatistik analiz sürecinin ve varsayımlarının kavranması için önemlidir. Yağış, toprak özellikleri gibi bir niteliğe sahip değişkenler bir mekân üzerinde dağılmıştır ve bunun gibi çevresel değişkenlere bölgeselleşmiş değişken denir (Şen, 2009). Bölgeselleşmiş değişkenler, fiziksel,

kimyasal ve biyolojik süreçler gibi birçok etki sonucunda ortaya çıkar ve tüm bu etkilerin bir arada anlaşılabilmesi nedeniyle bu belirsizliğe ve ortaya çıkan değişkenin davranışına rastgele denir (Şen, 2009; Oliver ve Webster, 2015). Bu şekilde meydana gelen belirsiz varyasyonlar rastgele değişkenler veya bölgeselleşmiş değişkenler olarak tanımlanır ve bölgeselleşmiş değişkenler teorisine göre bu değişkenler mekân veya zamanda rastgeledir (Şen, 2009). Rastgele değişkenlerin özellikleri ve davranışlarının düzensizlikleri nedeniyle matematiksel veya istatistiksel olarak tamamen tanımlanamaz. Deterministik bir şekilde herhangi bir matematiksel tanımı olmayan yani davranışları bir denklem olarak yazılamayan rastgele değişkenlerin fonksiyonlarına rastgele fonksiyonlar denir ve rastgele değişkenlerin stokastik bileşenleri nedeniyle bu değişkenlerin fonksiyonu da rastgeledir (Oliver ve Webster, 2015). Ancak çevresel süreçler fiziksel olarak meydana geldiğinden rastgele değişkenlerin ayrıca deterministik bir bileşeni vardır ve kendi içerisinde düzenli varyasyonlar içerebilir, böylece rastgele değişkenlerin bu deterministik bileşenleri matematiksel olarak tasvir edilebilir (Webster, 2000; Şen, 2009; Oliver ve Webster, 2015).

Bölgesel değişkenler teorisi temelinde uygulanan jeoistatistik analiz ile araştırılan asıl problem ise bu rastgele değişkenler için uygun bir fonksiyon belirleyerek, örneklenmemiş noktaların değerlerinin tahmin edilmesi ve en iyi ve yansız tahminin yapılmasıdır. Doğal olarak çevresel özelliklerin birbirine yakın yerlerde benzer olması beklenirken, artan uzaklıklarda benzerliğin azalması beklenir (Uzunlar, 2006; Topal, 2007; Uyguçgil, 2007; Oliver ve Webster, 2015). Böylece bu öngörü rastgele değişkenlerin rastgele fonksiyonları hakkında çıkarım yapılmasını sağlar. Jeoistatistik analizin bu yakınlık ilişkisi ile yürütülmesi için veriler arasında konumsal bir bağımlılık, konumsal ilişki yani otokorelasyon olması gerekir.

Jeoistatistik analiz bu rastgele süreçleri durağanlık varsayımı ile ele alır. Durağanlık varsayımı araştırma alanının tamamında varyasyonun aynı olduğunun kabulüdür ve durağan bir rastgele fonksiyon alan boyunca homojen ve kendini tekrarlayan özelliktedir (Sarma, 2010; Oliver ve Webster, 2015). Fakat bu varsayım doğrulanamayacağından sadece ortalama ve varyansın alan boyunca sabit olduğunun kabulü yapılır. Bu varsayım ise zayıf durağanlık veya ikinci dereceden durağanlık denir (Sarma, 2010). Jeoistatistik analizi yapılan rastgele değişkeninin beklenen değeri ile aralarında belirli bir mesafe bulunan diğer bir rastgele değişken arasındaki varyansın, bu değişkenlerin buldukları konumdan bağımsız olarak sadece aralarındaki mesafeye bağlı olduğu varsayımına ise içsel (Intrinsic) durağanlık denir (Sarma, 2010).

Araştırılan rastgele değişkenlerin zaman veya konumda bir eğilim göstermesi yani trend varlığı durağanlığın ve rastgele sürecin bozulması anlamına gelir. Bu bakımdan araştırılan rastgele değişken veri setinde trend görülmesi durumunda durağanlık varsayımı sağlanamaz.

Jeoistatistik analiz ile ilgili olarak diğer önemli bir husus ise araştırılan rastgele değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermedikleridir. Krivoruchko (2005)'ya göre jeoistatistik analiz metotları verilerin normal dağılımlı olması halinde en iyi şekilde uygulanacağını belirtmiştir. Buna ek olarak Oliver ve Webster (2015)'e göre ise jeoistatistik analiz normal dağılımlı veriye ihtiyaç duymaz ancak ileride bahsedilecek olan, jeoistatistik analizin zeminini hazırlayan variogram fonksiyonunun çarpık dağılımlı veriler ve aykırı değerler ile birlikte uygun değer alamayacağını belirtmişlerdir.

Böylece jeoistatistiğin temel unsurları olan mekânsal bağımlılık, durağanlık ve veri setinin dağılımı incelenmelidir. Eğer veriler konumsal olarak birbirinden bağımsız ise kriging metotları ile tahmin yapmak mantıklı olmayacaktır ve tahminler verilerin ortalamasını almaktan fazlasını sunmayacaktır (Cressie, 1993; Krivoruchko, 2005). Verilerin durağanlık varsayımını sağlayıp sağlamadıkları araştırılarak, durağanlığı bozan trend etkileri belirlenip, kaldırılır (Detrending) ve durağanlık sağlanır veya uygun tahmin metodu belirlenir (Krivoruchko, 2005). Geoistatistik çalışmalarında verilerin konumsal bağımlılığı ve durağanlığı deneysel yarı variogramlar ile belirlenebilir. Ayrıca durağanlığı bozan mevcut konumsal trend etkisi, trend analizi grafikleri veya polinom denklemleri ile oluşturulan trend yüzeyinin incelenmesi ile belirlenebilir. Analiz sonuçlarını etkileyen dağılım özellikleri ve aykırı değerler ise özet istatistikler ve grafik gösterimler ile incelenerek, verilerin dağılım özellikleri belirlenir.

Literatürde verilerin incelenmesi için klasik tanımlayıcı istatistik uygulamalarına veya Tukey (1977)'in önerdiği keşfedici veri analizi (Exploratory Data Analysis, EDA) yaklaşımlarına başvurulmakta olduğu görülmektedir. Konumsal verilerin incelenmesini kapsayan keşfedici konumsal veri analizi (Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA) en sık kullanılan veri keşfi ve inceleme yöntemidir.

EDA mevcut veri setindeki aykırı ve hatalı verilerin tespit edildiği bunların önemli özellikler ile karşılaştırılıp ayırt edildiği, veriler arasındaki ilişkinin araştırıldığı ve analiz sonucunda veriden bir hipotez oluşturulmasını sağlayan, kısaca verinin özelliklerini keşifçi bir yaklaşım ile araştırılan ve tespit eden teknikler bütünüdür (Haining, 2014). İstatistiksel sonuçlar çizelgeler, grafikler, şekiller ve sayılar olarak

sunulur. EDA uygulamalarının asıl ayırıcı özelliği verilerin interaktif bir şekilde araştırılmasını sağlayan, veri keşfinin ve karar vermenin desteklendiği görsel istatistik sunumlarıdır.

ESDA ise EDA tanımını konumsal veriler ile yapılan analiz olarak kendi kapsamına taşır ve EDA'nın belirgin bir uzantısı olarak düşünülür (Anselin ve ark., 2007; Haining, 2014; Symanzik, 2014). ESDA üzerinde EDA'ya ek olarak kullanılan analiz metotlarına, görsel analiz sağlayan haritalar örnek verilebilir. Coğrafi görselleştirme tekniklerinin gelişmesi ile birlikte, yazılımlar aracılığı ile yapılan ESDA çalışmaları birçok CBS ve istatistik tabanlı yazılımlarda yaygınlaşmıştır ve etkili şekilde kullanılmaktadır. ESDA uygulamaları verilerin incelenmesi için en etkili yaklaşım ve metotları sunar.

Veriler hakkında analize başlamadan önce yalnızca klasik olarak tanımlayıcı istatistik değerlendirmelere başvurmak yeterli olabilir. Ancak çoğu zaman gözlemi yapılan değişkenler bulunduğu coğrafi konumun özelliklerini taşırlar. Örneğin yağış verilerinin elde edildiği istasyon verilerine göre çok fazla yağış alan bir istasyon, çok az yağış alan çok sayıda istasyon değerine göre aykırı bir değer olarak düşünülebilir. Ancak çoğu zaman klasik tanımlayıcı istatistik yöntemleriyle aykırı değer olarak tanımlanan değerler, aslında gerçekliğin kendisi olabilir. Ayrıca aykırı değere sahip bir verinin sıra numarasını veya adını bilmek verinin konumu hakkında o esnada bilgi sağlamayabilir. Veriler hakkındaki bazı analiz değerleri bize sadece belirli sayılar sunmaktan öteye gitmez. Buna karşın ESDA'nın bir parçası olan coğrafi görselleştirme ile örnek olarak, bir histogram grafiğindeki sağ kuyruk değerlerinin azaldığı, pozitif çarpıklığın görüldüğü durumlarda buna neden olan veri histogram grafiğinden seçilerek aynı anda harita üzerinde de gösterilir. İşte bu veri keşfi olarak adlandırılabilir ve analiz interaktif olarak yapılır. Bu tür bir analiz ArcGIS yazılımı üzerindeki ESDA menüsü ile yapılabilir. Yazılım ile yapılan ESDA çalışmaları sayesinde dikkatimizi çeken veriler harita üzerinde bir bağlantı aracılığıyla görselleştirilir. Bu sayede veri setinin özellikleri, birbirleri arasındaki ilişki, verinin esas karakteristiği daha iyi anlaşılabilir. Buradan elde edilecek bilgiler özellikle jeostatistik analizin temel dayanağı olan variogram analizinde kullanılacak parametrelerin ve model seçiminin temelini hazırlamış olur. Bu noktada çevresel değişkenler araştırılırken yani konumsal analiz yapılırken verilerin ön incelemesinin keşfedici veri analizi yaklaşımları ile yapılması daha uygun olabilir. Böylece coğrafi görselleştirme sayesinde verilere ait analiz değerleri anlık olarak bir harita üzerinde görselleştirebilir, tecrübeye dayalı olarak verinin karakteristiği hakkında

karar verilebilir. Bu da doğru karar vermeyi, verilerin altında yatan gerçeklerin daha iyi anlaşılmasını ve konumsal analiz için konumsal düşünmeyi sağlar. ESDA ile verilerin durağanlığının, dağılımının ve bağımlılığının araştırılmasının yanında tecrübeye dayalı olarak aktaracağı birçok bilgi analiz için önemlidir. Kısacası ham veri hakkında araştırdığımız soruların cevaplarını sadece sayılar olarak almak yerine interaktif bir şekilde haritalar üzerinde de görmek yani coğrafi görselleştirmeden faydalanmak konumsal düşünmeyi ve veriye sorduğumuz soruların cevaplarını almamızda daha güçlü bir etkileşim ve iletişimi destekler. Bu çalışmada veriler ESDA yaklaşımları ile ArcGIS yazılımı üzerinde incelenmiştir.

Mevcut veriler ile örneklenmemiş noktaların veya alanların beklenen değerlerinin tahminini yapmak üzere jeostatistik analiz şu aşamalardan oluşur;

- 1) Araştırılan bölgeleşmiş değişken hakkında konum veya konum-zaman bilgisi ile birlikte veri toplamak. Toplanan bu verilerin her biri jeostatistik çalışmalarında örnek veri, örnek noktası, gözlem noktası veya istasyon değeri gibi ifadelerle adlandırılır. Veriler mekânda düzenli bir şekilde ve tasarimsal olarak, örneğin grid şeklinde belirli bir düzen içerisinde toplanacağı gibi konumsal olarak düzensiz dağılmış veriler de kullanılır. Yeryüzünde mevcut bulunan çeşitli veri toplama istasyonları da örnek noktası olarak düşünülür.

Bu çalışmada örnek noktalarının konumları ' $x_1, x_2 \dots x_n$ ', bu örnek noktalarının beklenen değerleri ' $z(x_i)$ ' ve birim mesafe vektörü ise h ile gösterilecektir.

- 2) Jeostatistik analiz için kullanılacak veri setinin dağılım özellikleri, aykırı değerleri gibi özelliklerinin araştırılması. Önceki aşama ve bu aşama jeostatistik analiz öncesi hazırlık gibi düşünülebilir.
- 3) Deneysel yarı variogramlar ile verilerin mekânsal ilişkisinin, bağımlılığının ve durağanlığının incelenmesi, ardından uygun teorik yarı variogram modelinin tanımlanması. Bu aşama jeostatistik analizin temeli olup tahminler burada belirlenen parametreler ile gerçekleştirilir.
- 4) Örneklenmemiş nokta veya alanların yansız ve en az varyanslı tahminlerinin yapılması. Tahminlerin yapılması için jeostatistik analizde kriging metodolojisi kullanılır. Bu çalışmada OK, UK, SK ve ikincil değişken olarak meteoroloji istasyonlarının yükseklik bilgisinin kullanıldığı COK yöntemi incelenmiştir.

- 5) Tahmin doğruluğunun araştırılması ve uygun variogram modeli ile kriging tahmincisinin belirlenmesi. Bu işlem jeostatistik analizde çapraz değerlendirme (cross-validation) yöntemi ile yapılmaktadır.

4.1. Verilerin İstatistiksel Dağılımının Araştırılması

Araştırılan veri setinin istatistiksel dağılımı, aykırı değerleri ve basıklık gibi bilgiler jeostatistik analiz ile etkili sonuçların elde edilmesi açısından önemlidir. Bir veri seti incelenirken araştırılan değişkenin değerlerinin, verilerin konumu dikkate alınmadan belirli aralık veya sınıflandırmalar ile küçükten büyüğe sıralanması sonucunda veri setinin frekans çizelgesi elde edilir. Özet istatistikler ve grafik sunumlar bu şekilde kolayca elde edilir. İstatistiksel bilgiler ile veri değerlerinin birbirleri arasındaki konumu, dağılımı ve biçimi anlaşılır. Verilerin bu özellikleri bazı özet istatistiklerle nümerik olarak veya grafik sunumlar ile incelenebilir.

Veri özelliklerinin nümerik olarak araştırıldığı bazı özet istatistikler;

Minimum değer, veri setinde araştırılan en küçük değeri gösterir. Maksimum değer, veri setinde araştırılan en büyük değeri gösterir. Minimum ve maksimum değerlerin bilinmesi mevcut veri setinin uç noktalarının yani veri aralığının anlaşılmasını sağlar.

Aritmetik ortalama, veri setinin dağılımının merkezi hakkında bilgi verir.

Aritmetik ortalama;

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

Medyan, mevcut veri setinin ortanca değeridir. Yani bir veri setinin küçükten büyüğe sıralandığı bir frekans çizelgesindeki ortanca ölçünün değeridir. Eğer veri seti düzenli bir artış gösteriyorsa, veri değerlerinin yarısı medyanın üzerinde diğer yarısı ise medyan değerinin altında kalır. Dağılımın merkezi hakkında bilgi verir (Johnston ve ark., 2001). Veri setinin medyanı şu şekilde bulunur (Kitanidis, 1997);

$$x_m = \begin{cases} x_i & i = (n+1) \quad n = \text{tek} \\ (x_i + x_{i+1})/2 & i = n/2 \quad i = \text{çift} \end{cases} \quad (4.2)$$

Birinci çeyrek, bir veri setinin küçükten büyüğe sıralandığı bir ham çizelgedeki %25'inci ölçünün değeridir. Üçüncü çeyrek de aynı şekilde %75'inci ölçünün değeridir. Birinci ve üçüncü çeyrek değerleri arasındaki fark ise çeyrekler açıklığı veya Q-yayılımı

olarak tanımlanır. Çeyrekler açıklığı dağılımın merkezi olarak düşünülür (Kitanidis, 1997; Johnston ve ark., 2001; Slocum ve ark., 2009).

Çeyrekler açıklığının önemli bir özelliği, veri setindeki aykırı ve uç değerlerden etkilenmemesidir. Buna karşın medyan, bu tür veri değerlerinden etkilenir (Slocum ve ark., 2009). Verilerin normal dağılımlı olmadığı durumlarda standart sapma yerine Q-yayılımı ile daha uygun bilgi alınır. Çeyrekler açıklığı ' I_q ' olmak üzere (Kitanidis, 1997);

$$I_q = Q(0.75) - Q(0.25) \quad (4.3)$$

Standart sapma, verilerin ortalama değer etrafındaki yayılımıdır. Veri setinin incelenmesinde dikkat edilecek diğer önemli bir bilgidir. Standart sapmanın hesaplanması veri setinin yayılımı hakkında bilgi edinmemizi sağlar ancak standart sapma aykırı değerlere karşı hassasiyet gösterir (Kitanidis, 1997; Johnston ve ark., 2001). Küçük varyans ve standart sapma değerleri verilerin ortalama etrafında toplandığını yani ortalamaya yakın olduğunu gösterir (Johnston ve ark., 2001). Veri setinin varyansı ' s^2 ' olmak üzere standart sapma ' s ' (Kitanidis, 1997);

$$s^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.4)$$

$$s = \sqrt{s^2} \quad (4.5)$$

Çarpıklık katsayısı, dağılımın simetri bozukluğunun bir ölçüsüdür ve dağılımın şekli hakkında bilgi verir. Simetrik bir dağılımda çarpıklık katsayısı sıfıra eşit olur ve veri değerleri ortalama etrafında simetrik bir dağılım gösterir (Johnston ve ark., 2001; Sarma, 2010). Veriler hakkında elde ettiğimiz diğer bilgilere göre verilerin simetrik veya simetrik olmadığını bilmek önemlidir. Çarpıklık katsayısının bilinmesi ile simetri değerlendirilir. Ortalama değer altında daha çok ölçü verisi görülüyorsa ve ortalamadan büyük olan ölçü verisi daha az ise burada pozitif çarpıklık vardır denir. Bunun tam tersi durumunda, ortalama değer üzerinde daha çok veri görülmesi ve altında daha az veri görülmesi durumunda ise negatif çarpıklık vardır denir (Kitanidis, 1997). Çarpıklık katsayısı (Isaaks ve Srivastava, 1989; Kitanidis, 1997);

$$k_s = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \right) / s^3 \quad (4.6)$$

Veri dağılımı eğrisinin üstünde normal dağılım eğrisinin üstüne göre göreceli olarak daha düz bir şekil görülmesi basıklık olarak adlandırılır (Sarma, 2010). Basıklık değeri ‘ k_k ’ olmak üzere (Çitakoğlu ve ark., 2017);

$$k_k = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \right) / s^4, \quad (4.7)$$

normal dağılımlı bir veri setinin basıklık değeri $k_k = 3$ olur ve $k_k < 3$ durumunda basıklık platykurtik olarak ve $k_k > 3$ durumunda ise basıklık leptokurtik olarak adlandırılır (Johnston ve ark., 2001; Sarma, 2010).

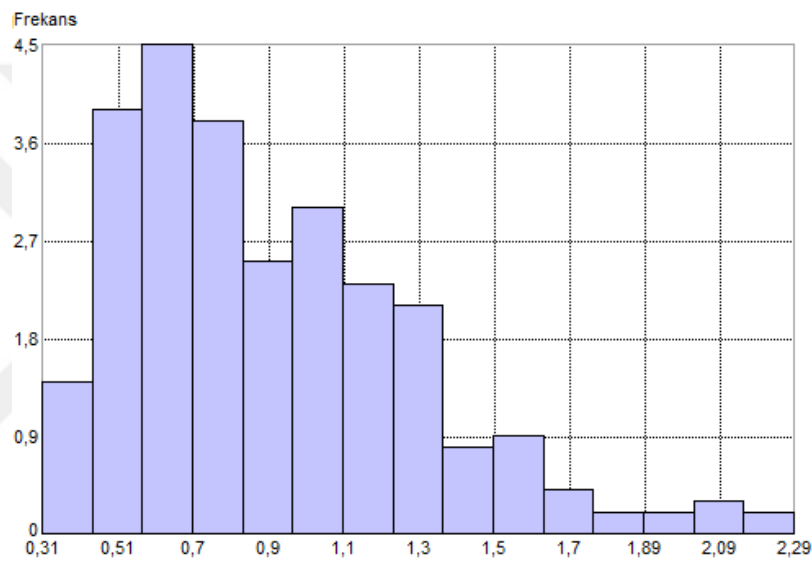
Kısaca, yukarıda bahsedilen özet istatistiklerden minimum değer, maksimum değer, ortalama, medyan ve çeyrekler açıklığı değerleri veri dağılımının konumu ve merkezi hakkında bilgi verir. Standart sapma değeri verilerin ortalama değer etrafındaki yayılımı hakkında bilgi verir. Çarpıklık katsayısı ve basıklık değerleri ile ise dağılımın şekli hakkında bilgi verir. Bu özet istatistikler ile verilerin normal dağılımlı olup olmadığı ve analiz için diğer hususlar araştırılır.

Veri özelliklerinin görsel olarak araştırıldığı bazı grafik sunumlar;

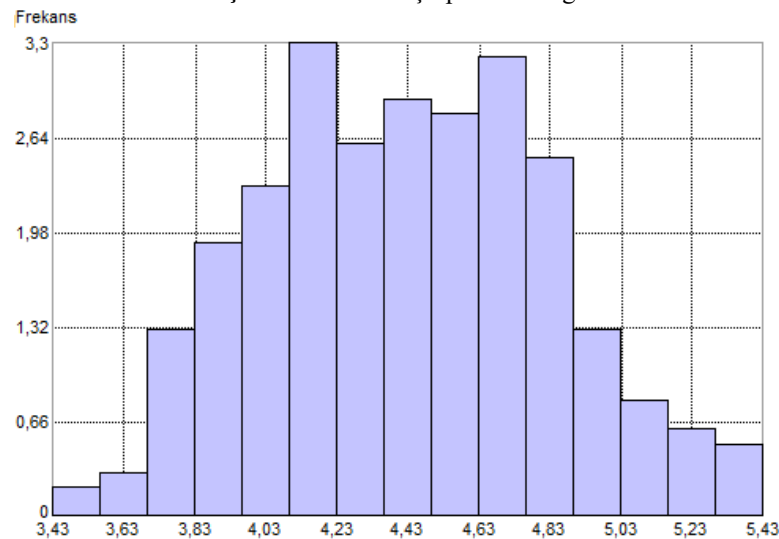
Bir veri setinin dağılımını ve karakteristiğini özet istatistiklere ek olarak histogram, Normal Q-Q (Quantile-Quantile) Plot, Voronoi haritaları gibi grafik gösterimler ile araştırılabilir. Histogram veri setinin istatistiksel özelliklerinin anlaşılması için görsel bir analiz imkânı sunar. Bir frekans dağılımı üzerinde araştırılan niteliğin veri setindeki değerleri belirli sınıflara ayrılır ve her sınıf değerine karşılık gelen veri örneği sayısı veya bu sayının toplam veri sayısına oranı bu sınıflar üzerinde çubuk grafikler ile gösterilir. Histogramın yatay eksenini boyunca sınıf aralıkları, dikey ekseninde ise sınıf değerlerine karşılık gelen veri sayısı veya bu sayının toplam veri sayısına oranı gösterilir. Böylece çubuk grafiklerin yükseklikleri o sınıf değerine karşılık gelen veri sayısını ve o sınıfın frekansını ifade eder. Bununla birlikte histogram grafiğinin aktaracağı bilgiye sınıf sayısı ve sınıf genişliği doğrudan etki eder. Farklı sınıf sayısı ve genişliği grafiğin görünüşünü değiştirerek farklı yorumlar sağlar (Kitanidis, 1997; Maciejewski, 2014). Histogramın analizi ile verilerin dağılımı, simetrisi ve basıklığı gibi özellikleri incelenir. Normal dağılımlı bir veri setinin histogram üzerindeki frekans eğrisi çan eğrisine benzemelidir (Sarma, 2010).

Histogram üzerinde dağılımın şekli kolayca görülür. Eğer histogram üzerinde dağılım uzun bir sağ kuyruğa sahipse yani uzun çubuk grafikler histogramın sol tarafında toplanmış ve sağ tarafı boyunca kısa çubuk grafikler görülüyorsa burada

pozitif çarpıklık vardır denir. Bunun tam aksi durumunda ise negatif çarpıklık vardır denir. Çarpıklığın anlaşılması için medyan ile ortalama değeri de karşılaştırılabilir. Ortalama değerinin medyan değerinden yüksek olması pozitif çarpıklık olduğu tam tersi ise negatif çarpıklık olduğu göstergesidir (Johnston ve ark., 2001). Bu tür çarpıklık durumları dağılımın simetrik yani normal dağılımlı olmadığını gösterir. Ayrıca histogramın frekans eğrisi ile normal dağılımı gösteren çan eğrisi karşılaştırılarak basıklık durumu kolayca anlaşılabilir. Bunlara ek olarak veri sınıflarının ortalama değerini bulduğu sınıf etrafındaki yayılımı incelenerek verilerin dağılımı anlaşılır. Şekil 4.1. ile pozitif çarpıklık gösteren, Şekil 4.2. ile ise normal dağılıma yakın veri setinin histogram grafiği verilmiştir.



Şekil 4.1. Pozitif çarpıklık örneği



Şekil 4.2. Yaklaşık olarak normal dağılımlı veri örneği

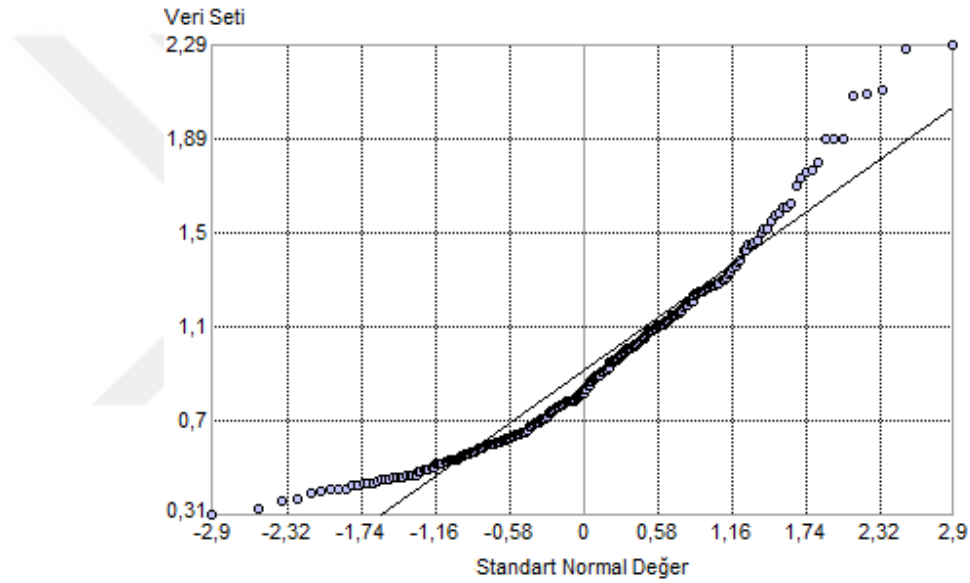
Sınıf sayısı ' k ' olmak üzere, veri setinin histogram üzerindeki sınıf sayısını belirlemek için şu yollar izlenebilir;

$$k = \sqrt{n} \text{ (Maciejewski, 2014),} \quad (4.8)$$

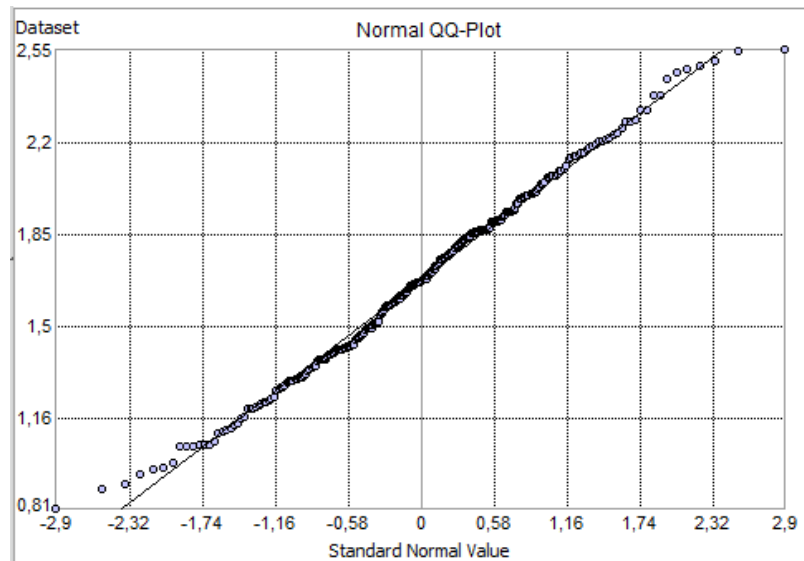
veya

$$k = \log_2(n) + 1 \text{ (Sturges, 1926).} \quad (4.9)$$

Normal Q-Q Plot grafikleri veri değerlerini beklenen değerin bir doğrusu etrafında gösteren, verilerin dağılımının, aykırı değerlerin vb. incelenmesini sağlayan grafik türüdür. Veri seti incelenen değişkenin büyüklüğüne göre küçükten büyüğe doğru artan bir şekilde sıralanır. Her bir i 'inci verinin quantil değeri hesaplanır $(i - 0.5)/n$. Bu quantil değerleri ve standart normal değerler, normal dağılım doğrusu etrafında konumlandırılarak Q-Q Plot grafiği oluşturulur (Johnston ve ark., 2001). Şekil 4.3. ile çarpık, Şekil 4.4. ile normal dağılımlı veri setinin Q-Q Plot grafiği verilmiştir.



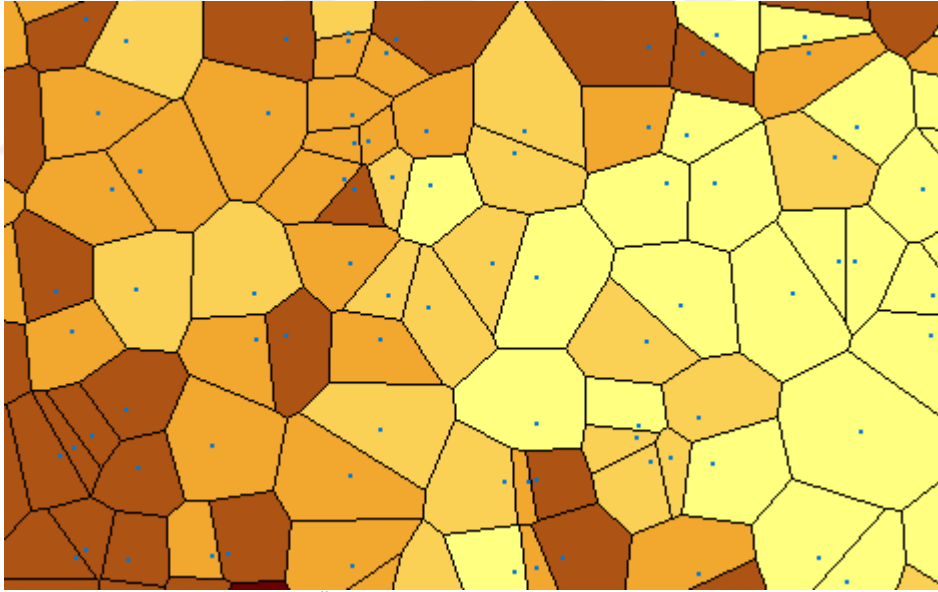
Şekil 4.3. Normal dağılımlı olmayan bir veri setinin Q-Q Plot üzerindeki görünümü



Şekil 4.4. Normal dağılımlı bir veri setinin Q-Q Plot üzerindeki görünümü

Voronoi diyagramları, örnek veri noktalarının her birinin etrafında dış bükey bir kapalı alan oluşturarak bir biri ile çakışmayan alanlar oluşturur. Bu alanlar mozaik yapılıdır ve birbirleri ile bitişiktir. Voronoi diyagramları aynı zamanda ‘Thiessen poligonları’ veya ‘Dirichlet’ olarak da bilinir (Boots ve ark., 1999; Fall ve ark., 2007).

Her bir örnek noktasını merkezine koyan bu kapalı alanlar içindeki bir nokta bu örnek verisine en yakın noktalardan biridir. Bu sayede Voronoi diyagramı ile her bir örnek veri noktasının etki alanı hakkında bir fikir elde edilir. Veri dağılımının yeterliliği ve sürekliliği de Voronoi diyagramının görsel analizi ile tecrübeye bağlı olarak değerlendirilir. Örneğin bir ortalama değere göre her bir alan belirli oranda renklendirilerek verilerin değerleri konumsal olarak incelenebilir, buna benzer olarak aynı süreç medyan değeri, belirlenen sınıf değerleri, standart sapma için vb. uygulanabilir (Johnston ve ark., 2001). Şekil 4.5 ile örnek bir Voronoi diyagramı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.5. Örnek bir Voronoi diyagramı görüntüsü

Çevresel değişkenlerin bazıları, özellikle hidroloji ve meteoroloji değişkenlerinin birçoğu normal dağılım göstermez (Şen, 2002). Çarpık dağılım gösteren yani normal dağılımlı olmayan veriler aşağıda verilen yöntemler ile normal dağılıma yaklaştırılır (Şen, 2002);

logaritmik dönüşüm;

$$Y_i = \log \chi_i, \quad (4.10)$$

Y_i : Normal dağılımlı veri

χ_i : Çarpık dağılımlı veri

olmak üzere, dönüşüm sonucunda χ_i verileri yerine normal dağılımlı veri olarak Y_i verileri düşünülür. ‘Bu tür değişkenlere logaritmik dağılmış değişkenler denir’(Şen, 2002).

Y_i değişkeninin aritmetik ortalaması;

$$\bar{Y} = \sqrt[n]{\chi_1 \chi_2 \cdots \chi_n} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \chi_i}, \quad (4.11)$$

ve Y_i değişkeninin geometrik varyansı ise;

S_y^2 : Geometrik varyans,

$$S_y^2 = \sqrt[n-1]{\prod_{i=1}^n 2 \left(\frac{\chi_i}{\bar{Y}} \right)} \quad (4.12)$$

Logaritmik dönüşüm değişkenlerin dağılımını simetrik, varyansını da daha dengeli bir hale getirerek istatistik faydalar temin edebilir (Şen, 2002).

Kare-Kök dönüşümü (Şen, 2002);

$$Y_i = \sqrt{\chi_i}, \text{ olmak üzere,} \quad (4.13)$$

verilerin ikinci veya üçüncü dereceden kuvvetlerinin alınması ile büyük veriler küçük olanlara göre daha fazla büyür ve böylece frekans dağılımı simetrik şekle yaklaşır (Şen, 2002).

$$Y_i = \chi_i^2, \quad (4.14)$$

$$Y_i = \chi_i^3 \quad (4.15)$$

Arcsin dönüşümü (Şen, 2002);

$$Y_i = \arcsin \chi_i, \text{ olmak üzere,} \quad (4.16)$$

negatif çarpıklık gösteren verilerin, normal dağılıma yaklaştırılması için bu dönüşüm faydalı olabilir (Şen, 2002).

4.2. Yarı Variogram Fonksiyonu

Bölgeselleşmiş değişkenler teorisi ve içsel durağanlık varsayımına göre bölgesel değişkenler arasındaki ilişki, konumlarına değil sadece aralarındaki mesafeye bağlıdır. Bu varsayımına göre jeostatistik analiz çalışmalarında bölgesel değişkenlerin aralarındaki

değişim, ilişki ve bağımlılık mesafeye bağlı olarak yarı variogram fonksiyonu ile incelenir ve belirlenir. ‘ h ’ adım aralığı olmak üzere, variogram fonksiyonu birbirinden ‘ h ’ kadar uzaklıktaki iki bölgesel değişken arasındaki farkın varyansı olarak ifade edilir (Uyar, 2005). Bu şekilde bölgesel değişkenler arasındaki konumsal ilişki ve bağımlılık tanımlanmış olur. Birbirine yakın örnek çiftleri arasındaki varyansın düşük olması beklenirken, örnek çiftleri arasındaki mesafenin artmasıyla varyansın artması ve benzerliğin azalması beklenir (Uyar, 2005; Uzunlar, 2006; Topal, 2007; Uygucgil, 2007).

Bölgesel değişkenlerin birbirleri arasındaki konumsal ilişkisini tanımlayan yarı variogram fonksiyonu şu şekilde tanımlanır (Matheron, 1967);

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[z(x+h) - z(x)], \quad (4.17)$$

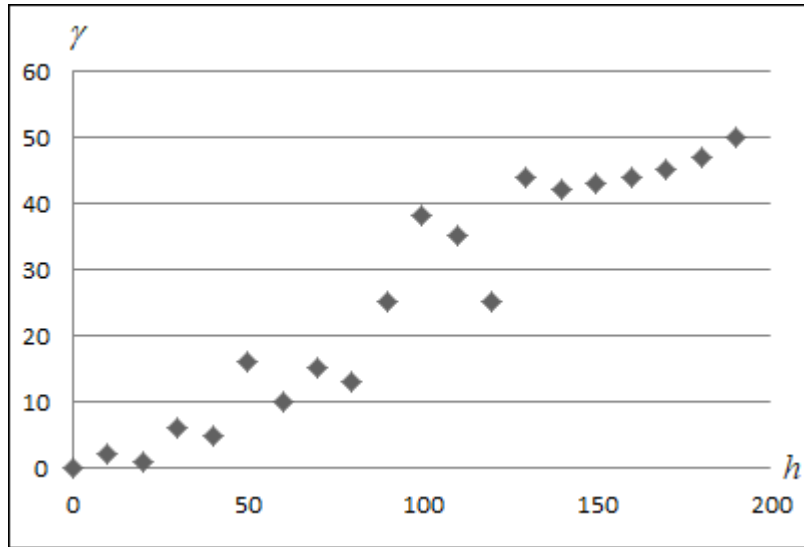
ve bu denkleme göre yarı variogram fonksiyonu (Sarma, 2010);

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N \{z(x_i+h) - z(x_i)\}^2 \quad (4.18)$$

Burada, N : karşılaştırılan örnek çifti sayısı ve $z(x_i+h)$: x_i+h konumundaki bölgeselleşmiş değişkenin beklenen değeridir.

Belirlenen her h kadar mesafe arasında yer alan her örnek çifti için yarı variogram hesaplanır. Bu işlem genelde h mesafesinin katları şeklinde tekrarlanarak, örnekler arasında artan mesafeye göre bir dizi yarı variogram değerleri elde edilir. h mesafesinin sonlu artışının, katları cinsinden tanımlanmasına adım aralığı denilmektedir. Tanımlanan h mesafesine adım aralığı da (Lag interval) denilmektedir.

Farklı h mesafeleri için hesaplanan yarı variogram değerlerinin belirlenen artan adım mesafeleri karşısında grafiklendirilmesi sonucunda deneysel yarı variogram elde edilir (Oliver ve Webster, 2015). Deneysel yarı variogramlara, örnek yarı variogramlar da denir. Deneysel yarı variogramlar genellikle örnek çiftlerinin yarı variogram değerlerinin yukarı eksende ifade edilmesi ve yatay eksende, bu değerlerin olduğu h mesafesi karşısında Şekil 4.6.’da görüldüğü gibi grafiklendirilmesi ile gösterilir.



Şekil 4.6. Deneysel yarı variogram örneği

Örnek noktalarının düzenli bir grid şeklinde konumlu olmaları durumunda, bu noktalar arasındaki en kısa mesafe adım aralığı olarak belirlenir ve her adımda artan mesafede karşılaştırılan örnek noktası sayısı belirli bir oranda artarak azalmaya başlar. Düzensiz veri dağılımlarında ise yarı variogram hesabı için Aksoy (2011)'a göre adım aralığı birbirine en yakın noktalar arasındaki mesafe olarak belirlenir. Buna karşın Johnston ve ark. (2001)' ise düzensiz dağılmış veri konumları için, veriler arasındaki ortalama mesafenin adım aralığı olarak belirlenmesini önermişlerdir. Ancak bu tür düzensiz dağılmış örnek noktaları için her adım ile artan mesafede karşılaştırılan örnek çifti sayısı belirli bir düzen göstermeyebilir ve düzenli dağılıma göre daha az sayıda örnek çifti karşılaştırılmasına neden olabilir (Oliver ve Webster, 2015). Buna göre örnek noktalarının çalışma alanındaki konumları yarı variogramı etkileyen unsurlardan biridir.

Yarı variogramı etkileyen en önemli faktörlerden biri hesaplamalarda kullanılacak örnek sayısı ve belirlenen adım aralığında karşılaştırılacak örnek çifti sayısıdır. Yarı variogram ile doğru sonuçlar elde etmek için her adım aralığında çok sayıda örnek çiftinin karşılaştırılması gerekir. Bu nedenle adım aralığı ve adım sayısı belirlenirken her adım için karşılaştırılan örnek çifti sayısına dikkat edilmelidir. Adım artışı ile karşılaştırılan örnek çifti sayısının artması beklenir ancak bu artış bir noktadan sonra karşılaştırılan örnek çifti sayısının azalmasına neden olur. Kısaca yarı variogramın uygun şekilde hesaplanması için adım aralığının ve adım sayısının en iyi şekilde belirlenmesi gerekir. Yarı variogramın adım aralığı örnekler arasındaki en uzun mesafenin yarısını geçmemelidir (Uyguçgil, 2007). Oliver ve Webster (2015)'e göre yarı variogram, etkili bir adım aralığı ile en az 5 adımda hesaplanmalıdır. Uygun bir

yarı variogram hesabı için Sarma (2010)'ya göre en az 50 veri, (Oliver ve Webster, 2015)'e göre izotropik olduğu bilinen varyasyonlarda en az 100 aksii durumda en az 150 veri kullanılmalıdır. Şen (2009)'e göre ise her adım için en az 30-50 veri çifti karşılaştırılmalıdır.

Örnek sayısının fazla olması her zaman güvenilirlik anlamına gelmeyebilir bunun nedeni her veri kendi başına bir diğeriyle defalarca karşılaştırılırken verilerin birbiri arasındaki ilişki az veya çok olabilir. Yine de sonuç olarak, çok az veri olduğunda örnek çifti sayısına göre doğruluk çıkarımı yapılamaz (Oliver ve Webster, 2015).

Yarı variogramın doğruluğunu etkileyen bir diğeri unsur ise verilerin dağılım şeklidir. Normal dağılımlı veriler ile çarpık dağılımlı ve aykırı değerlerin bulunduğu verilere göre daha uygun yarı variogram değerleri elde edileceği düşünülür. Eğer az sayıda aykırı değer varsa bunları silmek çarpıklığı azaltmak için etkili olur. Variogram hesabında kullanılmayan aykırı değerler Kriging hesabına tekrar eklenebilir. Aykırı değerlerin var olduğu durumlarda dönüşüm yapmak ise genelde daha olumsuz bir etkiye neden olur (Oliver ve Webster, 2015).

Yarı variogram ile konumsal otokorelasyon tanımlanmış olur. Konumsal otokorelasyonun çalışma alanının tüm yönlerinde aynı olması durumuna izotropi denir.

Herhangi bir yön gözlemeden sadece h adım aralığına bağlı olarak hesaplanan yarı variogramlara yönsüz (Omnidirectional) yarı variogramlar denir (Bohling, 2005; Oliver ve Webster, 2015). Yarı variogram belirli bir açı doğrultusunda, bir bant şeklinde tanımlanarak yönelimsel (Directional) variogram elde edilir. Yönelimsel variogram bir yönelim açısı, belirlenen doğrultuda karşılaştırılacak örnek çiftlerini kapsayacak bir bant genişliği ve açısal tolerans ile tanımlanır (Bohling, 2005; Oliver ve Webster, 2015). Yönelimsel yarı variogramlar ile çalışma alanının farklı yönlerindeki konumsal otokorelasyon yapısı araştırılabilir. Çeşitli yönlerde konumsal otokorelasyonun veya varyasyonun benzerlik göstermemesi durumunda ise izotropinin aksine anizotropi vardır denilir (Bohling, 2005). Anizotropiyi belirlemek için genellikle araştırma alanının kuzey, güney, doğu ve batı yönleri için deneysel ve yönelimsel yarı variogramlar incelenir. Ancak yönelimsel yarı variogramların karşılaştıracağı örnek nokta çifti azalacağından bu şekilde yapılan anizotropi araştırması dikkatle yürütülmelidir.

Yağış gözlem istasyonları genellikle bir alan üzerinde düzensiz olarak dağıldığından, örnek noktalarının yönsüz yarı variogramlarının hesaplanması önerilmektedir (Englund ve Sparks, 1988; Çetin ve Tülücü, 1998).

Variogram fonksiyonu şu özellikleri sağlamaktadır (Wackernagel, 2003) ;

- $h=0$ uzaklığında variogram değeri sıfır olur,

$$\hat{\gamma}(0) = 0 \quad (4.19)$$

- variogram varyans değerleri ile ifade edildiğinden negatif değer almaz,

$$\hat{\gamma}(h) \geq 0, \quad (4.20)$$

- simetrik bir fonksiyondur,

$$\hat{\gamma}(h) = \hat{\gamma}(-h), \quad (4.21)$$

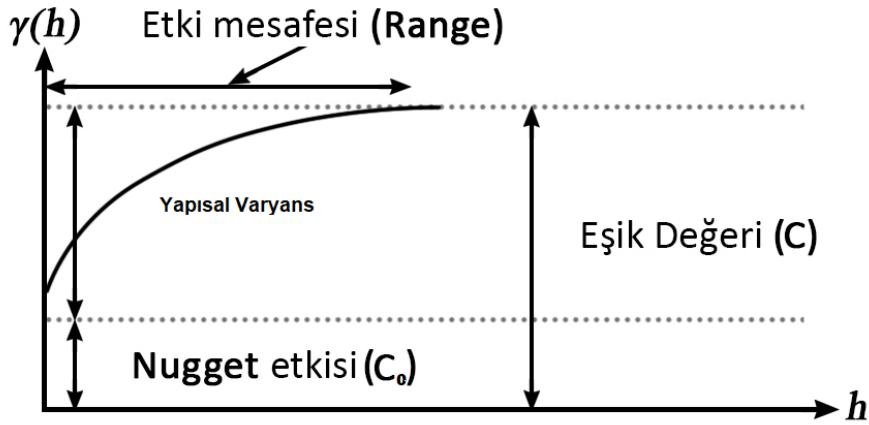
- variogramın sonsuzdaki artışı h^2 'nin artışından daha yavaştır,

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{\hat{\gamma}(h)}{h^2} = 0 \quad (4.22)$$

Ancak bazen uygulamalarda variogramın h^2 den daha hızlı arttığı görülür. Bu durum bölgesel değişkenlerin bir trendden etkilendiğini gösterir (Sarma, 2010). Verilerde bir trend yani eğilim olduğu durumlarda tipik olarak deneysel yarı variogram sınırsız bir şekilde artar ve eğer trend veriye hakimse adım sayısı arttıkça dikleşir. Böyle bir sonuç elde edildiğinde trend vardır denilir ve yarı variogramın rastgele sürecini olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle trend, hesaplamalardan önce tespit edilip giderilmelidir (Oliver ve Webster, 2015). Trend etkisinin kaldırılması ile daima uygun tahmin sonuçları elde edilemeyebilir. Bu yüzden bu şekilde gerçekleştirilecek tahminler kontrollü ve dikkatli şekilde yürütülmelidir.

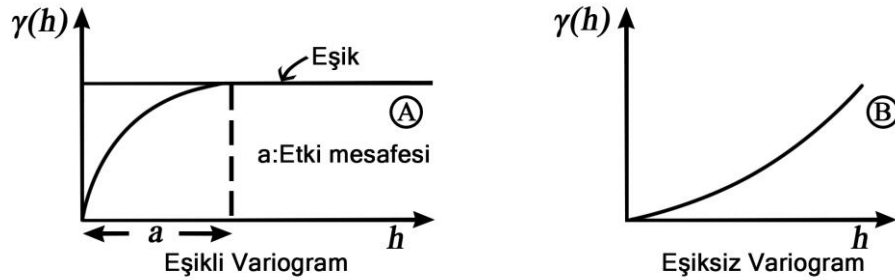
Kısaca, variogram hesabının uygun bir şekilde yapılması için ilk olarak yeterli veriye sahip olunmalı, adım aralığı ve adım sayısı uygun şekilde belirlenmeli, hesaplamalardan önce araştırılan veri setindeki aykırı değerler ile veri dağılımı belirlenmeli ve son olarak trend ve anizotropi durumlarının tespit edilmesi gerekmektedir.

Yarı variogramın artış oranı, örnek noktasından uzaklaştıkça konumsal bağımlılığın azaldığının bir göstergesidir. Eğer süreç ikinci dereceden durağan ise variogram değeri belirli bir artıştan sonra en yüksek limit değerini alır. Bu limit eşik varyansdır. Sonlu bir artan adım aralığında yarı variogramın eşik değerine ulaşması beklenir. Bu noktadan sonra mekânsal bağımlılık ve ilişki sona erer. Yarı variogramın eşik değerine ulaştığı, yani mekânsal bağımlılığın sona erdiği ettiği uzaklığa etki mesafesi (range) ya da başka bir ifadeyle variogramın aralığı denir (Sarma, 2010; Oliver ve Webster, 2015). Etki mesafesi 'a' ile gösterilmektedir. Bir yarı variogram modelinin bileşenleri Şekil 4.7. ile verilmiştir.



Şekil 4.7. Örnek bir yarı variogram ve bileşenleri

Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi tüm yarı variogramlar bir eşik değerine ulaşmayabilir ve artan adım sayısı ile artmaya devam eder. Bu davranıştaki deneysel yarı variogramlar sınırsız (Unbounded) ya da eşiksiz variogramlar olarak tanımlanır.



Şekil 4.8. Eşikli ve eşiksiz deneysel yarı variogram (Sarma, 2010)

Etki mesafesinin her yön için aynı olması gerekmez ve farklı yönlerde farklı aralıkların olması fenomenin anizotropik olduğunu gösterir (Sarma, 2010). Yarı variogram değerinin $h=0$ olması durumunda 0 olması beklenir. Ancak yarı variogram eğrisi sıklıkla yarı variogram eksenine pozitif bir kesişim yaparak nugget varyansı ya da nugget etkisi olarak bilinen bir yaklaşım gösterir. Böylece $h=0$ için yarı variogram 0'dan büyük bir değer alır. Nugget etkisi, birbirinden bağımsız ve ilişkisiz veriler nedeniyle ortaya çıkar (Oliver ve Webster, 2015). Nugget etkisinin büyüklüğü örnekler arasındaki ilişki ile ters orantılıdır.

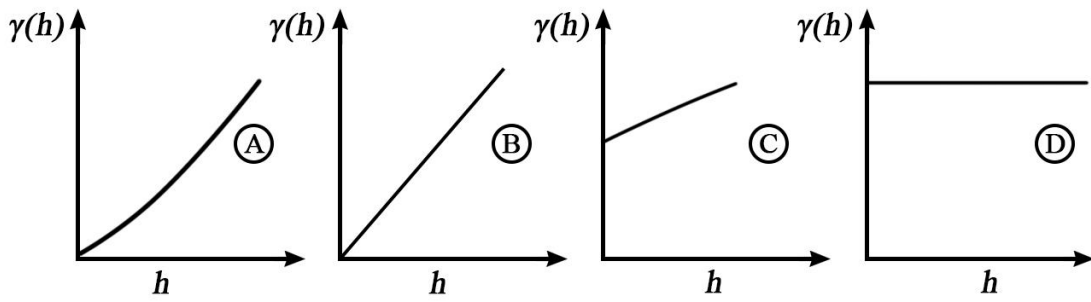
Deneysel yarı variogramın orijine göre davranış biçimleri Şekil 4.9. ile verilmiştir ve özellikleri şöyledir (Sarma, 2010);

a) Parabolik şekil: Bölgesel değişkenlerin son derece sürekli ve türevlenebilir olduğunu gösterir. Bazen parabolik şekil trend varlığı ile ilişkilendirilebilir.

b) Doğrusal şekil: Bu durumda bölgesel değişkenler süreklidir fakat parabolik şekle göre daha düzensizdir ve türevlenemez.

c) Orijindeki süreksizlik: $h = 0$ olduğunda yarı variogramın 0 olmadığı nugget etkisini gösterir. Bu bölgeselleşmiş değişkenlerin süreksizlik gösterdiği ve kısa mesafelerde de düzensiz olduğu anlamına gelir.

d) Yassı bir eğri: Bu eğri yatay eksene az çok paralel bir eğridir. Bu durum rastgeleliği ve çok düşük konumsal ilişki ile bağımlılığı gösterir. h 'ın her değeri için bölgesel değişkenler ilişkisizdir.



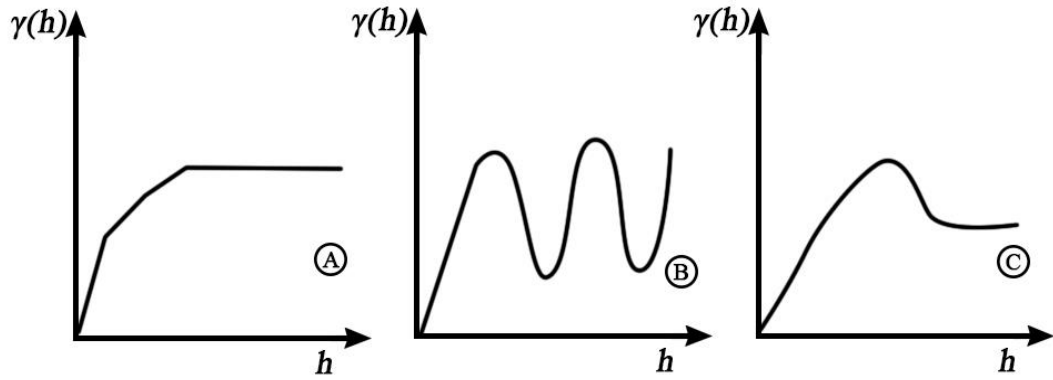
Şekil 4.9. Deneysel yarı variogramın orijine göre davranış şekilleri (Sarma, 2010)

Deneysel yarı variogramın diğer davranış özellikleri bazen Şekil 4.10.'da görüldüğü gibi şu özelliklere sahip olabilir (Sarma, 2010);

a) İç içe geçmiş veya yuvalı (Nested) yapılar: Farklı ölçeklerde varyasyonların bulunduğunu gösterir.

b) Periyodiklik (Periodicity): yarı variogram periyodik davranışlar gösterdiğinde bu durum gözlenir.

c) Çukur (Hole) Etkisi: Bazı durumlarda yarı variogramda bir çukur veya dalgalanma şekli meydana gelebilir. Bunun nedeni deneysel yarı variogram değerinin hesabında özel mesafelerde yetersiz veri kullanımı ya da doğal bir dalgalanma olabilir.



Şekil 4.10. Deneysel yarı variogramın bazı davranış özellikleri (Sarma, 2010)

Deneysel yarı variogramların hesaplanması ile yarı variogram değeri belirli bir sınırdaki mesafeler için bilinirken, bunu aşan uzaklıklardaki yarı variogram değeri bilinemez bu nedenle bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesi ve örneklenmemiş noktalardaki değerlerin tahmini için yarı variogramı diğer uzaklık mesafelerinde de bilmek gerekir (Ersoy ve Yünel, 2008). Bu durumda deneysel yarı variograma matematiksel bir fonksiyon uydurularak bir model elde edilir. Bu modele teorik yarı variogram denilmektedir (Atlı, 2010). Teorik yarı variogramlara, yarı variogram modeli de denilmektedir.

Yarı variogram modeli, kriging tahmin modelini bir bölgesel değişkene uygulamak üzere elde edilir ve şekil ile özelliklerine ek olarak, Şekil 4.7’de görülen nugget, eşik ve etki mesafesi parametreleri olmak üzere üç parametre ile tanımlanır (Şen, 2009).

Yarı variogram modelleri genellikle eşik değerine sahip olup olmamalarına göre sınırlı ve sınırsız ya da eşikli ve eşiksiz variogramlar olarak sınıflandırılır. Bazı yaygın kullanılan yarı variogram modelleri şunlardır (Sarma, 2010);

- Küresel model:

$$\gamma(h) = \left\{ C \left[1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \right\}; \quad |h| < a \text{ için}; \quad (4.23)$$

$$\gamma(h) = C; \quad |h| \geq a \text{ için.}$$

Küresel model en yaygın kullanılan yarı variogram modelidir.

- Üssel model:

$$\gamma(h) = C[1 - \exp.(-h/a)] \quad (4.24)$$

Uygulama amacına göre etki mesafesi 'a', '3a' olarak alınabilir. Üssel model hidroloji uygulamalarında yaygın olarak kullanılır (Şen, 2009).

- Gaussian Modeli:

$$\gamma(h) = C \left(1 - \exp \left[- \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right] \right) \quad (4.25)$$

Gauss modeli son derece sürekli olan bir fenomeni temsil eder. Pratik olarak etki mesafesi $1.73a$ olarak düşünülür. Gauss modeli orijinde parabolik davranış gösteren tek modeldir (Ersoy ve Yünel, 2008).

Denklemlerde yer alan;

C : eşik değeri olmak üzere,

nugget etkisinin (C_0) olduğu durumlarda eşik değeri: $C + C_0$ şeklinde denkleme yazılır.

a : etki mesafesini gösterir.

- Stable Model:

Stable modeli, Gaussian ve Üssel yarı variogram modelleri arasında denge kuran bir modeldir. Bu model kullanımına göre Gaussian veya Üssel variogram modellerine yaklaşır veya aynı şekilde sonuçlar üretir.

4.3. Kriging Metotları

Çevresel özelliklerin araştırılması için zaman ve ekonomi açısından sadece sınırlı sayıda konumdan örnek toplanabilir. Örnek elde edilemeyen yani gözlemlenemeyen konumlardaki çevresel özelliklerin tahmin edilmesi için çeşitli matematiksel enterpolasyon yöntemleri kullanılır. Kullanılan klasik yöntemlerin çoğu yalnızca sistematik veya deterministik varyasyonu hesaba katar ve tahmin hatalarını göz ardı eder. Buna karşın kriging metotları ile gerçekleştirilen tahminler rastgele süreçleri ve yarı variogram modelleri kullanarak mekânsal bağımlılığı hesaba katar. Kriging yöntemleri tahmin hataları yani tahmin varyansı hakkında bilgi verir.

Kriging metotları adını D.G. Krige'den alır. Kriging bir optimal tahmin ya da kestirim metodudur ve uygun yarı variogram modelinin belirlenmesi ve yüzeyin durağan olması koşuluyla kriging yöntemi sıklıkla en iyi lineer yansız tahminci 'best linear unbiased predictor', 'BLUP' ve en güvenilir tahminci olarak bilinir (Şen, 2009; Oliver, 2010; Oliver ve Webster, 2015). Jeostatistik çalışmaları birçok araştırmacı tarafından konumsal (Spatial) istatistik veya kriging olarak ifade edilmektedir. Veriler

konumsal olarak sürekli (Continuous), normal dağılıma sahip ve dağılımın otokorelasyonu biliniyorsa kriging optimal bir tahminci olur (Johnston ve ark., 2001).

Kriging bölgeselleşmiş değişkenler için jeostatistik enterpolasyon metodudur (Oliver, 2010).

Kriging minimum varyanslı, konumsal bir enterpolasyon metodu olmak üzere, kovaryans veya yarı variogram fonksiyonlarından elde edilen konumsal bağımlılık modellerini kullanır. Kriging tahmini yapılacak nokta veya alanın, komşu verilerinin ağırlıklandırılmış değerleri ile tahminini yapar (Krivoruchko, 2005). Bu yüzden jeostatistik analiz ile araştırılan bölgeselleşmiş değişkenlerin konumsal bağımlılığının modellendiği yarı variogram modelinin belirlenmesi ve gözlemi bulunmayan alan veya nokta konumlarında tahmin yapmayı sağlayan kriging metodolojisi ile iki aşamadan oluşur. Kriging tahmininde kullanılacak ağırlıklar yarı variogram modeli bilgisi ile optimal olarak belirlenir (Şen, 2009).

Ağırlıkların sadece mesafenin bir fonksiyonu olarak belirlenmesi yerine verilerin ağırlıklarının ne olması gerektiği araştırılır. Kovaryans ve yarı variogram fonksiyonları bu işleme yardımcı olur. Kovaryansın hesabı, yarı variogramın hesabına benzerdir fakat verinin ortalamasını kullanır. Verinin ortalaması genellikle bilinmez ve kovaryans hesabı için bir ortalama değer kestirimi yapılır bu da analizde yanlılığa neden olur. Bu yüzden jeostatistik analiz çalışmalarında konumsal bağımlılık yapısını belirlemek için yarı variogram fonksiyonu kullanılır (Krivoruchko, 2005). Kriging metodolojisinin bazı avantajları şunlardır (Şen, 2009):

- Yarı variogram modeli hesaplanmışsa, minimum varyanslı tahminler yapılabilir.
- Doğru yarı variogram modeli belirlenmiş ve analiz doğru şekilde yapılırsa, kriging yöntemi her zaman en iyi sonuçları verir.
- Kriging yöntemi bir nokta veya blok için tahmin yapmanın yanında bölgesel değişkenin ortalama değerini tahmin eder, bölgesel değişkenin tahmin varyansını hesaplar.
- Kriging yöntemi çalışma alanındaki örnek noktası sayısını, konumunu ve aralarındaki mesafeyi hesaplamalarında açıkça dikkate aldığı için avantajlıdır.
- Diğer istatistik yöntemlerine göre ise yer bilimlerinde bölgesel değişkenlerin modellenmesi için en iyi lineer yansız tahminci olmayı sağlar.
- Hata varyansını minimize ettiği için en iyi yöntemdir, ağırlıkların toplamı birdir yani tarafsızdır ve lineerdir.

- Örneklenmemiş nokta veya alandaki değeri tahmin etmek için ağırlıklandırılmış ortalama yöntemini kullanır.
- Teorik olarak grid şeklinde konumlanmış örnek noktalar ile daha yansız ve düşük varyanslı tahmin yapılır. Ancak pratikte düzensiz dağılmış veriler ile tahmin yaparken tekniğin etkililiği yarı variogram ve trend modeli parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesine bağlıdır.
- Kriging yöntemi sağlam bir tahminci olduğundan tecrübesizce belirlenmiş parametreler ve düzensiz dağılmış verilerle yapılacak tahminlerin, grid şeklinde dağılmış veri ile yapılacak tahmine göre bile daha kötü sonuç vermesi beklenmez.
- Verilerin yarı variogramlarının hesaplanması, trend varlığının araştırılması, tahmin için komşu verilerin tanımlanması gibi kapsamlı bir inceleme gereklidir ve kriging metotları yoğun bir hesaplama gerektirir. Ancak günümüzde birçok araştırma için en iyi yöntem olan kriging yöntemi paket yazılımları ile kullanılmakta ve giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sayede uygun tahmini belirlemek için tecrübi olarak deneme yanılma yöntemi izlenebilir.

Kriging metotları tahminlerini komşu verilerin ağırlıklandırılmış ortalamaları temelinde yapar. Tahminler örnek noktalardan veya bloklardan (alanlar) faydalanılarak yapılabilir ve noktasal kriging ve blok kriging bağıntıları farklıdır. Bu çalışmada uygulamalar noktasal kriging esaslarına göre gerçekleştirildiğinden kriging bağıntıları noktasal kriging bağıntıları şeklinde verilmiştir. Noktasal kriging için, tahmin edilen nokta konumları bağıntılarda ' x_0 ' olarak ifade edilecektir. Kriging tahminleri kovaryans veya yarı variogram hesabı yardımıyla elde edilir. Burada verilen kriging bağıntıları yarı variogram hesabı sonucunda elde edilen parametreler ile ifade edilmiştir. Kovaryans hesabı ve ifadeleri ile kullanılan kriging bağıntıları Armstrong (1998) tarafından verilmiştir.

Kriging yönteminin genel formülasyonu, OK olarak bilinir (Journel ve Huijbregts, 1978). Genel kriging tahmin bağıntısı Webster ve Oliver (2007) tarafından şu şekilde verilmiştir;

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad (4.26)$$

Burada x_0 : tahmini yapılan nokta, $\widehat{Z}(x_0)$: x_0 noktasındaki rastgele değişkenin tahmin edilen değeri, λ_i : ağırlık, n : örnek noktası sayısı, $z(x_i)$: x_i örneğinin rastgele değişken değeri.

Tahminin yansızlığının sağlanması için ağırlıkların toplamı;

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (4.27)$$

bağıntısı sağlanmalıdır.

Tahmini yapılan noktanın tahmin değeri ile rastgele değişken arasındaki farkın;

$$E[\widehat{Z}(x_0) - Z(x_0)] = 0 \quad (4.28)$$

olması beklenir. Bu durumda tahmin varyansı;

$$\text{var}[\widehat{Z}(x_0)] = E\left\{\left[\widehat{Z}(x_0) - Z(x_0)\right]^2\right\} = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i - x_0) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) \quad (4.29)$$

Her kriging tahmini bir kriging varyansı ile ilişkilidir. Kriging işlemi için daha sonra kriging varyansını minimize edecek ağırlıklar bulunur, ağırlıkların toplamı denklem (4.27)'deki gibi 1 olmalıdır. Varyansı minimize etmek için bir lagrange çarpanı metodu kullanılır ve lagrange çarpanı ' $\psi(x_0)$ ' bağıntılara dâhil edilir. Bu metodun sonucunda $n+1$ bilinmeyenli $n+1$ denklem elde edilir;

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, x_j) + \psi(x_0) = \gamma(x_i, x_0), \quad j = 1, \dots, n \quad (4.30)$$

İlişkilendirilmiş varyans $\sigma^2(x_0)$, şu şekilde elde edilir;

$$\sigma^2(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, x_0) + \psi(x_0) \quad (4.31)$$

Kriging denklemleri matris formunda da verilebilir;

$$A\lambda = B \quad (4.32)$$

burada;

$$A = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_1) & \gamma(x_1, x_2) & \cdots & \gamma(x_1, x_N) & 1 \\ \gamma(x_2, x_1) & \gamma(x_2, x_2) & \cdots & \gamma(x_2, x_N) & 1 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_N, x_1) & \gamma(x_N, x_2) & \cdots & \gamma(x_N, x_N) & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ \psi(x_0) \end{bmatrix} \quad (4.33)$$

ve

$$b = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_0) \\ \gamma(x_2, x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_N, x_0) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.34)$$

burada A : i ve j örnekleri arasındaki yarı varyansı gösterir, λ : ağırlık vektörü, b : her örnek noktası ile hedef noktası arasındaki yarı varyans vektörüdür.

A matrisinin tersi alınarak, ağırlık ve lagrange çarpanı şu şekilde elde edilir;

$$\lambda = A^{-1}b \quad (4.35)$$

matris formunda kriging varyansı ise;

$$\hat{\sigma}^2(x_0) = b^T \lambda \quad (4.36)$$

(Webster ve Oliver, 2007).

Jeostatistik analiz için birçok metot vardır ve bunların tamamı kriging temellidir. Bu metotlardan bazıları; OK, SK, UK, Probability Kriging, Disjunctve Kriging, Indicator Kriging ve Co-Kriging olarak sıralanabilir. Bu metotlar tahmin ve hata yüzeyleri oluşturmanın yanı sıra olasılık (Probability) ve dağılım (Quantile) çıktıları da üretebilirler. Yukarıda verilen genel kriging bağıntısı ile OK bağıntıları verilmiş olup diğer metotların matematiksel temellerini ve formülasyonları Matheron (1973); Journel (1983); Sullivan (1984); Isaaks ve Srivastava (1989); Cressie (1993); Rivoirard (1994); Goovaerts (1997); Chiles ve Delfiner (1999); (Johnston ve ark., 2001); Webster ve Oliver (2007); Sarma (2010) tarafından verilmiştir.

Veri setinin incelenmesinin ardından uygun kriging metodu belirlenerek uygulama daha iyi şekilde gerçekleştirilir. Kriging metotlarından hangi metot, hangi durum ve koşullarda kullanılmalıdır ve hangi varsayımlara sahiptir gibi bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. Bu sayede uygun kriging yöntemi ile tahminler yapılabilir.

OK, SK ve UK tahminçileri lineer tahminçilerdir ancak bu üç kriging modeli çalışılan değişkenin ortalama değeri hakkında farklı varsayımlarda bulunur (Krivoruchko, 2005).

OK metodu sabit fakat bilinmeyen bir ortalama değer varsayımı ve sürecin yerel olarak durağan olduğu varsayımı ile tahminlerini gerçekleştirir (Krivoruchko, 2005; Oliver, 2010). OK en düşük tahmin hataları üreten ağırlıklar seçmeye çalışır ve jeostatistik çalışmalarda en çok kullanılan yöntemdir (Şen, 2009; Oliver ve Webster,

2015). Tahmini yapılan konum için ağırlıklandırılmış komşu değerlerin kullanılması ile yerel ortalamalar hesaplanır.

SK, OK' in aksine bilinen bir ortalama değer varsayar ve tahmin için bilinen bir ortalama değer gerekir. Ortalamanın genellikle bilinmemesi nedeniyle kullanımı yaygın değildir (Krivoruchko, 2005; Webster ve Oliver, 2007; Oliver, 2010). OK yerel ortalamayı kullanırken, SK için tüm veriden bir ortalama değer kestirilir. Bu durum tahmin hassasiyetini çalışma konusuna göre olumsuz yönde etkileyebilir. SK varsayımlarından biri de sürecin durağan olduğudur ve bu yöntem lineer bir yöntemdir.

UK durağanlık varsayımı olmayan bir yöntemdir. UK durağan olmayan süreçler için tahmin yapmak üzere ilk olarak Matheron (1969) tarafından önerildi (Oliver, 2010). Trend varlığı durağanlığı bozar ve OK'de olduğu gibi sabit bir ortalama varsayımı yapılamaz. Trend varlığının bilinmesi durumunda UK yönteminin kullanımı önerilir (Krivoruchko, 2005; Sarma, 2010). UK, trend ile kriging 'kriging with drift' olarak da bilinir (Webster ve Oliver, 2007).

COK metodu araştırılan değişken ile ilişkili diğer konumsal değişkenlerin aralarındaki korelasyon ve çapraz korelasyon bilgisini kullanarak tek bir değişkene ait harita üretmek için bu verileri kombine şekilde kullanır. Diğer değişkenlerin tahmin sürecine dâhil edilmesi sonucunda, daha iyi sonuçlar alınabilir ancak bu şekilde tahmin için daha fazla parametre kullanılır ve daha fazla belirsizlik hesaba eklenmiş olur. Bahsedilen diğer kriging modelleri Co-Kriging ile çok değişkenli olarak hesaplanabilir (Krivoruchko, 2005). İkincil değerlerin kullanıldığı farklı kriging metotları için yöntemler literatürde Co-Ordinary veya Co-Kriging, Co-Simple Kriging şeklinde ifade edilmektedir.

İncelenen değişken normal dağılımlı ise lineer tahminler yapılarak minimum varyanslı sonuçlar elde edilebilir. Çarpık dağılımlı veriler logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma sahip olabilir. Bu dönüşümden sonra kullanılacak lineer kriging tahminleri Lognormal Kriging olarak adlandırılır (Srivastava, 1996). Eğer logaritmik dönüşüm uygulanmışsa, Lognormal Kriging, OK, SK ve UK için kullanılabilir (Johnston ve ark., 2001). Normal dağılımlı olmayan veriler için box-cox ya da arcsin dönüşümleri uygulanarak elde edilen normal dağılımlı verilerin OK veya UK ile tahminlerinin yapılması durumuna Transgaussian Kriging metodu denir (Johnston ve ark., 2001). Bu çalışma için logaritmik dönüşüm uygulanmış veriler ile gerçekleştirilen kriging metotları Lognormal Kriging olarak değil uygulama şekli bakımından belirlenen yöntem ve yöntem numarası ile ifade edilecektir.

Kriging metotları ile tahmini yapılacak konum için o konumun komşu değişkenlerinin ağırlıklandırılmış değerleri kullanılır. Bu bakımdan hangi örnek noktaların bu komşuluğa dâhil edileceği, komşu noktalarının hangi yarıçapta aranacağı ve kaç komşu örnek noktası ile tahmin yapılacağı iyi olarak belirlenmelidir. Bu kapsamda Webster ve Oliver (2007)'in tavsiyeleri şu şekildedir;

- Eğer yarı variogram eşikli ve küçük bir nugget varyansına sahipse ayrıca veriler yoğunsa komşuluk yarıçapı etki mesafesi olarak ayarlanabilir. Etki mesafesi dışında kalan veriler önemsiz ağırlıklara sahip olacaktır.
- Eğer veriler seyrek ise hedefe göre etki uzaklığının ötesinde kalan noktalar yeterli ağırlığa sahip olabilecek önemde olabilirler ve komşuluk bu verileri içermelidir.
- Eğer nugget varyansı büyük ise, uzak noktaların önemli ağırlık taşıdığı düşünülür.
- Alternatif olarak, kullanıcı en yakın 'n' sayıda veri noktasını seçebilir ve etkili olarak bu sayıyı komşuluk sınırı olarak belirleyebilir. Eğer örnekleme düzensiz ise komşuluk büyüklüğü tahmin edilen nokta değiştikçe az ya da çok değişecektir. Yaklaşık 20 komşu nokta daima yeterlidir.
- Eğer komşuluk için bir maksimum yarıçap ayarlanırsa, yarıçapın kapsayacağı en az nokta sayısı 'n' tanımlamak gerekebilir. Yaklaşık olarak en az nokta sayısının 7 olarak belirlenmesi yeterli olacaktır.
- Mümkünse komşuluk araştırmalarında çok düzensiz dağılmış veriler için hedef noktasının etrafındaki alanı sekize bölerek her bir bölme için en yakın iki noktayı kullanmak etkili bir yoldur.

Komşuluk için yakın noktaların belirlenmesi ile yerel komşuluk oluşturulur. Bu sayede ortalama değer tüm alan boyunca değil sadece yerel komşuluk boyunca olmasını gerektirir (Krivoruchko, 2005).

Kriging tahminlerinde kullanılan ağırlıklar tahmin yapılan alanın boyutuna ve şekline, örnekleme tasarımına, her bir örnek noktasının tahmin edilen bölgesel değişkene göre uzaklıklarına ve yönlerine, örnek noktalarının birbirleri arasındaki uzaklıklara, anizotropik veya izotropik varyasyona ve yarı variogram modeli parametrelerine bağlıdır (Şen, 2009; Oliver, 2010). Ağırlıkların tahmini yapılan noktaya en yakın komşu noktalarda en yüksek değerleri alması beklenir. Ancak nugget etkisinin büyüklüğüne göre bu durum gözlenmeyebilir.

Webster ve Oliver (2007)'e göre ağırlıkları elde etmek için kriging denklemleri çözüldüğünde, en büyük ağırlıkların tahmin edilen noktaya veya bloğa en yakın noktalarda veya bloklarda olduğu görülür. En yakın dört veya beş nokta toplam ağırlığın %80'lik kısmına denk gelebilir ve bir sonraki en yakın on nokta ağırlıkların geriye kalan kısmını tamamlar. Bu nedenle Oliver (2010)'e göre arama komşuluğunun 16-20 veri noktasında daha fazla noktaya ihtiyacı yoktur ve bu durumda kriging sistemindeki A matrisinin büyük olmasına gerek olmadığı anlaşılır. Bu hususlar kriging tahminini en iyi şekilde uygulamak ve haritalamak için önemlidir.

Kriging ile üretilen harita tipleri yani yüzey çıktıları şunlardır; tahmin (Prediction) haritaları, olasılık (Probability) haritaları, tahmin hatası (Error of prediction) haritaları ve dağılım (Quantile) haritalarıdır.

Haritalar elde edilen enterpolasyon değerlerinin eş yükseklikleri ile biçimlendirilmesi şeklinde oluşturulur. Hata haritaları, enterpolasyon değerlerinin standart hataları ile üretilir. Olasılık haritaları ise belirli bir eşik değerini aşan enterpolasyon değerlerini gösterir. Dağılım haritaları fazla tahmin edilen veya tahmin edilemeyen konumları gösterir (Krivoruchko, 2005).

4.4. Çapraz Değerleme Metodu

Kriging tahminlerinin sonuçları ve doğruluğu seçilen yarı variogram modelinden, kriging tahmininin uygulanış şekline ve seçilen kriging metodundan vb. etkilenir. En iyi tahmini yapabilmek için en uygun tahmin yöntemini ve uygulama şeklini tespit etmek üzere jeostatistik çalışmalarda çapraz değerlendirme (cross-validation) yöntemi sıklıkla kullanılır.

Çapraz değerlendirme yönteminin esası, tekrarlı olarak veri setindeki bir gözlem değerini tahminden çıkarıp kalan veri seti ile yeniden tahmin yaparak, o noktadaki tahmin değeri ile gözlem değerini karşılaştırmaktır (Armstrong, 1998; Oliver ve Webster, 2015).

Tahmin değeri ile gözlem değeri arasındaki farkı yorumlamak için aşağıda formülasyonları verilen şu istatistiklere sıklıkla başvurulur;

ME, tahmin değeri ile gözlem değeri farklarının ortalamasını ifade eder, iyi bir tahminde bu değer 0 veya 0'a yakın olması beklenir;

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (\widehat{Z}(x_i) - Z(x_i))}{n} \quad (4.37)$$

RMSE, tahmin değerlerinin gözlem değerlerine ne kadar yakın olduğunu gösterir ve iyi bir tahminde bu hatanın düşük olması beklenir;

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\widehat{Z}(x_i) - Z(x_i))^2}{n}} \quad (4.38)$$

ASE, tahminin standart hatalarının ortalamasıdır;

$$ASE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \widehat{\sigma}(x_i)}{n}} \quad (4.39)$$

RMSE ve ASE değerlerinin birbirine yakın olması yöntemin uygunluğunu ve yansızlığını ifade eder. Farklı tahminler için görülen düşük RMSE değerleri, ASE değeri ile karşılaştırılmalıdır. ASE değerinin RMSE değerinden düşük olması, tahminlerin gerçek değerlerin altında olduğunu gösterir. Tam aksi durumda ise tahminlerin gerçek değerlerin üzerinde hesaplandığı anlaşılır.

MSE, standartlaştırılmış hataların ortalaması olmak üzere iyi bir tahminde bu değer 0'ya yakın olması beklenir;

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (\widehat{Z}(x_i) - Z(x_i)) / \widehat{\sigma}(x_i)}{n} \quad (4.40)$$

RMSSE, değerinin 1'e yakın olması gerekir, eğer bu değer 1'den büyükse tahmini yapılan değişken değerleri normalin altında hesaplanmıştır, 1'den küçükse değişken değerleri gerçekte olduğundan fazla tahmin edilmiştir;

$$RMSSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(\widehat{Z}(x_i) - Z(x_i)) / \widehat{\sigma}(x_i)]^2}{n}} \quad (4.41)$$

RMSE değerinin düşük ve ASE değerine yakın olması, aynı zamanda RMSSE değerinin de 1'e yakın olması en uygun tahmin bulgularını gösterir (Johnston ve ark., 2001).

4.5. Deterministik Enterpolasyon Metotları

Jeostatistik analiz yöntemlerinin uygulanması için konumsal otokorelasyon modelinin belirlenmesi gerekir. Ancak deterministik enterpolasyon metotları olan GPI, LPI, IDW ve RBF için konumsal otokorelasyon araştırılmaz. Ancak IDW yönteminin uygulanışı açısından mesafeye bağlı olarak kısmi bir otokorelasyon varsayımı vardır. Jeostatistik metotlar için durağanlık gibi çeşitli varsayımların sağlanması gerekirken, deterministik metotlar ile tahmin yapılırken herhangi bir varsayım düşünülmez. Yine de deterministik metotların uygulanışı açısından normal dağılımlı verilerin daha uygun tahmin sonuçları üreteceği düşünülür. Deterministik metotlardan IDW ve RBF yöntemleri tam (Exact) tahmincilerdir. Bunun anlamı tahmin için kullanılan her örnek noktasına ait değerler, bu metotlar ile yapılan tahminler sonucunda yine aynı değerleri alır. Bunun aksine GPI ve LPI yöntemleri ile kriging yöntemleri tam olmayan (Inexact) yöntemlerdir. GPI ve RBF yöntemleri ise diğer yöntemlere göre daha yumuşak (pürüzsüz, smooth) yüzeyler üretir. Deterministik metotların uygulanması sonucunda tahminlerin belirsizliği kestirilemez (Johnston ve ark., 2001).

Deterministik metotlar tahminler için kullandığı örnek veri noktaları açısından, global ve yerel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Global yöntemler çalışma alanında yer alan bütün noktaları kullanarak tahmin yapan GPI ve IDW yöntemleridir. IDW yöntemi yerel bir tahminci olarak da uygulanabilir. Yerel yöntemler ise LPI ve RBF olmak üzere bu yöntemler önceden belirlenen bir komşuluk arama çapı içerisinde kalan örnek noktalar ile tahminlerini yapar (Johnston ve ark., 2001).

4.5.1. Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW)

IDW yöntemi deterministik ve global veya yerel olarak uygulanabilen bir konumsal enterpolasyon yöntemidir. Kriging yöntemlerinin aksine bu yöntem ile yapılan tahminlerin varyansı bilinemez. Bu yöntemin esası mesafe ile benzerlik arasındaki ters orantı ilişkisine dayanır. IDW yöntemi ile bir konumun tahmini için, o konum etrafındaki örnek verilerin ağırlıklı ortalamalarından faydalanılır. Bu ağırlıklar tahmini yapılan konuma yakın olan noktalara daha yüksek, uzak olan noktalara ise daha düşük şekilde dağıtılır ve toplamları 1'e eşittir.

IDW yöntemi ile tahminde kullanılan örnek verilerin, tahmin konumuna etkisi, her örnek verinin tahmin noktasına olan mesafesine göre belirlenen ağırlıklarına

bağlıdır. Hesaplamalarda mesafe ile olan ters orantılı ağırlık ilişkisi güç parametresi ile belirli bir derecede tanımlanabilir.

IDW yönteminin matematiksel bağıntıları şu şekildedir (Johnston ve ark., 2001);

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i), \text{ ve} \quad (4.42)$$

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}}, \quad (4.43)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (4.44)$$

Burada d_{i0} tahmin konumu x_0 ile tahminde kullanılan her bir x_i konumu arasındaki mesafe, p ise güç parametresidir. Güç parametresi ile mesafenin ağırlığa etkisinin derecesi belirlenmiş olur. Güç parametresinin $p = 0$ olması durumunda mesafe ile ilişkili bir ağırlıklandırma yapılamaz ve p değerine 1 ve 1'den büyük değerler verilir. Bu parametrenin düşük değerleri için uzak mesafedeki örnek noktaları ile yakın noktalar arasındaki ağırlık değerleri birbirine yaklaşır. p değerinin yüksek değerleri için ise tahmin konumundan uzaktaki veriler için daha düşük ağırlıklar hesaplanır ve tahmin yakındaki örnek veriler ile daha benzer hale gelir. Formülasyonda güç parametresinin $p = 2$ olarak belirlenmesi ile yapılan tahmin ISD enterpolasyon yöntemi olarak bilinir ve lineer bir tahmincidir (Johnston ve ark., 2001; Lloyd, 2005; Şen, 2009; Gundogdu, 2017). Çapraz değerlendirme yöntemi ile IDW tahmininin RMSE değerleri hesaplanabilir.

4.5.2. Global polinom enterpolasyonu (GPI)

GPI yöntemi çalışma alanının tamamı için tanımlanan bir polinom fonksiyonu ile örnek noktalarının değerlerinden yumuşak bir yüzey elde eder. Her tahmin için örnek noktalarının tamamının kullanılması nedeniyle bu yöntem sonucunda elde edilen yüzey aşamalı olarak değişiklik gösterir ve kaba bir yüzey elde edilir. GPI yöntemi için tanımlanan farklı dereceden polinom denklemleri birbirinden farklı yüzeyler oluşturur. Birinci dereceden polinom denklemleri ile uygulanan GPI yöntemi ile doğrusal bir yüzey elde edilir. İkinci dereceden polinom denklemlerinin kullanılması ile bükülen bir yüzey elde edilebilir. Üçüncü dereceden polinom denklemleri ise kübik bir yüzey elde

edilir ve derece arttıkça doğrusal yüzeyler azalarak bükülmeler artar (Johnston ve ark., 2001).

GPI yöntemi için 2. dereceden bir polinom denklemi Şen (2009) tarafından şu şekilde verilmiştir;

$$z(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \quad (4.45)$$

burada;

$z(x, y)$: (x, y) noktası için tahmin değeridir,

a_i : mevcut verilerden tahmin edilecek model katsayılarıdır.

GPI yöntemi ile yapılan tahminlerin sonucu, tahminde kullanılan örnek noktasının bulunduğu konum için örnek noktasının gerçekte olan değeri ile aynı sonucu üretmeyebilir. Bu nedenle GPI yöntemi tam olmayan bir enterpolasyon yöntemidir. GPI yöntemi sonucunda elde edilen yüzey çalışma alanında trend etkisinin araştırılması için ve trend yüzeyi elde etmek için kullanılabilir. Bu yöntem sıklıkla trend yüzeyi analizi olarak da ifade edilir. Bu yöntem veri setinde yer alabilecek çok düşük ve çok yüksek olan aykırı değerlere karşı oldukça hassastır. Bu nedenle ilgilenilen çalışma alanı ve veri açısından yöntemin bu özelliği göz önüne alınmalıdır (Johnston ve ark., 2001).

4.5.3. Yerel polinom enterpolasyonu (LPI)

GPI yönteminin aksine LPI yöntemi çalışma alanının farklı konumları için farklı polinom denklemleri kullanır. Bu işlem belirlenen bir komşuluk arama çapı içerisinde kalan örnek noktaları ile gerçekleştirilir. Komşuluk arama çapı, yarıçapları belli olan bir daire veya elips şeklinde tanımlanabilir. Bu arama sınırı içerisinde kalan örnek noktaların en fazla kaç tanesi ile tahmin yapılabileceği gibi komşuluk özellikleri çeşitli şekilde önceden tanımlanabilir. Elde edilen her komşuluk arama çapı için oluşturulan polinom denklemleri ile bu komşuluk sınırının merkezinde kalan nokta için komşu noktalarının değerlerinden ve uzaklıklarından faydalanılarak ağırlıklandırma ile tahmin yapılır. Çalışma alanının tamamında bu komşuluk özellikleri uygulanarak tahmin yüzeyi elde edilir. Böylece enterpolasyon bölgeye özel bir özellik taşımış olur. LPI yöntemi için kullanılan polinom denklemi sıfırıncı, birinci, ikinci, üçüncü ve daha fazla dereceden olabilir. Önceden derecesi tanımlanan polinom denklemi her komşuluk arama çapının merkezi için bir tahminde bulunur ve bu merkezden geçen bir yüzey kesiti elde edilir.

4.5.4. Radyal bazlı fonksiyonlar (RBF)

Bu çalışmada RBF yöntemleri olarak beş farklı enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır, bunlar;

TPS, SWT, CRS, Multiquadric ve Inverse Multiquadric fonksiyonları yöntemleridir. Her bir yöntem farklı sonuçlar ve farklı şekilde yüzeyler üretir. Bu yöntemlerin temeli, bilinen her noktadan çalışma alanı boyunca, noktaların incelenen değerlerine göre esnek bir yüzey geçirmektir (Johnston ve ark., 2001; Childs, 2004). RBF yöntemleri ile kullanılan örnek noktalarının konumları için yapılan tahminler ile gerçek değerleri aynıdır yani tam enterpolasyon yöntemleridir (Johnston ve ark., 2001; Qu ve ark., 2017). Ancak örnek noktalarının konumları dışındaki noktalar için yapılan tahminler, gerçek değerlerin minimum değerinin altında, maksimum değerinin üstünde olabilir (Johnston ve ark., 2001; Anderson, 2002). CRS yöntemi, hızlı değişen varyasyonlar için gerçekte olduğundan daha yumuşak yüzeyler üretebilir. CRS yöntemine göre SWT yöntemi, daha düz ve pürüzlü bir yüzey oluşturur. TPS yöntemi, diğer yöntemler sonucunda ortaya çıkan aşırı değerlerin aksine yerel olarak bir yumuşatma ortalaması kullanarak daha pürüzsüz yüzeyler oluşturur (Lilly, 2016). Multiquadratic yöntem Ronald Hardy tarafından 1968 yılında topoğrafik haritalar oluşturmak üzere tasarlanmıştır (Chenoweth ve Sarra, 2009). Chenoweth ve Sarra (2009)'ya göre bu yöntem konumsal olarak dağınık şekilde yayılmış noktalar ile uygun sonuçlar üretmektedir. Inverse Multiquadratic fonksiyon veri değerlerine daha bağımlıdır.

RBF yöntemi ile her bir veri konumu için 'n' sayıda fonksiyon oluşturulur. Tahminci bu fonksiyonların lineer kombinasyonu olmak üzere Johnston ve ark. (2001) tarafından verilen bağıntılar şu şekildedir;

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \omega_i \phi(\|x_i - x_0\|) + \omega_{n+1}, \quad (4.46)$$

burada $\phi(r)$ radyal tabanlı fonksiyon olmak üzere, $r = \|x_i - x_0\|$ her tahmin noktası ' x_0 ' ile her veri noktasının ' x_i ' arasındaki öklid mesafesidir. $\{\omega_i : i = 1, 2, \dots, n + 1\}$ ise tahmin edilecek ağırlıklardır.

$w = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n)$ olmak üzere,

$$\begin{pmatrix} \Phi & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w \\ \omega_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (4.47)$$

burada ‘ Φ ’, i ’inci ve j ’inci veri çifti için $\phi(\|x_i - x_j\|)$ elementine sahip bir matristir, ‘1’ her biri için sütun vektörü ve ‘z’ veriyi içeren sütun vektörüdür. ‘ ϕ ’, $\phi(\|x_i - x_0\|)$ vektörünü içermek üzere tahmin fonksiyonu;

$$\hat{Z}(x_0) = w' \phi + \omega_{n+1} \quad (4.48)$$

ve ω_{n+1} , yanlılık (Bias) parametresidir.

CRS fonksiyonu denklemi (Johnston ve ark., 2001);

$$\varphi(r) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n (\sigma.r)^{2n}}{n!n} = \ln(\sigma.r/2)^2 + E_1(\sigma.r/2)^2 + C_E, \quad (4.49)$$

bu doğal logaritmada, ‘ E_1 ’ üssel integral fonksiyonu ve ‘ C_E ’ ‘Euler’ sabitidir (Abramowitz ve Stegun, 1965).

SWT fonksiyonu denklemi (Johnston ve ark., 2001);

$$\varphi(r) = \ln(\sigma.r/2) + K_0(\sigma.r) + C_E, \quad (4.50)$$

burada ‘ $K_0(x)$ ’ modifiye edilmiş Bessel fonksiyonudur (Abramowitz ve Stegun, 1965).

Multiquadratic fonksiyon denklemi (Johnston ve ark., 2001);

$$\varphi(r) = (r^2 + \sigma^2)^{1/2}, \quad (4.51)$$

Inverse Multiquadratic fonksiyonu denklemi (Johnston ve ark., 2001);

$$\varphi(r) = (r^2 + \sigma^2)^{-1/2}, \quad (4.52)$$

TPS Fonksiyonu denklemi (Johnston ve ark., 2001);

$$\varphi(r) = (\sigma.r)^2 \ln(\sigma.r), \quad (4.53)$$

burada ‘ σ ’ yumuşatma parametresidir (Johnston ve ark., 2001).

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

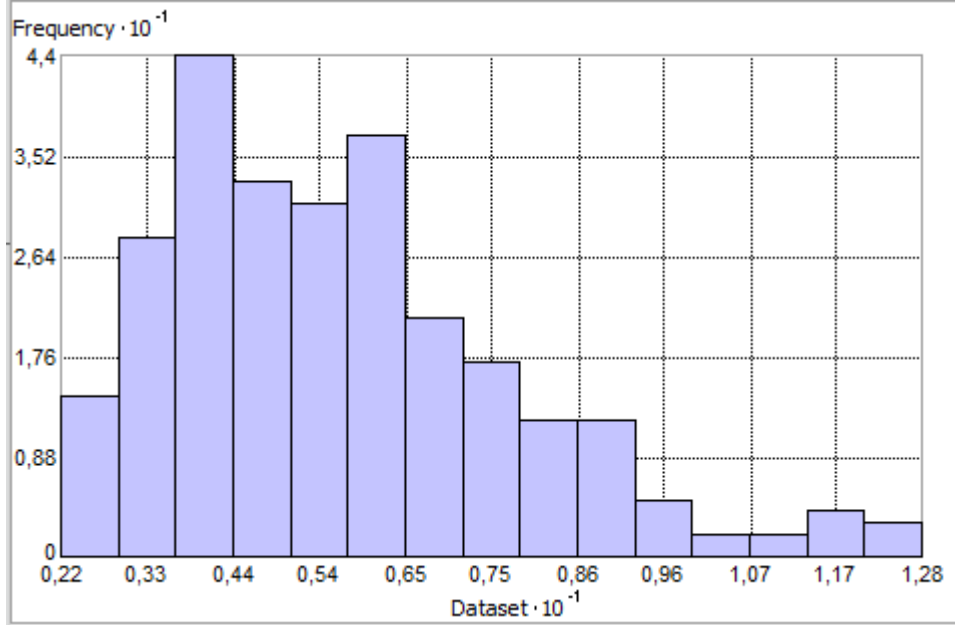
5.1. Veri Setinin İstatistiksel ve Konumsal Özelliklerinin İncelenmesi

Jeoistatistik analiz için ilk olarak veri seti içerisinde herhangi bir kaba hata bulunmadığı anlaşıldıktan sonra 265 meteoroloji istasyonundan elde edilen, her bir istasyona ait uzun yıllar ortalama aylık yağış değerlerinin konumlarına bakılmaksızın özet istatistikleri gözden geçirilmiştir. Bu aşama ile yağış miktarlarına ait minimum, maksimum, ortalama, medyan, birinci çeyrek, üçüncü çeyrek, standart sapma, çarpıklık katsayısı ve basıklık değerleri Çizelge 5.1. ile verilmiştir.

Çizelge 5.1. Verilerin özet istatistikleri

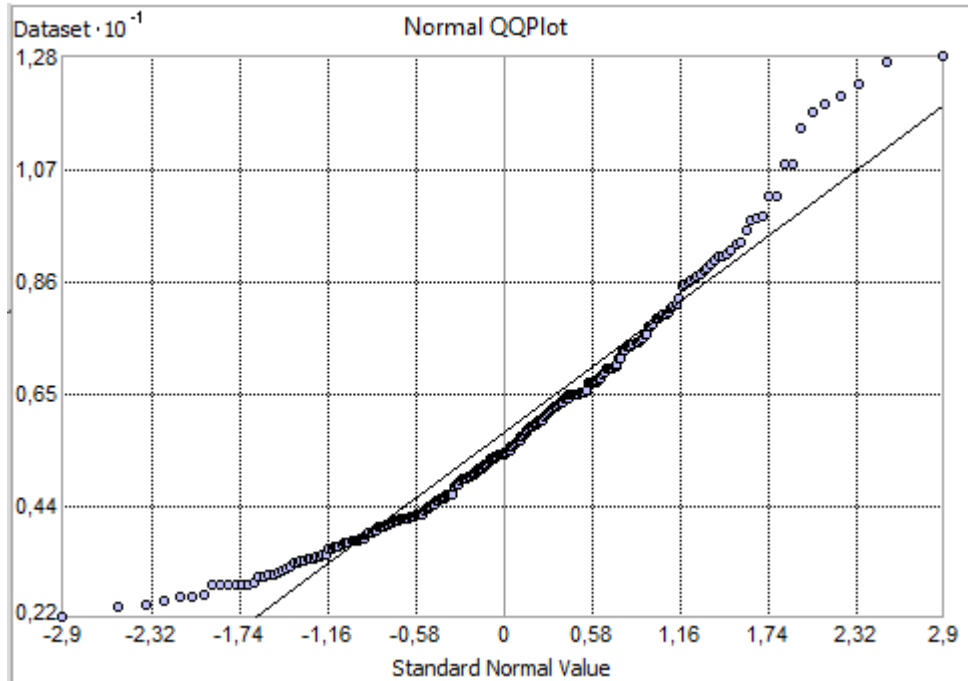
Minimum değer	2.24 cm/m ²
Maksimum değer	12.79 cm/m ²
Ortalama	5.69 cm/m ²
1. Çeyrek değeri	4.07 cm/m ²
3. Çeyrek değeri	6.85 cm/m ²
Medyan	5.30 cm/m ²
Standart sapma	2.13 cm/m ²
Çarpıklık Katsayısı	0.92
Basıklık Katsayısı	3.72

Veri değerlerinin veri seti içerisindeki dağılımının daha iyi anlaşılması için verilerin histogram grafiği incelenmiştir. Verilere ait histogram grafiği 15 sınıf ile oluşturularak, Şekil 5.1. ile verilmiştir.



Şekil 5.1. Veri setine ait histogram grafiği

Veri dağılımının incelenmesi için bir diğer grafik araç olarak QQ-Plot grafiği incelenmiştir. Bu grafik ile verilerin normal dağılım karşısında, istasyon değerlerinin nasıl yer aldıkları anlaşılmaktadır. Veri setine ait QQ-Plot grafiği Şekil 5.2. ile verilmiştir.



Şekil 5.2. QQ-Plot grafiği

Elde edilen özet istatistikler ve bir önceki bölümde konu edilenlerin ışığında, çarpıklık katsayısının $k_s = 0.92$ değerini alması veri dağılımının çarpık olduğunu

gösterir. Basıklık katsayısının $k_k = 3.72$ ve $k_k > 3$ olması verinin leptokurtik basıklık gösterdiği anlamına gelir. Normal dağılımlı bir veri seti için basıklık katsayısının 3 olması gerektiğinden, basıklık katsayısına bakılarak verinin normal dağılımlı olmadığı anlaşılır. Çeyrekler açıklığı değeri ise $I_q = Q_3(6.85) - Q_1(4.07) = 2.78$ dm olmak üzere, çeyrekler açıklığı değeri, medyan ve ortalamanın birbirinden farklı değerler alması ayrıca standart sapma değeri veri setinin çarpık dağılımlı olduğunu göstermektedir.

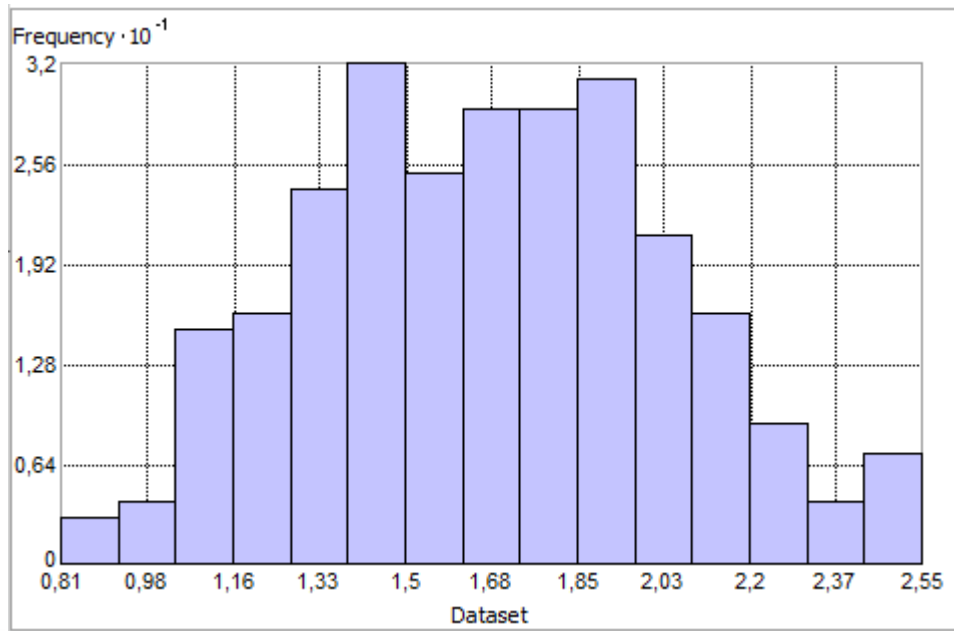
Histogram grafiği, ortalamanın altında daha çok veri olduğunu göstermektedir. Uzun sağ kuyruk şekli gösteren histogram ile verilerin ortalama değerinin altında daha fazla yoğunlaştığı ve pozitif çarpıklık görüldüğü belirlenmiştir. Şekil 5.2' de görüldüğü gibi, QQ-Plot grafiğinin normal doğrusu karşısında veriler çarpık dağılım göstermektedir. Yine bu grafik ile minimum ve maksimum değere yakın örneklerin aykırı değer özelliği taşıdığı anlaşılmaktadır.

Jeostatistik analiz için mevcut veri, çarpık dağılım özelliği ile doğrudan kullanıldığı gibi, uygulamalar için ayrıca logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış veri seti ile de tahminler yapılmıştır. Verilere logaritmik dönüşüm uygulanmasının sonucunda ortaya çıkan özet istatistikler Çizelge 5.2 ile verilmiştir.

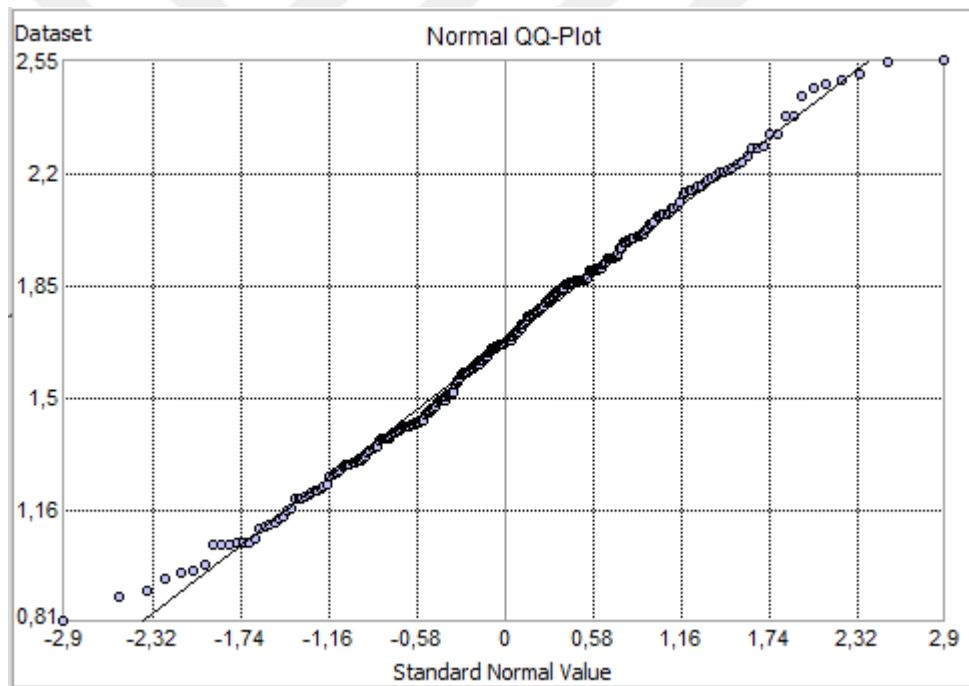
Çizelge 5.2. Logaritmik dönüşümü yapılmış verilerin özet istatistikleri

Minimum değer	0.81 cm/m ²
Maksimum değer	2.55 cm/m ²
Ortalama	1.67 cm/m ²
1. Çeyrek değeri	1.40 cm/m ²
3. Çeyrek değeri	1.92 cm/m ²
Medyan	1.67 cm/m ²
Standart sapma	2.13 cm/m ²
Çarpıklık Katsayısı	0.08
Basıklık Katsayısı	2.49

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış veri setinin histogram ve QQ-Plot grafiği sırasıyla Şekil 5.3. ve Şekil 5.4. ile verilmiştir.

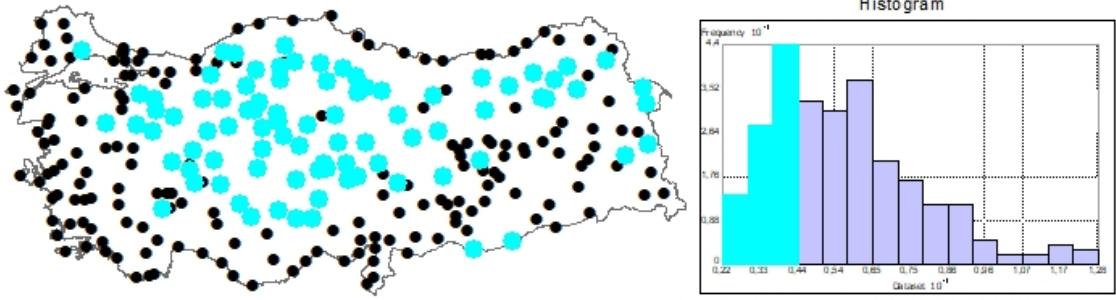


Şekil 5.3. Logaritmik dönüşüm uygulanmış veri setine ait histogram grafiği

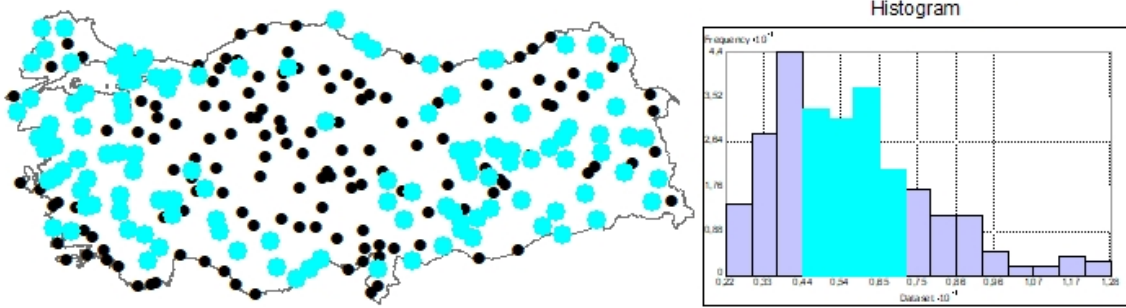


Şekil 5.4. Logaritmik dönüşümlü verilerin QQ-Plot grafiği

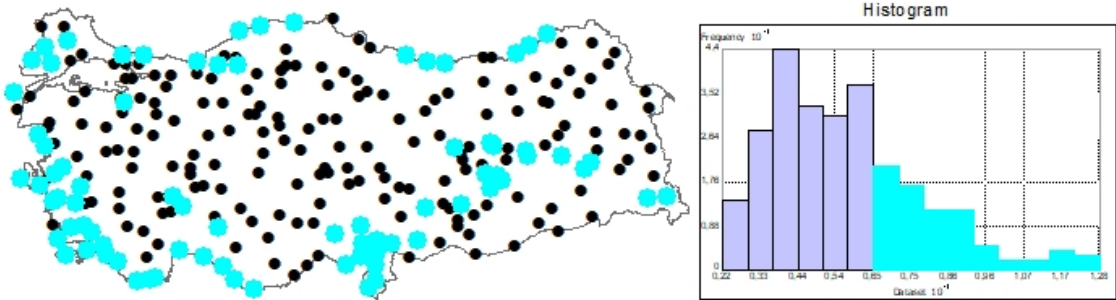
Verilerin konumsal dağılım özelliklerinin incelenmesi açısından histogram grafiğinde yer alan sınıfların çalışma alanı içerisindeki konumları incelenmiştir. Şekil 5.1’ de yer alan histogram grafiği üzerindeki sınıflar seçilerek, ESDA yaklaşımıyla veri sınıflarının konumu belirlenmiştir. Şekil 5.5. ile düşük yağış değerlerine sahip istasyonların konumları, Şekil 5.6. ile ortalama ve ortalamaya yakın sınıfların konumları ayrıca Şekil 5.7. ile ise yüksek yağış değerlerine sahip istasyonların konumları mavi renk ile gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Düşük yağış değerli istasyonların konumları

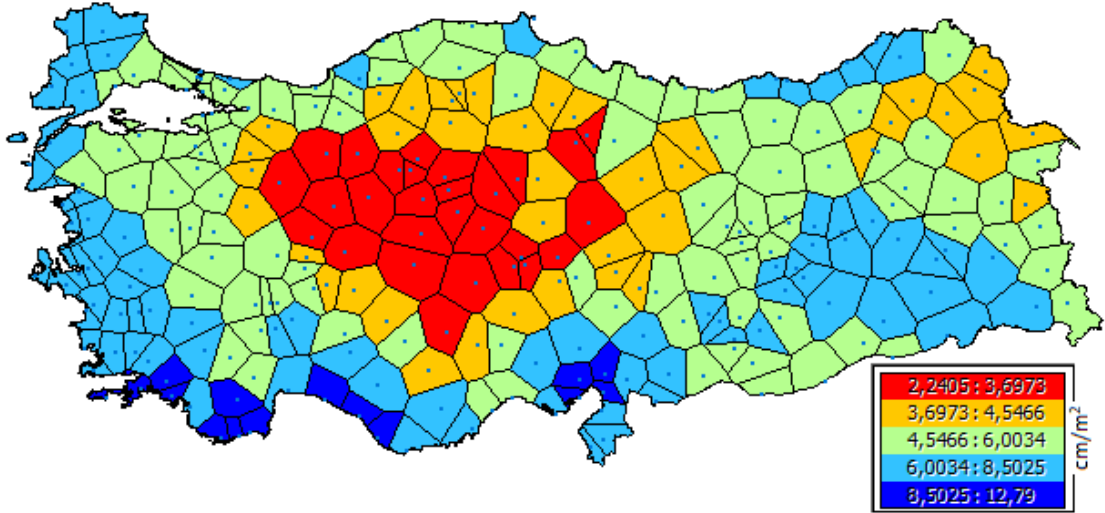


Şekil 5.6. Ortalama ve ortalamaya yakın yağış değerli istasyonların konumları

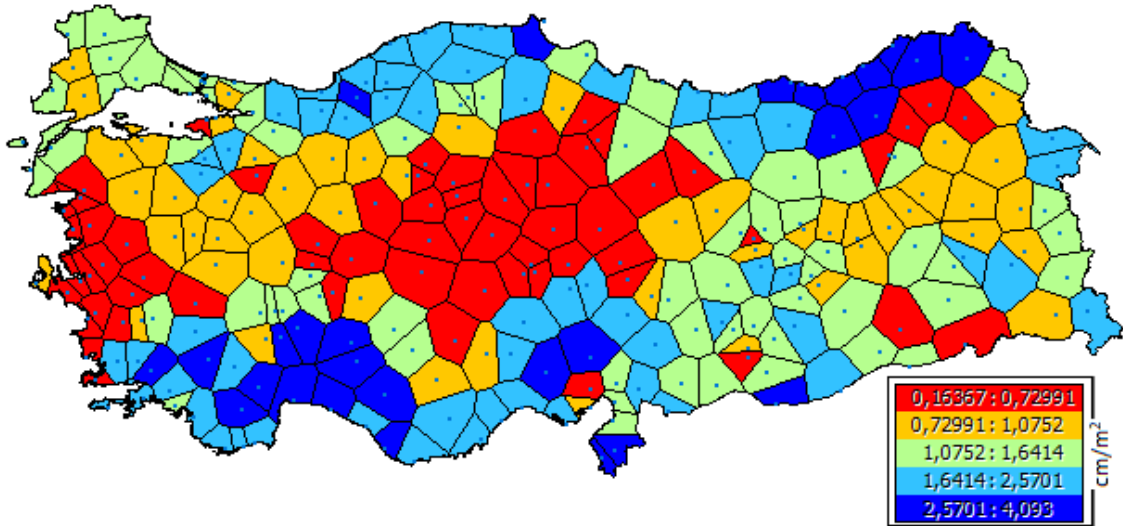


Şekil 5.7. Yüksek yağış değerli istasyonların konumları

İstasyonların konumları ile birlikte yağış değerlerinin çalışma alanı üzerinde nasıl bir dağılım gösterdiğinin, her örnek noktasının etki alanı ve sürekliliğinin ve belirli bir yönde veya yönlerde verilerin birbirleri arasında nasıl bir ilişki taşıdığına anlaşılması için verilere ait Voronoi diyagramları incelenmiştir. Ortalama yağış değerine göre veri dağılımını gösteren Voronoi diyagramı Şekil 5.8. ile verilmiştir. Verilerin standart sapma değerlerinin dağılımını gösteren Voronoi diyagramı ise Şekil 5.9 ile verilmiştir.



Şekil 5.8. Verilere ait değerlerin ortalama Voronoi diyagramı



Şekil 5.9. Verilere ait değerlerin standart sapma Voronoi diyagramı

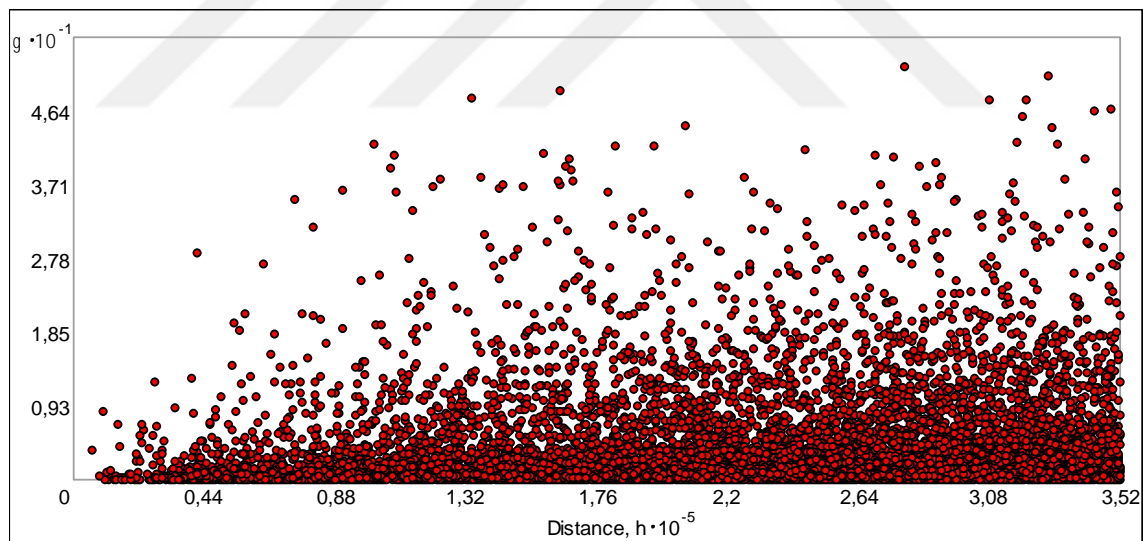
Histogram grafiği ile harita üzerinde yapılan gösterimler ve ortalama Voronoi diyagramına göre yüksek yağış değerli örnek noktaları çalışma alanının dış kesimlerine ve kıyı kesimlere doğru daha çok görülmektedir. İç kesimlerde ise ortalamanın altında kalan minimum değere yakın düşük değerli yağış verileri görülmektedir. Ortalama ve ortalamaya yakın yağış değerli istasyonların ise çalışma alanının dış ve iç kesimi arasında daha yoğun bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Standart sapma Voronoi diyagramına göre ise Doğu Karadeniz ve Akdeniz Bölgesi'nde yüksek standart sapma değerleri görülmüştür. Bu bölgelerde yer alan yüksek yağış değerli örnek noktaları veri seti içerisinde aykırı değer özelliği göstermektedir. Ancak bu değerler buldukları bölgenin gerçekliğini temsil etmektedirler. Bu bakımdan istatistiksel olarak aykırı değer

denilebilecek bu noktaların konumlarının iyi anlaşılması jeoistatistik analiz için önem arz etmektedir.

5.2. Mekânsal Bağımlılığın Araştırılması

Jeostatistik analizin etkili bir yöntem olarak kullanılması için temel olarak veriler arasında konumsal otokorelasyon gözlemlenmesi gerekir. Konumsal otokorelasyonun araştırılması için deneysel yarı variogram fonksiyonu grafikleri incelenmiştir. Ayrıca daha sonra tahminler için dikkat edilecek hususlardan birisi de anizotropi veya izotropi durumunun belirlenmesidir. Veri setinin anizotropik veya izotropik davranış gösterdiğini anlamak için ise yönelimsel yarı variogramlar ile kuzey-güney, batı-doğu, kuzeydoğu-güneybatı ve kuzeybatı-güneydoğu yönlerinde görülen yarı varyans değerleri ve etki mesafeleri incelenmiştir.

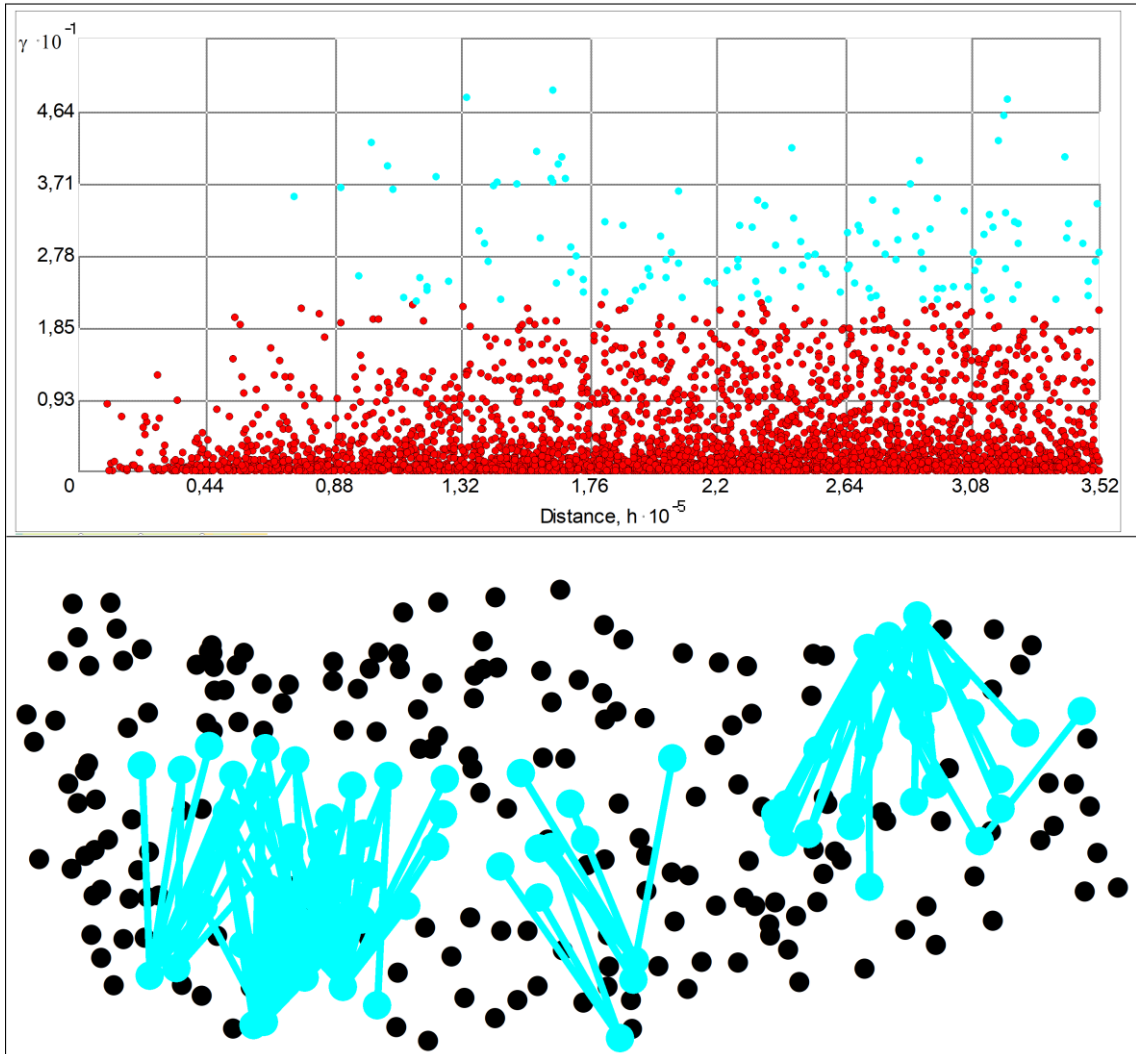
Veriler arasındaki konumsal otokorelasyonun gösterildiği yönsüz, deneysel yarı variogram grafiği Şekil 5.10. ile verilmiştir.



Şekil 5.10. Yönsüz, deneysel yarı variogram grafiği

Veriler arasında konumsal otokorelasyon bulunduğu, birbirine yakın olan noktalar arasındaki yarı varyans değerlerinin düşük olması beklenir. Şekil 5.10 ile verilen grafikte yer alan her bir nokta gözlem çiftleri arasındaki varyans değerlerini temsil etmektedir. Grafiğin yatay eksenini ile artan mesafe tanımlanmaktadır. Bu durumda artan mesafe ile artan yarı varyans değerleri veriler arasında konumsal bir otokorelasyon bulunduğunu göstermektedir. Aynı zamanda birbirine yakın veya uzak

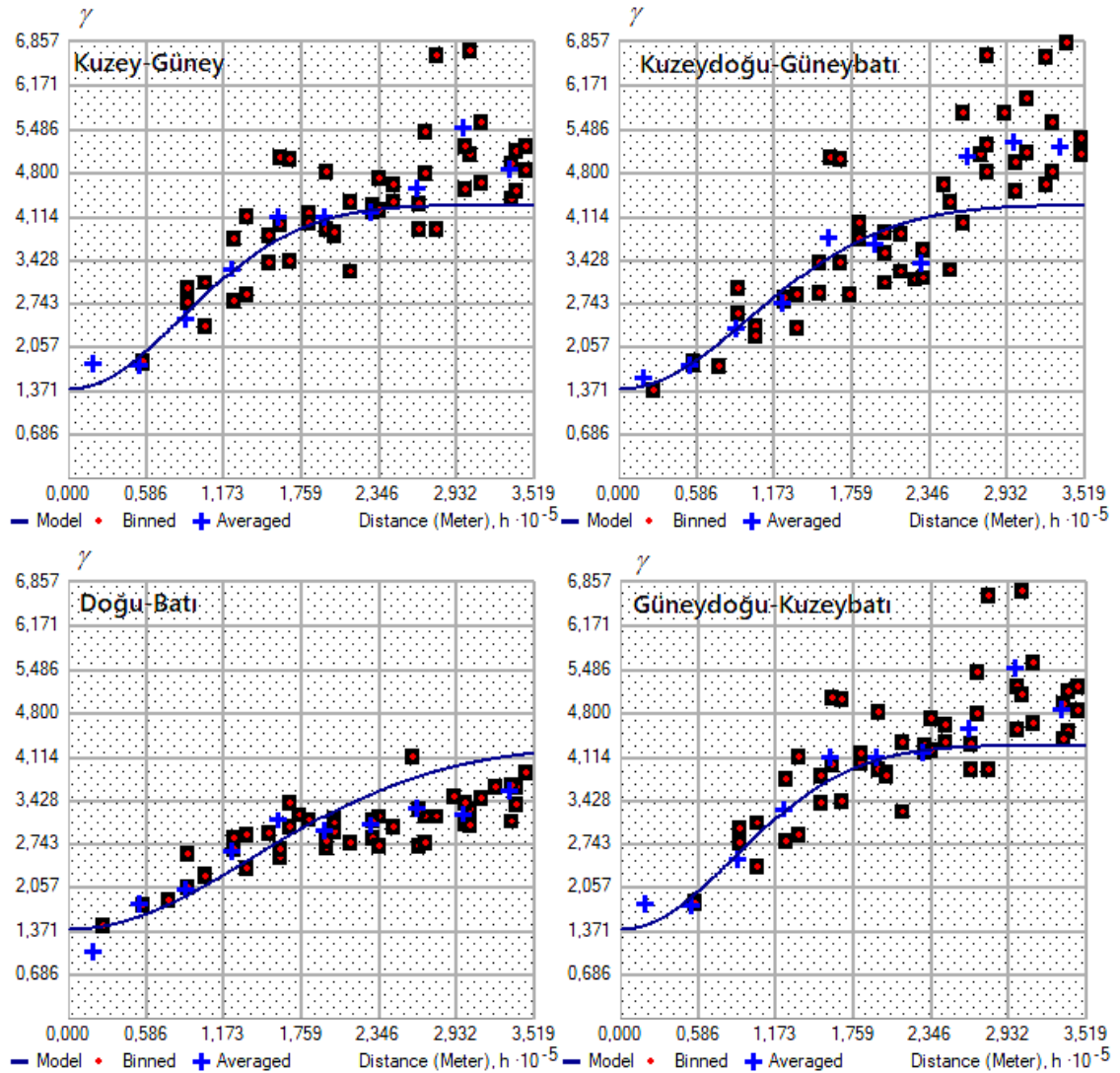
mesafede olan ancak yarı varyans değerlerinin diğer nokta çiftlerine göre çok daha yüksek olduğu görülen nokta çiftlerinin konumları Şekil 5.11. ile verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre yarı varyans değerlerinin kıyı ile iç kesim arasında karşılaştırılan örnek nokta çiftleri arasında çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun temel nedeni kıyı bölgelerde iç kesimlere göre daha yüksek yağış değerlerinin bulunmasına rağmen çok kısa mesafede meydana gelen, sıra dağlar gibi çeşitli etkenler ile ortaya çıkan yağış değişiklikleridir. Doğu Karadeniz ve Akdeniz Bölgesi'nde bulunan örnek noktaları ile iç kesimlerde yer alan örnek noktaları arasındaki yarı varyans değerlerinin deneysel yarı variogram grafiğinde yer alan en yüksek yarı varyans değerli karşılaştırma çiftleri olduğu görülmektedir.



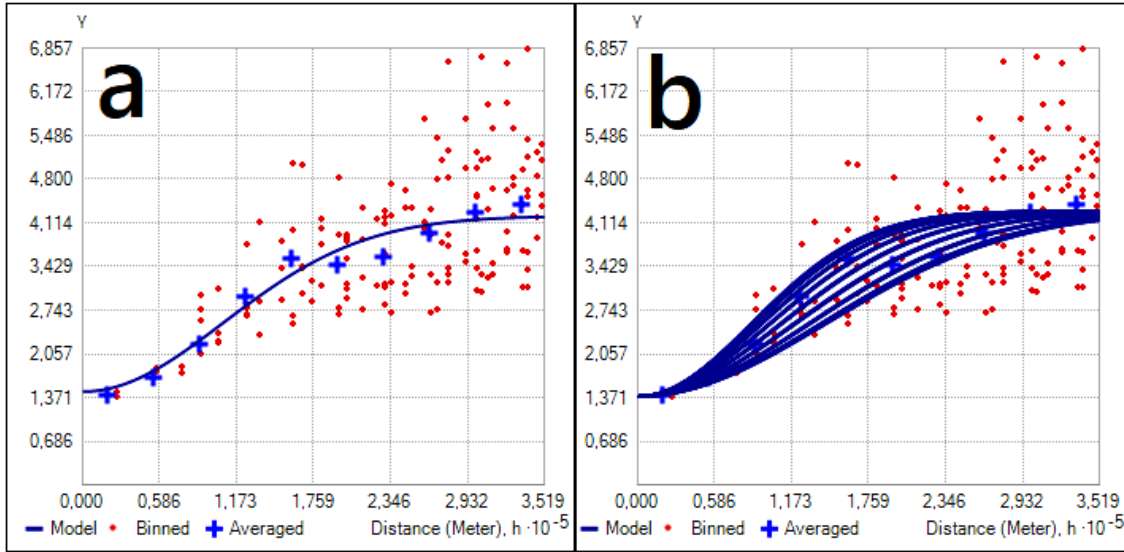
Şekil 5.11. Yüksek yarı varyans değerli nokta çiftlerinin konumları

5.3. Yönelimsel Yarı Variogram ile Anizotropinin Araştırılması

Yarı varyans değerlerinin bir yönden diğerine ani değişimlerinin görülmesi durumunda tahminler için anizotropik yarı variogram modelleri kullanılır. Bu bakımdan yöne bağlı etkiler yönelimsel yarı variogram grafikleri ile karşılaştırılmıştır. Yönelimsel yarı variogramlar ile 4 farklı yön için ortaya çıkan varyasyonlar, Gaussian yarı variogram modeli kullanılarak Şekil 5.12. ile gösterilmiştir. Şekil 5.13. ile ise yönsüz Gaussian yarı variogram modeli kullanılarak izotropik ve anizotropik yarı variogram model grafikleri arasındaki fark gösterilmiştir. Elde edilen yarı variogram modeli grafiklerinden yola çıkarak, çalışma alanında yer alan örnek noktalarının konumları ve mevcut yağış değerleri anizotropik bir davranış göstermiştir. Böyle bir durumda teorik olarak, tahminler için anizotropik yarı variogram modellerinin kullanılması uygun olacaktır.



Şekil 5.12. Dört farklı yön için hesaplanan yönelimsel yarı variogram modelleri



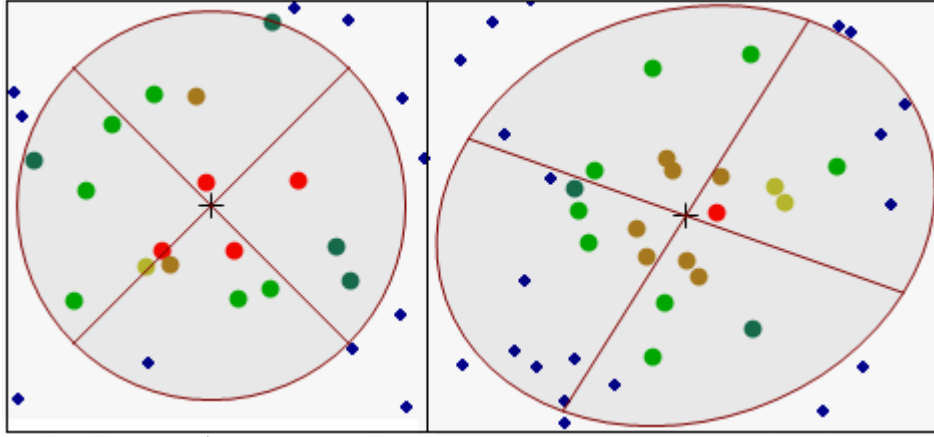
Şekil 5.13. İzotropik ve anizotropik yarı variogram modelleri, a) izotropik yarı variogram modeli, b) anizotropik yarı variogram modeli

5.4. Komşuluk Arama Özelliklerinin Belirlenmesi

Yağış verilerinin konumsal bağımlılıklarının yarı variogram modelleri ile belirlenmesinin ardından tahminler için komşuluk arama özellikleri belirlenmiştir. Kriging yöntemleri ile bir noktanın tahmini yapılırken, Webster ve Oliver (2007)'in tavsiyeleri ve daha önceden elde edilen deneysel yaklaşım tecrübelerine göre faydalanılacak komşu nokta sayısı en fazla 20, en az 8 komşu verisi olacak şekilde belirlenmiştir. Ayrıca komşuluk arama alanı, yarıçapları yatay düzleme göre 45 derece açı oluşturacak şekilde 4 sektör ile biçimlendirilerek her sektörde en az 2 en fazla 5 komşu verisi bulunması sağlanmıştır. İzotropik uygulamalar için komşuluk arama alanı, bir daire şeklinde belirlenmiştir. Bu daire şekilli arama alanının çapı ise variogram modellerinin etki mesafeleri olarak belirlenmiştir. Böylece farklı yöntem ve modeller için, sadece konumsal bağımlılığın bulunduğu etki mesafesi boyunca, farklı komşuluk arama özellikleri ortaya çıkmıştır.

Anizotropik uygulamalar için ise variogram modellerinden elde edilen yöne bağlı konumsal bağımlılık bilgileri kullanılarak, farklı yönler için ortaya çıkardığı en geniş etki mesafesi ve en kısa etki mesafesi bilgileri kullanılarak elips şekilli komşuluk arama alanı belirlenmiştir. Ayrıca anizotropik komşuluk arama alanları, farklı yönler için görülen varyans değerlerine göre bir açığa sahiptir. Komşuluk arama özellikleri, kullanılan yarı variogram modeli ile belirlendiğinden farklı uygulamalar için farklı

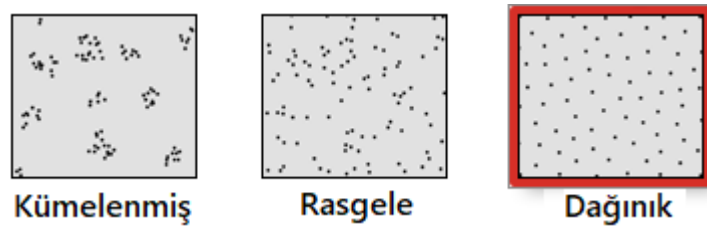
özelliği arama çapları oluşmaktadır. Örnek olarak izotropik ve anizotropik komşuluk arama özellikleri Şekil 5.14. ile verilmiştir.



Şekil 5.14. İzotropik (solda) ve anizotropik (sağda) komşuluk arama alanı

5.5. Uygun Adım Aralığı ve Adım Sayısının Belirlenmesi

Tahminleri doğrudan etkileyen yarı variogram modellerinin en uygun şekilde hesaplanması için adım aralığı ve adım sayısının ne olması gerektiği araştırılmıştır. Verilerin çalışma alanı içerisindeki dağılım şeklinin bilinmesi, uygun adım aralığının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Verilerin çalışma alanı üzerinde kümelenme ve rastgelelik özelliği göstermediği, Şekil 5.15.'de yer alan dağınık veri konumları özelliği gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 5.15. Verilerin konumsal dağılım şekilleri, uygulama verilerinin konumsal dağılım şekli kırmızı çerçeve ile belirtilen dağınık yapı özelliği göstermektedir

Jeostatistik analiz için genelde grid şeklinde tasarlanmış örnek veriler kullanıldığından adım aralığının büyüklüğü için en yakın iki örnek arasındaki mesafe kullanılmaktadır. Dağınık olarak dağılmış veriler için ise birbirine en yakın örnek nokta çifti arasındaki uzaklık ve çeşitli adım sayıları denenmiştir. Buna ek olarak verilerin kümelenme özelliği göstermediğinden emin olduktan sonra, Johnston ve ark. (2001) dağınık veya rastgele olarak dağılmış örnek veriler için, adım aralığının örnekler

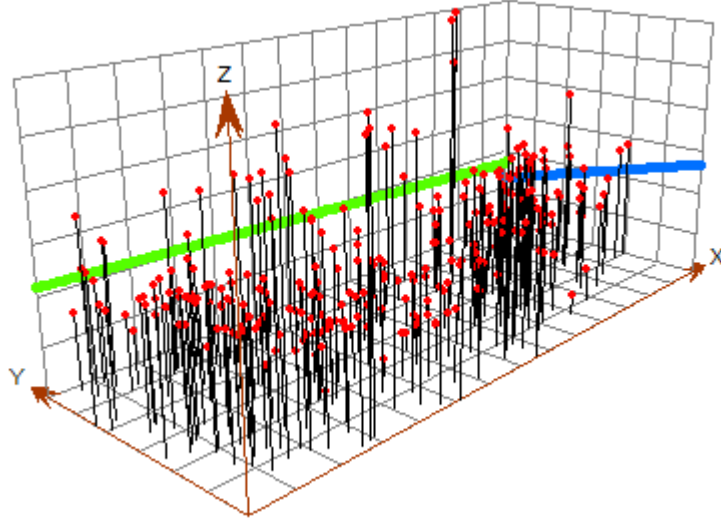
arasındaki ortalama mesafe olarak belirlenmesinin daha uygun sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir. En yakın örnek çifti arasındaki mesafe ve örnekler arasındaki ortalama mesafe ile modellenen yarı variogramlar ile kriging tahminleri yapılarak en uygun adım aralığının çapraz değerlendirme tekniği ile ortalama mesafe olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanının genişliği ve yönsel özellikleri, yeterli sayıda örnek çiftinin karşılaştırılması ve deneysel hesaplamalar incelenerek, adım sayısı 10 olarak belirlenmiştir.

5.6. Durağanlığın Araştırılması

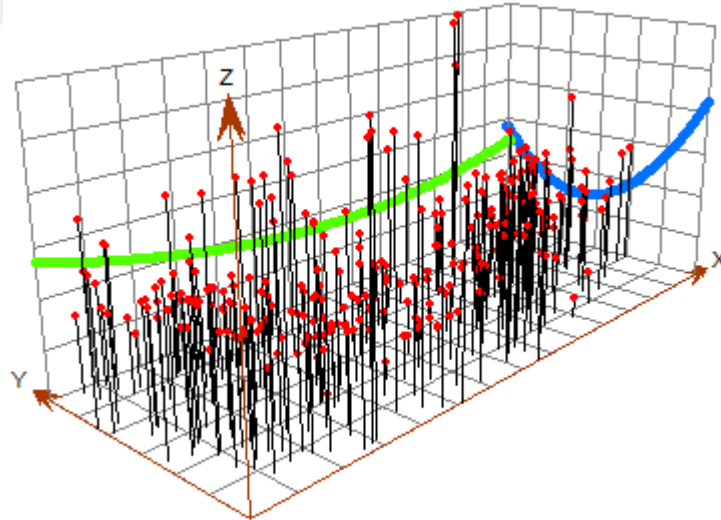
Jeoistatistik analizin temel varsayımı olan durağanlık, ikinci dereceden durağanlık veya içsel durağanlık varsayımının sağlandığını belirlemek için çalışma alanında yer alan veriler arasında belirli bir trend etkisinin görülmemesi gerekir. Bir veya daha çok etki nedeniyle, örnek veri değerlerinin belirli bir yönde ve örnekler arası mesafeden bağımsız olarak benzer değişiklikler göstermesi durumunda tahminleri etkileyen bir trend vardır denilir. Bu etkinin belirlenmesi, jeoistatistik analiz tahminlerinde örnek verilerinin birbirleri arasındaki ilişki gerçekte oldukları konum özelliğinden bağımsız ve ancak aralarındaki mesafe ile ilişkili olduğu varsayımından dolayı çok önemlidir. Çalışma alanında kıyı kesimlerden iç kesimlere doğru yağış değerlerinin azaldığının görülmesi aslında örnek verilerinin aralarındaki mesafe nedeniyle değil çalışma alanının coğrafi özelliklerinden dolayı meydana gelen değişiklikler olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum trend etkisi olarak düşünülebilir. Örnek veri noktalarının yağış değerleri ve konumlarına göre trend etkisinin varlığı, farklı dereceden polinom denklemleri yardımıyla trend yüzeyi oluşturularak incelenebilmektedir.

Trend etkisinin araştırılması için ArcGIS yazılımı ile trend analizi grafikleri üretilmiştir. Bu grafik gösterim örnek noktalarının konumlarını yatay ekseninde gösterip, bu noktalara ait yağış değerlerini yukarı ekseninde bir yükseklik verisi gibi görselleştirerek üç boyutlu bir perspektif sağlamaktadır. Ayrıca trend analizi grafiği üzerinde birinci, ikinci ve üçüncü dereceden polinom denklemleri ile elde edilen trend eğrileri gösterilmektedir. Trend eğrileri yatay düzleme dik bir şekilde kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde ayrı olarak gösterilerek trend etkisinin yönünün anlaşılması sağlanmaktadır. Şekil 5.16., Şekil 5.17. ve Şekil 5.18. sırasıyla birinci ikinci ve üçüncü dereceden polinom denklemleri ile elde edilen trend eğrilerini kuzey-güney Yönünde

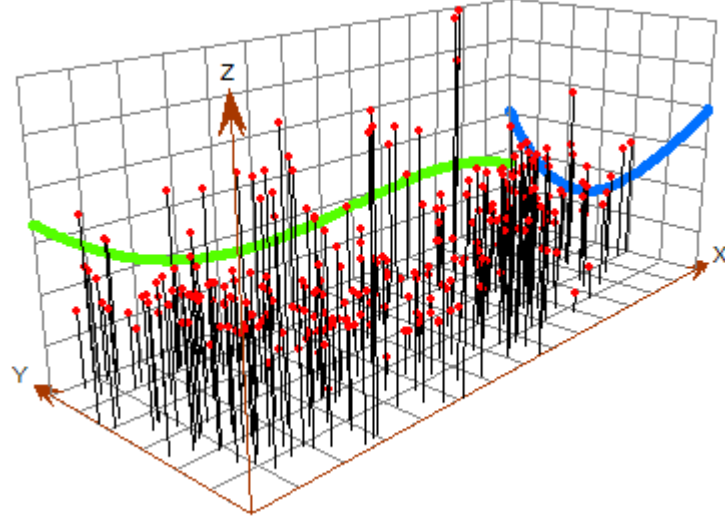
mavi renkli eğri ve Doğu-Batı yönünde ise yeşil renkli eğri ile göstermektedir. Yine bu grafiklerde ile kırmızı renk ile verilen noktalar, verilerin çalışma alanındaki konumlarını ve siyah renkli çubuklar ise örnek verilerine ait yağış değerini yükseklik değeri cinsinden göstermektedir.



Şekil 5.16. Birinci dereceden polinomlar ile elde edilen trend analizi grafiği



Şekil 5.17. İkinci dereceden polinomlar ile elde edilen trend analizi grafiği



Şekil 5.18. Üçüncü dereceden polinomlar ile elde edilen trend analizi grafiği

Şekil 5.17. ve Şekil 5.18. ile gösterilen trend analizi grafiklerine göre çalışma alanı ve veri değerleri arasında bir trend etkisi bulunduğu anlaşılmaktadır. İkinci ve üçüncü dereceden polinom denklemleri ile elde edilen trend eğrileri, çalışma alanının dış kesimlerinde görülen yüksek yağış değerlerinin iç kesimlere doğru azaldıktan sonra tekrar dış kesimlere doğru arttığını göstermektedir. Bu durum kıyı ve karasal iklimden kaynaklanan bir durumdur ve jeostatistik analizin durağanlık koşulunu bozmaktadır. Trend etkisinin görüldüğü durumlarda trend etkisi kaldırılarak tahmin yapılır ve elde edilen tahmin sonuçlarına sonradan bu etki tekrardan ilave edilir. Ancak Johnston ve ark. (2001)'a göre trend etkisinin kaldırılması ile tahmin hassasiyeti azalır ve bu nedenle trend etkisinin kaldırılması için önemli bulgular bulunmadıkça trend etkisi kaldırılmamalıdır. Ayrıca trend etkisi kaldırılacak ise kaldırılmak üzere hesaplanan trend yüzeyi, düşük dereceden polinomlar ile olabildiğince basit tutulmalıdır. Bu bilgilere göre tahminler hem trend etkisi ile birlikte hem de trend etkisi kaldırılarak yapılmıştır. Trend etkinin kaldırılması için, çalışma alanındaki trend etkisini en iyi temsil etmesi ve basit bir yüzey oluşturması açısından 2. dereceden polinom denklemleri ile elde edilen trend yüzeyi tercih edilmiştir.

5.7. Kriging Metotlarından Elde Edilen Tahmin Bulguları

Farklı uygulamalar ile elde edilen tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları incelenerek en uygun kriging yöntemi ve en uygun uygulama şekli araştırılmıştır. Çapraz değerlendirme bulgularından RMSE değerinin düşük olması, RMSE ve ASE değerinin birbirine yakın olması ayrıca RMSSE değerinin de 1'e yakın olması

uygun tahmin yöntemini belirleme kriterleri olarak düşünülmüştür. Bunların dışında tahminlere ait ME ve MSE değerleri de verilmiştir.

5.7.1. Ordinary kriging metodu ile elde edilen bulgular

OK metodunun kullanımı ile her uygulama sonucunda yapılan tahminlerin çapraz değerlendirme bulguları elde edilerek incelenmiştir. Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-1 sonucunda ortaya çıkan OK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.3. ile verilmiştir.

Çizelge 5.3. Uygulama-1 için gerçekleştirilen OK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-1 OK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
OK-01	Üssel	0.004736	1.343846	-0.0014	0.946318	1.433434
OK-02	Gaussian	-0.01269	1.357161	-0.0077	0.991604	1.363854
OK-03	Küresel	0.002609	1.347385	0.000293	0.974669	1.382389
OK-04	Stable	-0.00143	1.338366	-0.00307	0.995873	1.347144

Çizelge 5.3.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre Uygulama-1 için en uygun OK yöntemi en düşük RMSE değerine sahip olan ve RMSSE değeri 1'e en yakın olan, OK-04 yöntemi olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-2 sonucunda ortaya çıkan OK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.4. ile verilmiştir.

Çizelge 5.4. Uygulama-2 için gerçekleştirilen OK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-2 OK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
OK-05	Üssel	0.008868	1.344835	0.006726	0.991734	1.461361
OK-06	Gaussian	-0.0207	1.365673	0.002946	1.009042	1.378904
OK-07	Küresel	-0.0085	1.344467	0.006775	1.017877	1.379776
OK-08	Stable	-0.01628	1.345896	-0.00069	1.025125	1.363596

Çizelge 5.4.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre Uygulama-2 için, OK-06 yöntemi en yüksek RMSE değerine sahip olmasına rağmen RMSE değeri ile

ASE değeri birbirine en yakın olan yöntemdir. RMSE değeri ile ASE değerinin birbirine yakın olması yöntemin uygunluğunu ve yansızlığı hakkında bilgi verir. Ayrıca RMSSE değeri ise 1'e en yakın olan yöntemdir. Böylece Uygulama-2 için en uygun OK yöntemi OK-06 olarak belirlenmiştir.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-3 sonucunda ortaya çıkan OK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.5. ile verilmiştir.

Çizelge 5.5. Uygulama-3 için gerçekleştirilen OK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-3 OK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
OK-09	Üssel	0.017436	1.322286	0.003418	0.951366	1.416742
OK-10	Gaussian	-0.00856	1.381632	-0.00777	1.040906	1.325534
OK-11	Küresel	0.011186	1.328109	0.002574	1.011537	1.321787
OK-12	Stable	-0.00856	1.381632	-0.00777	1.040906	1.325534

Çizelge 5.5.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, OK-11 yöntemi en düşük RMSE değerine sahip ikinci yöntemdir. Ayrıca RMSE değeri ile ASE değeri birbirine en yakın olan yöntemdir. RMSSE değerinin de 1'e en yakın olduğu yöntem olan OK-11 yöntemi Uygulama-3 için en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-4 sonucunda ortaya çıkan OK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.6. ile verilmiştir.

Çizelge 5.6. Uygulama-4 için gerçekleştirilen OK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-4 OK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
OK-13	Üssel	0.024815	1.322497	0.008908	1.003698	1.434627
OK-14	Gaussian	-0.01537	1.373778	-0.00821	1.051528	1.324376
OK-15	Küresel	0.000389	1.326097	-0.00123	1.042465	1.341052
OK-16	Stable	-0.01537	1.373778	-0.00821	1.051528	1.324376

Çizelge 5.6.' da verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, OK-15 yöntemi en düşük RMSE değerine sahip ikinci yöntemdir ancak RMSE değeri ile ASE değeri

birbirine en yakın olan yöntemdir. ME ile MSE değerlerinin de 0'a en yakın olduğu OK-15 yöntemi Uygulama-4 için en uygun OK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-5 sonucunda ortaya çıkan OK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.7. ile verilmiştir.

Çizelge 5.7. Uygulama-5 için gerçekleştirilen OK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-5 OK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
OK-17	Üssel	0.021186	1.378149	0.008764	0.985174	1.396219
OK-18	Gaussian	0.013571	1.352298	0.00537	1.005853	1.342593
OK-19	Küresel	0.016587	1.349102	0.006572	0.998316	1.349679
OK-20	Stable	0.013571	1.352298	0.00537	1.005853	1.342593

Çizelge 5.7.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, en düşük RMSE değeri, 1'e en yakın RMSSE değeri ve en yakın RMSE ve ASE değerine sahip olan OK-19 yöntemi Uygulama-5 için en uygun OK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-6 sonucunda ortaya çıkan OK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.8. ile verilmiştir.

Çizelge 5.8. Uygulama-6 için gerçekleştirilen OK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-6 OK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
OK-21	Üssel	0.011632	1.382229	0.005666	1.007261	1.427477
OK-22	Gaussian	0.001026	1.362519	-0.00528	1.027173	1.377795
OK-23	Küresel	0.00594	1.360781	-0.00136	1.023804	1.387623
OK-24	Stable	0.001026	1.362519	-0.00528	1.027173	1.377795

Çizelge 5.8.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, en düşük ikinci RMSE değerine sahip olan OK-22 ve OK-24 yöntemleri tamamen aynı bulguları üretmiştir. RMSE ve ASE farkının en az olduğu ve en düşük ME değerine sahip olan bu yöntemler Uygulama-6 için en uygun OK yöntemleri olarak belirlenmiştir.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-7 sonucunda ortaya çıkan OK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.9. ile verilmiştir.

Çizelge 5.9. Uygulama-7 için gerçekleştirilen OK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-7 OK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
OK-25	Üssel	0.02384	1.368866	0.010654	0.977585	1.398516
OK-26	Gaussian	0.016227	1.337836	0.007092	0.99709	1.340046
OK-27	Küresel	0.017037	1.336544	0.006703	0.991249	1.347901
OK-28	Stable	0.016227	1.337836	0.007092	0.99709	1.340046

Çizelge 5.9.' da verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, en düşük ikinci RMSE değerine sahip olan OK-26 ve OK-28 yöntemleri tamamen aynı bulguları üretmiştir. RMSE ve ASE farkının en az olduğu, en düşük ME değerine sahip olan ve RMSSE değeri 1'e en yakın olan bu yöntemler Uygulama-7 için en uygun OK yöntemleri olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-8 sonucunda ortaya çıkan OK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.10. ile verilmiştir.

Çizelge 5.10. Uygulama-8 için gerçekleştirilen OK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-8 OK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
OK-29	Üssel	0.013314	1.408515	0.006199	1.015153	1.430535
OK-30	Gaussian	0.000295	1.348726	-0.00492	1.022053	1.374468
OK-31	Küresel	0.006829	1.346603	0.000541	1.013907	1.384395
OK-32	Stable	0.000295	1.348726	-0.00492	1.022053	1.374468

Çizelge 5.10.' da verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, en düşük RMSE değerine sahip olan, RMSSE değeri 1'e en yakın olan ve MSE değeri en düşük olan OK-31 yöntemi Uygulama-8 için en uygun OK yöntemi olarak belirlenmiştir.

OK ile gerçekleştirilen her uygulama için belirlenen en uygun metotlar Çizelge 5.11. ile verilmiştir.

Çizelge 5.11. Her uygulama için belirlenen en uygun OK bulguları

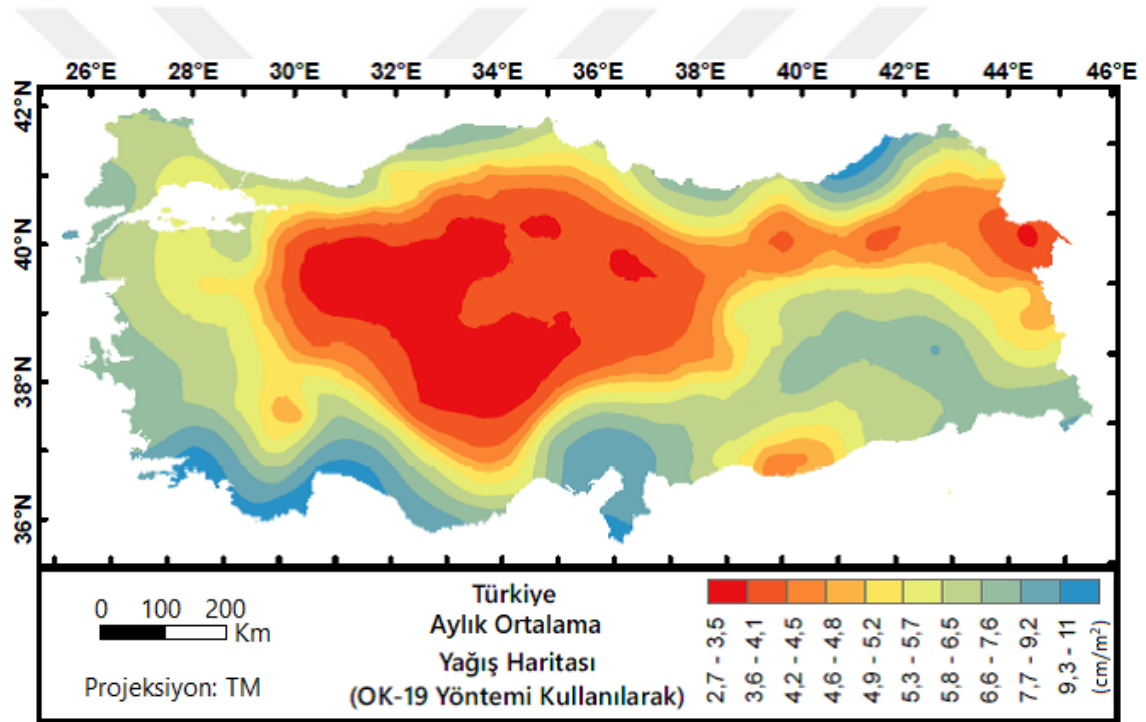
Uygulama	Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
1	OK-04	Stable	-0.00143	1.338366	-0.00307	0.995873	1.347144
2	OK-06	Gaussian	-0.0207	1.365673	0.002946	1.009042	1.378904
3	OK-11	Küresel	0.011186	1.328109	0.002574	1.011537	1.321787
4	OK-15	Küresel	0.000389	1.326097	-0.00123	1.042465	1.341052
5	OK-19	Küresel	0.016587	1.349102	0.006572	0.998316	1.349679
6	OK-22	Gaussian	0.001026	1.362519	-0.00528	1.027173	1.377795
	OK-24	Stable	0.001026	1.362519	-0.00528	1.027173	1.377795
7	OK-26	Gaussian	0.016227	1.337836	0.007092	0.99709	1.340046
	OK-28	Stable	0.016227	1.337836	0.007092	0.99709	1.340046
8	OK-31	Küresel	0.006829	1.346603	0.000541	1.013907	1.384395

Çizelge 5.11.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, uygulamalar arasında önemli farklılıklar görülmemektedir. Üssel yarı variogram modeli ile gerçekleştirilen OK yöntemleri her uygulama için en uygun yöntemler arasına girememiştir. Uygulama-8 dışında diğer her uygulama için en yüksek RMSE ve ASE farklarını vermiştir. RMSSE değerlerinin 1'den küçük olduğu Uygulama-1, 5 ve 7 sonucunda elde edilen tahmin sonuçlarının gerçek değerlerin üstünde hesaplandığı görülmektedir. Bütün uygulamalar içinden en iyi sonucu veren OK yöntemleri OK-19 ve OK-11 olarak belirlenmiştir. OK-26 yöntemi Gaussian yarı variogram modeli ile ve OK-28 yöntemi ise Stable yarı variogram modeli ile uygulanmasına rağmen tamamen aynı tahmin sonuçlarını üretmiştir. Aynı durum yine aynı modeller için OK-22 ve OK-24 arasında görülmektedir. OK-11 ve OK-19 yöntemlerine ait uygulama özellikleri Çizelge 5.12. ile verilmiştir.

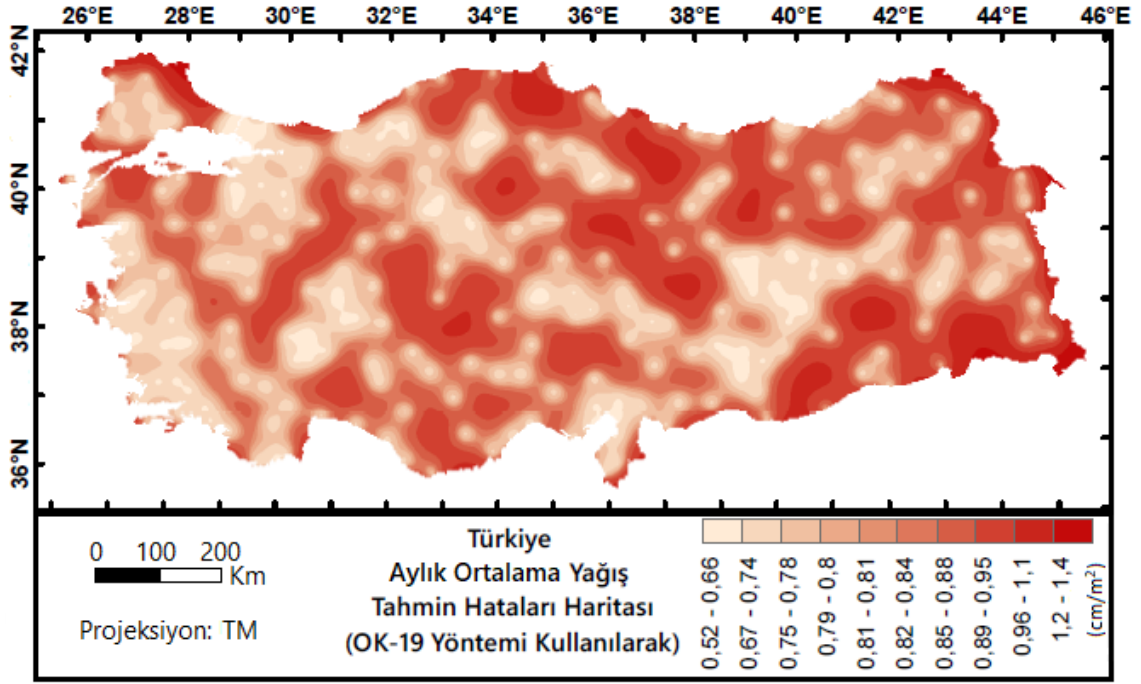
Çizelge 5.12. En uygun OK yöntemlerinin uygulama özellikleri.

En uygun OK Yöntemleri					
Uygulama	Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
3	OK-11	Çarpık	VAR	Küresel	Anizotropik
5	OK-19	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	İzotropik

OK-11 ve OK 19 yöntemleri ile oldukça uygun bir tahmin modeli oluşturmuş ve bu yöntemler birbirine yakın sonuçlar üretmiştir. Böylece uygulanış farklılıklarının OK yöntemleri için önemli farklılıklar oluşturmadığı gözlemlenmiştir. OK-11 yöntemi daha düşük RMSE değerine sahip olmasına rağmen, OK-19 yöntemi sonucunda RMSE ve ASE değerlerinin neredeyse birbirine eşit olması ve RMSSE değerinin 1'e daha yakın olması nedeniyle OK-19 yöntemi tüm OK uygulamaları sonucunda elde edilen bulgulara göre en uygun OK yöntemi olarak belirlenmiştir. Böylece en uygun tahmin modeli Küresel yarı variogram modeli ile çarpık dağılımlı veriler kullanılarak, trend etkisi kaldırılarak ve izotropik uygulama şekli ile elde edilmiştir. OK-19 yöntemi ile oluşturulan, yıllık ortalama yağış tahmin ve tahmin hataları haritası sırasıyla Şekil 5.19. ve Şekil 5.20. ile verilmiştir.

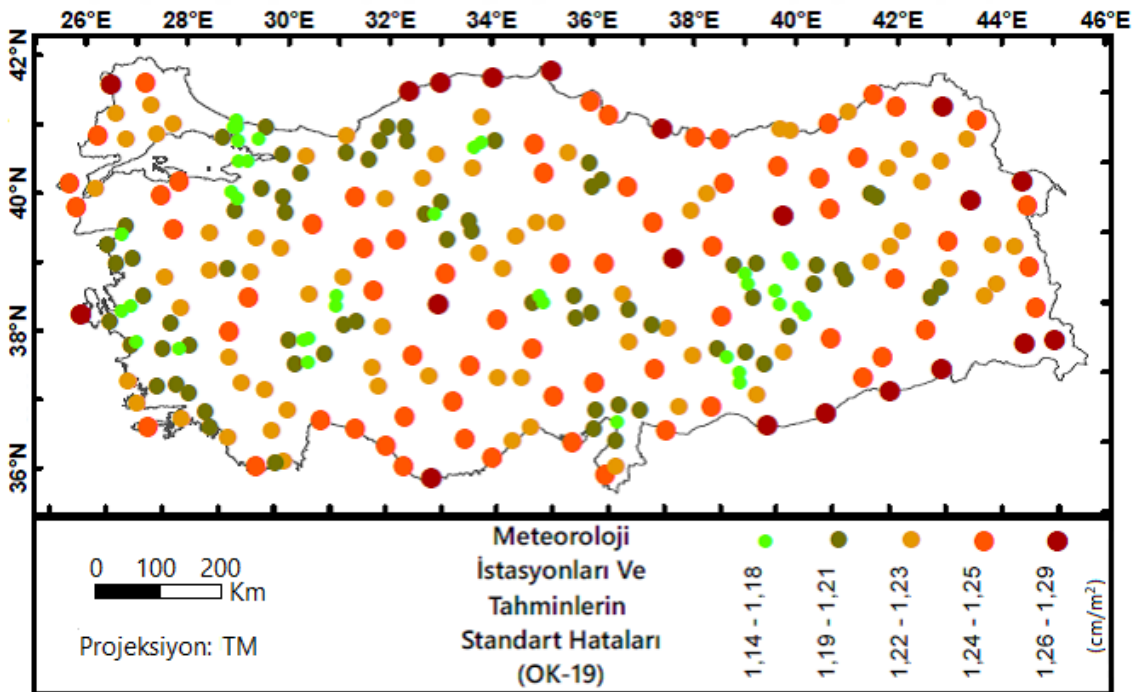


Şekil 5.19. OK-19 yöntemi ile oluşturulan aylık ortalama yağış haritası



Şekil 5.20. OK-19 yöntemi ile oluşturulan tahmin yüzeyine ait tahmin hataları

OK-19 yönteminin istasyon noktaları için gerçekleştirmiş olduğu tahminler ve bu istasyon noktalarına ait gerçek değerler arasında oluşan farklılıkların standart hataları ise Şekil 5.21. ile verilmiştir.



Şekil 5.21. OK-19 yöntemi ile elde edilen tahminlerin, istasyon noktalarındaki standart hataları

Teorik olarak jeoistatistik analiz için normal veya normale yakın dağılımlı verilerin daha uygun sonuçlar üretmesi öngörülür. Ancak belirlenen en uygun OK

yöntemlerinin ve uygulamalarının çarpık dağılımlı veriler ile gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Ayrıca anizotropik ve izotropik varyasyon varsayımları yapılan uygulamalardan anizotropik varyasyona göre yapılan tahminler sonucunda daha düşük RMSE değerleri elde edilmiştir. Trend etkisinin kaldırılması ile ise önemli derecede farklılıklar gözlemlenmemiştir.

5.7.2. Simple kriging metodu ile elde edilen bulgular

SK metodunun kullanımı ile her uygulama sonucunda yapılan tahminlerin çapraz değerlendirme bulguları elde edilerek incelenmiştir. Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-1 sonucunda ortaya çıkan SK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.13. ile verilmiştir.

Çizelge 5.13. Uygulama-1 için gerçekleştirilen SK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-1 SK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
SK-01	Üssel	-0.00868	1.34523	-0.0104	0.948475	1.431824
SK-02	Gaussian	-0.03437	1.361198	-0.02316	0.996266	1.361166
SK-03	Küresel	-0.01775	1.349349	-0.01394	0.977348	1.38049
SK-04	Stable	-0.01595	1.339302	-0.01338	0.997645	1.345749

Çizelge 5.13.' de yer alan çapraz değerlendirme bulgularına göre Uygulama-1 için SK metotları ile yapılan tüm tahmin sonuçları gerçekte olan değerlere göre daha düşük değerli sonuçlar üretmiştir. Ayrıca en düşük RMSE değerine sahip olan ve RMSE ile ASE değerleri arasındaki farkın az olduğu aynı zamanda RMSSE değerinin 1'e yakın olduğu SK-04 yöntemi Uygulama-1 için en uygun sonucu veren SK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-2 sonucunda ortaya çıkan SK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.14. ile verilmiştir.

Çizelge 5.14. Uygulama-2 için gerçekleştirilen SK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-2 SK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
SK-05	Üssel	-0.00365	1.343593	0.002124	0.991156	1.451545
SK-06	Gaussian	-0.04196	1.365157	-0.01818	1.012192	1.371368
SK-07	Küresel	-0.0271	1.342074	-0.00965	1.018735	1.373068
SK-08	Stable	-0.03157	1.343666	-0.01382	1.025796	1.357472

Çizelge 5.14.'de yer alan çapraz değerlendirme bulgularına göre, RMSE değeri ile ASE değeri birbirine en yakın olan SK-06 yöntemi Uygulama-2 için en uygun SK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-3 sonucunda ortaya çıkan SK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.15. ile verilmiştir.

Çizelge 5.15. Uygulama-3 için gerçekleştirilen SK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-3 SK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
SK-09	Üssel	0.004048	1.323908	-0.00551	0.953629	1.414822
SK-10	Gaussian	-0.02978	1.385136	-0.02312	1.045285	1.322809
SK-11	Küresel	-0.01101	1.329876	-0.01349	1.014213	1.319669
SK-12	Stable	-0.02978	1.385136	-0.02312	1.045285	1.322809

Çizelge 5.15.'de yer alan çapraz değerlendirme bulgularına göre, düşük RMSE değeri gösteren ve RMSE değeri ile ASE değerinin birbirine yakın olduğu ayrıca RMSSE değeri de 1'e yakın olan SK-11 yöntemi Uygulama-3 için en uygun SK yöntemi olarak belirlenmiştir. SK-10 ve SK-12 yöntemleri ise tamamen aynı çapraz değerlendirme sonuçları ortaya çıkarmıştır.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-4 sonucunda ortaya çıkan SK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.16. ile verilmiştir.

Çizelge 5.16. Uygulama-4 için gerçekleştirilen SK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-4 SK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
SK-13	Üssel	0.009981	1.322642	0.003878	1.005535	1.423175
SK-14	Gaussian	-0.03943	1.375379	-0.03117	1.056335	1.315748
SK-15	Küresel	-0.01907	1.320437	-0.01706	1.042106	1.332588
SK-16	Stable	-0.03943	1.375379	-0.03117	1.056335	1.315748

Çizelge 5.16.'da yer alan çapraz değerlendirme bulgularına göre, en düşük RMSE değerini gösteren ve RMSE değeri ile ASE değerinin birbirine yakın olduğu ayrıca RMSSE değeri de 1'e yakın olan SK-15 yöntemi Uygulama-4 için en uygun SK yöntemi olarak belirlenmiştir. SK-14 ve SK-16 yöntemleri ise tamamen aynı çapraz değerlendirme sonuçları ortaya çıkarmıştır.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-5 sonucunda ortaya çıkan SK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.17 ile verilmiştir.

Çizelge 5.17. Uygulama-5 için gerçekleştirilen SK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-5 SK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
SK-17	Üssel	0.037425	1.385611	0.020128	0.994173	1.391121
SK-18	Gaussian	0.036247	1.37741	0.021241	1.028606	1.334552
SK-19	Küresel	0.040046	1.363615	0.023281	1.013939	1.341761
SK-20	Stable	0.036247	1.37741	0.021241	1.028606	1.334552

Çizelge 5.17'de yer alan çapraz değerlendirme bulgularına göre, diğer yöntemlere göre en yüksek RMSE değeri SK-17 yönteminde görülmektedir. Ancak bu yöntemin RMSE değeri ile ASE değerinin birbirine çok yakın olması, RMSSE değerinin 1'e en yakın olduğu yöntem olması ve diğer hatalarının düşük değerler göstermesi nedeniyle Uygulama-5 için en uygun SK yöntemi SK-17 yöntemi olarak belirlenmiştir. SK-18 ve SK-19 yöntemleri ise tamamen aynı çapraz değerlendirme sonuçlarına sahip olduğu görülmektedir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin

yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-6 sonucunda ortaya çıkan SK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.18. ile verilmiştir.

Çizelge 5.18. Uygulama-6 için gerçekleştirilen SK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-6 SK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
SK-21	Üssel	0.027405	1.387662	0.018269	1.011737	1.423838
SK-22	Gaussian	0.019551	1.370269	0.010501	1.034929	1.371548
SK-23	Küresel	0.02656	1.369623	0.01539	1.03238	1.382095
SK-24	Stable	0.019551	1.370269	0.010501	1.034929	1.371548

SK yöntemi ile yapılan Uygulama-6 için SK-22 ve SK-24 yöntemleri birbirleri ile aynı çapraz değerlendirme bulguları üretmiştir. Bu yöntemlerin RMSE değerleri ve ASE değerleri birbirine yakın olduğundan Uygulama-6 için en uygun SK yöntemleri olarak belirlenmiştir.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-7 sonucunda ortaya çıkan SK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.19. ile verilmiştir.

Çizelge 5.19. Uygulama-7 için gerçekleştirilen SK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-7 SK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
SK-25	Üssel	0.037942	1.379367	0.020335	0.988566	1.393444
SK-26	Gaussian	0.035967	1.356334	0.02119	1.015083	1.332494
SK-27	Küresel	0.042248	1.351299	0.024522	1.006738	1.340223
SK-28	Stable	0.035967	1.356334	0.02119	1.015083	1.332494

Çizelge 5.19.' da yer alan çapraz değerlendirme bulgularına göre SK-27 yöntemi RMSSE değeri 1' e en yakın yöntem olup, RMSE değeri ile ASE değeri birbirine yakın olduğundan, Uygulama-7 için en uygun SK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-8 sonucunda ortaya çıkan SK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.20. ile verilmiştir.

Çizelge 5.20. Uygulama-8 için gerçekleştirilen SK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-8 SK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
SK-29	Üssel	0.024697	1.409772	0.015876	1.017491	1.42601
SK-30	Gaussian	0.019642	1.356442	0.010623	1.032488	1.369443
SK-31	Küresel	0.026455	1.355751	0.015756	1.023009	1.379812
SK-32	Stable	0.019642	1.356442	0.010623	1.032488	1.369443

Uygulama-8 sonucunda elde edilen SK çapraz değerlendirme bulgularına göre, SK-30 ve SK-32 yöntemleri ile aynı bulgular elde edilmiştir. RMSE değerlerinin düşük ve ASE değerlerine yakın olması nedeniyle bu iki yöntem Uygulama-8 için en uygun çapraz değerlendirme sonuçları veren SK yöntemleri olarak belirlenmiştir. SK ile gerçekleştirilen her uygulama için belirlenen en uygun metotlar Çizelge 5.21. ile verilmiştir.

Çizelge 5.21. SK ile gerçekleştirilen her uygulama için belirlenen en uygun metotlar

En uygun SK Bulguları							
Uygulama	Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
1	SK-04	Stable	-0.01595	1.339302	-0.01338	0.9976451	1.345749
2	SK-06	Gaussian	-0.04196	1.365157	-0.018178	1.0121919	1.371368
3	SK-11	Küresel	-0.01101	1.329876	-0.013489	1.0142129	1.319669
4	SK-15	Küresel	-0.01907	1.320437	-0.017062	1.042106	1.332588
5	SK-17	Üssel	0.037425	1.385611	0.0201278	0.9941729	1.391121
6	SK-22	Gaussian	0.019551	1.370269	0.0105013	1.0349289	1.371548
	SK-24	Stable	0.019551	1.370269	0.0105013	1.0349289	1.371548
7	SK-27	Küresel	0.042248	1.351299	0.0245216	1.0067382	1.340223
8	SK-30	Gaussian	0.019642	1.356442	0.0106229	1.0324877	1.369443
	SK-32	Stable	0.019642	1.356442	0.0106229	1.0324877	1.369443

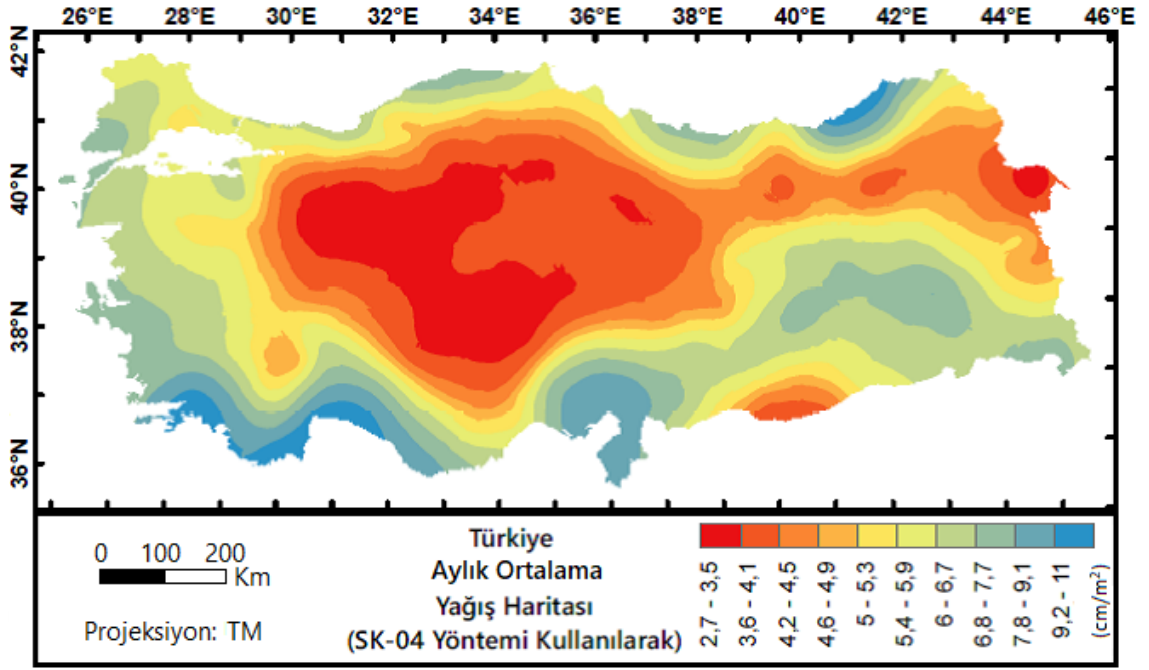
Çizelge 5.21.' de verilen bilgilere göre, anizotropik yarı variogram modelleri ile gerçekleştirilen uygulamaların daha düşük RMSE değerleri ürettiği tespit edilmiştir. Hem anizotropik hem de trend etkisinin kaldırılmadığı uygulamalar ise en düşük RMSE değerlerine sahiptir. Ancak RMSE ve ASE değerleri arasındaki farkın, trend etkisinin kaldırıldığı ve izotropik parametreler ile gerçekleştirilen uygulamalarda daha düşük olduğu görülmektedir. Trend etkisinin kaldırıldığı uygulamalarda Stable ve Gaussian yarı variogram modelleri ile yapılan tahminlerin, çapraz değerlendirme bulgularının tamamen aynı değerlere sahip olduğu görülmektedir. SK ile yapılan uygulamalarda SK-04 ve SK-17 yöntemlerinin SK uygulamaları arasında en uygun SK yöntemleri

oldukları belirlenmiştir. Bu yöntemlere ait uygulama özellikleri Çizelge 5.22. ile verilmiştir.

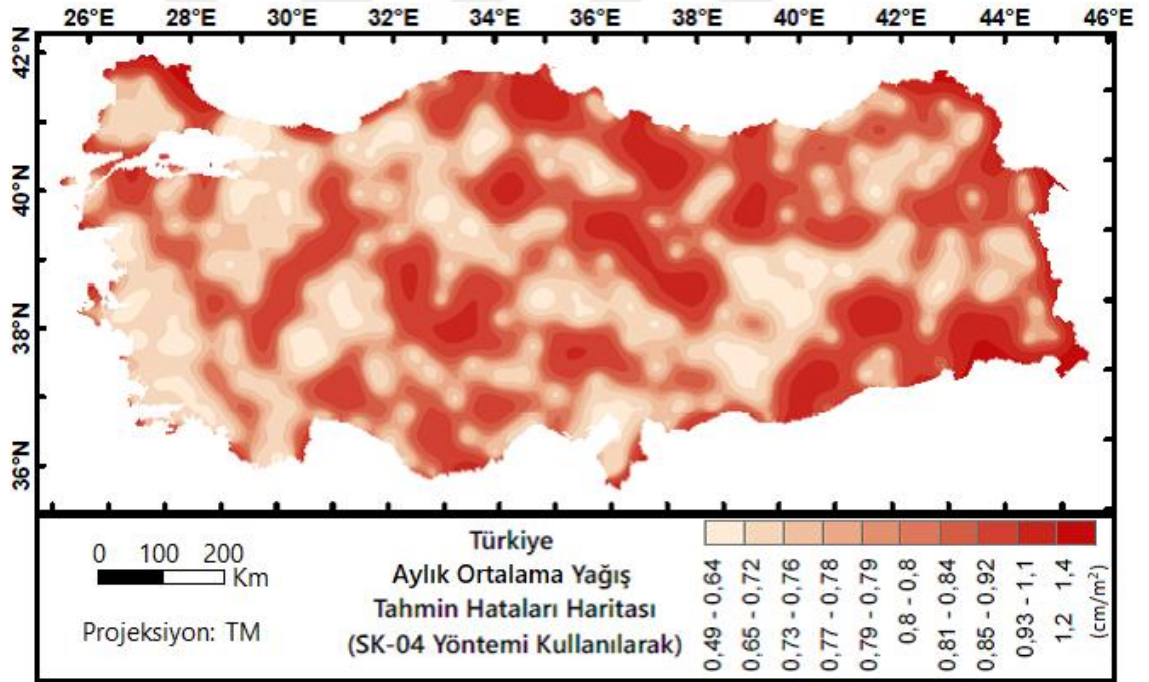
Çizelge 5.22. En uygun SK yöntemlerinin uygulama özellikleri.

En uygun SK Yöntemleri					
Uygulama	Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
1	SK-04	Çarpık	VAR	Stable	İzotropik
5	SK-17	Çarpık	Kaldırıldı	Üssel	İzotropik

SK ile ve çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı uygulamalarda düşük RMSE değerleri elde edilirken RMSE ve ASE değerleri arasındaki fark logaritmik dönüşümlü verilerin kullanıldığı uygulamalara göre daha yüksektir. Ancak iki uygulama şekli arasındaki fark düşüktür. Her uygulama için uygun olduğu belirlenen metotlar arasında yapılan karşılaştırmalarda, SK ile gerçekleştirilen uygulamalar arasında önemli sayılabilecek bir farklılık görülmemiştir. SK-04 ve SK-17 yöntemleri RMSE ve ASE değerlerinin birbirine yakın olduğu yöntemleridir. En düşük RMSE değerleri de Küresel model ile elde edilmiştir. SK-17 ve SK-04 yöntemleri arasında variogram ve trend etkisinin durumu açısından farklılıklar olmasına rağmen bu yöntemlerin uygun tahmin modelleri oluşturması uygulama farklılıklarının tahmin üzerindeki etkisinin az olduğunu göstermektedir. Bu yöntemler arasında en uygun yöntem olarak SK-04 yöntemi belirlenmiştir. SK-04 yöntemi ile oluşturulan yıllık yağış ortalaması haritası Şekil 5.22. ile verilmiştir. Ayrıca tahminlerin standart hatalarının haritası ise Şekil 5.23. ile verilmiştir.

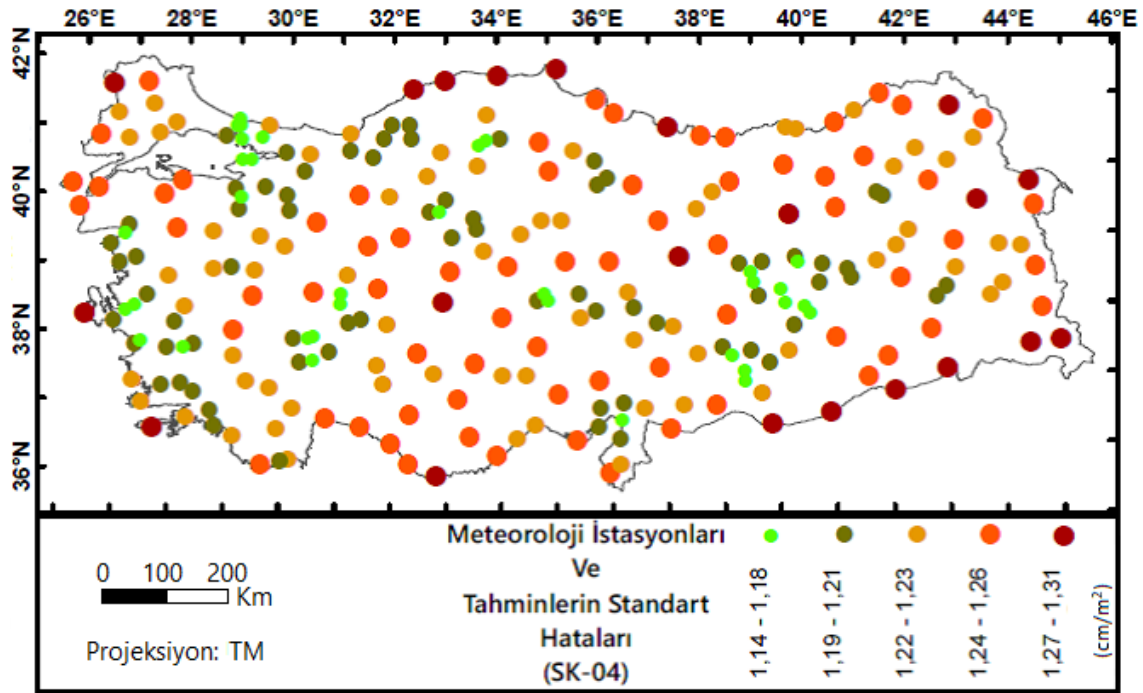


Şekil 5.22. SK-04 yöntemi ile oluşturulan aylık ortalama yağış haritası



Şekil 5.23. SK-04 yöntemi ile oluşturulan tahmin yüzeyine ait tahmin hataları

SK-04 yönteminin istasyon noktaları için gerçekleştirmiş olduğu tahminler ve bu istasyon noktalarına ait gerçek değerler arasında oluşan farklılıkların standart hataları ise Şekil 5.24. ile verilmiştir.



Şekil 5.24. SK-04 yöntemi ile elde edilen tahminlerin, istasyon noktalarındaki standart hataları

5.7.3. Universal kriging metodu ile elde edilen bulgular

SK metodunun kullanımı ile her uygulama sonucunda yapılan tahminlerin çapraz değerlendirme bulguları elde edilerek incelenmiştir. Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-5 sonucunda ortaya çıkan UK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.23. ile verilmiştir.

Çizelge 5.23. Uygulama-5 için gerçekleştirilen UK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-5 UK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
UK-01	Üssel	0.044408	1.419122	0.006697	0.911078	1.631509
UK-02	Gaussian	0.028446	1.476624	0.007764	0.967126	1.610975
UK-03	Küresel	0.054669	1.558169	0.001364	0.9464	1.671104
UK-04	Stable	0.028446	1.476624	0.007764	0.967126	1.610975

Çizelge 5.23.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, Gaussian yarı variogram modeli ile uygulanan UK-02 ve Stable yarı variogram modeli ile uygulanan UK-04 yöntemleri tamamen aynı çapraz değerlendirme bulgularını üretmiştir. Bu yöntemler sonucunda düşük ve ASE değerine yakın RMSE değerleri elde edilmiştir. Ayrıca

RMSSE değerleri de 1'e yakındır. Böylece Uygulama-5 için bu yöntemler en uygun UK yöntemleri olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-6 sonucunda ortaya çıkan UK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.24. ile verilmiştir.

Çizelge 5.24. Uygulama-6 için gerçekleştirilen UK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-6 UK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
UK-05	Üssel	-0.00096	1.364316	-0.03093	0.927485	1.767309
UK-06	Gaussian	0.042007	1.750622	-0.05019	0.962381	11.36943
UK-07	Küresel	-0.01847	1.576103	-0.05034	0.967826	3.728066
UK-08	Stable	0.042007	1.750622	-0.05019	0.962381	11.36943

Çizelge 5.24.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, en düşük RMSE değerine sahip olan ve RMSE değeri ile ASE değeri birbirine en yakın olan UK-05 yöntemi, Uygulama 6 için en uygun UK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-7 sonucunda ortaya çıkan UK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.25. ile verilmiştir.

Çizelge 5.25. Uygulama-7 için gerçekleştirilen UK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-7 UK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
UK-09	Üssel	-0.01187	1.407737	-0.01293	0.928973	1.535924
UK-10	Gaussian	0.018836	1.457549	0.003754	0.950312	1.545002
UK-11	Küresel	-0.01424	1.403635	-0.01552	0.946664	1.511177
UK-12	Stable	0.018836	1.457549	0.003754	0.950312	1.545002

Çizelge 5.25.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, UK-10 ve UK-12 yöntemleri sırasıyla Gaussian ve Stable yarı variogram modelleri ile uygulanmasına rağmen aynı sonuçları üretmişlerdir. Bu yöntemler sonucunda ortaya çıkan RMSE ve ASE değerlerinin farkı diğer metotlara göre daha düşüktür. Ancak UK-11 yöntemi en

düşük RMSE değerine sahip olduğu ve RMSE değeri ile ASE değeri birbirine yakın olduğu için bu uygulamada en uygun UK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-8 sonucunda ortaya çıkan UK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.26. ile verilmiştir.

Çizelge 5.26. Uygulama-8 için gerçekleştirilen UK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-8 UK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
UK-13	Üssel	-0.00237	1.378257	-0.04043	0.92142	1.728019
UK-14	Gaussian	-0.02392	1.531776	-0.06569	0.976406	1.787779
UK-15	Küresel	-0.03747	1.364534	-0.05522	0.95535	1.665099
UK-16	Stable	-0.02392	1.531776	-0.06569	0.976406	1.787779

Çizelge 5.26.' da verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, RMSE ve ASE değerleri arasındaki farkın düşük olduğu UK-14 ve UK-16 yöntemleri tamamen aynı çapraz değerlendirme bulguları üretmiştir. Bu yöntemler diğer yöntemlere göre ise yüksek değerli RMSE değerleri göstermektedir. Böylece düşük RMSE değerli ve RMSE değerinin ASE değerine yakın olduğu, aynı zamanda RMSSE değerinin de 1'e yakın olduğu UK-15 yöntemi Uygulama-8 için en uygun UK yöntemi olarak belirlenmiştir.

UK ile gerçekleştirilen her uygulama için belirlenen en uygun metotlar Çizelge 5.27. ile verilmiştir.

Çizelge 5.27. En uygun UK bulguları

En uygun UK Bulguları							
Uygulama	Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
5	UK-02	Gaussian	0.028446	1.476624	0.007764	0.9671257	1.610975
	UK-04	Stable	0.028446	1.476624	0.007764	0.9671257	1.610975
6	UK-05	Üssel	-0.00096	1.3643161	-0.030927	0.9274847	1.767309
7	UK-11	Küresel	-0.01424	1.4036351	-0.015522	0.9466638	1.511177
8	UK-15	Küresel	-0.03747	1.364534	-0.055218	0.9553499	1.665099

UK yöntemi ile çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı uygulamalar, tüm yarı variogram modelleri için daha tutarlı sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Uygulama bulgularına

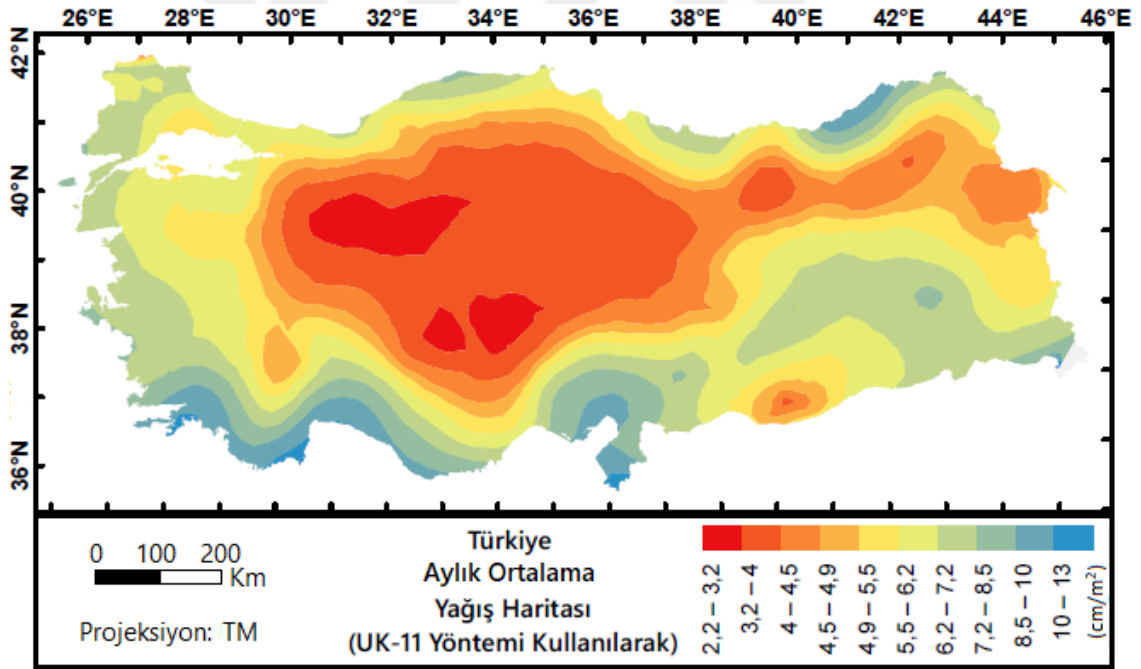
göre UK yöntemi ile diğer kriging yöntemlerine göre daha düzensiz ve uygun olmayan tahmin değerleri ortaya çıkmıştır.

UK yöntemleri ile yapılan uygulamalar sonucunda en uygun tahmin sonuçlarını veren UK yöntemi, Uygulama-7 özellikleri ile gerçekleştirilen UK-11 yöntemidir. UK-11 yöntemine ait uygulama özellikleri Çizelge 5.28. ile verilmiştir.

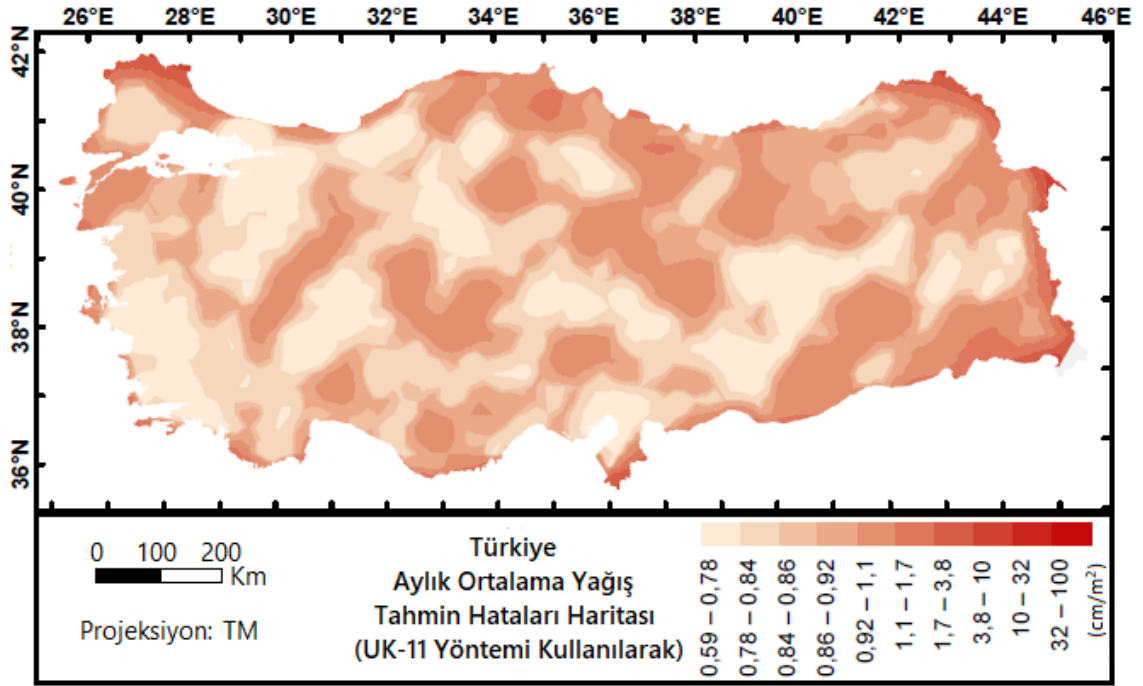
Çizelge 5.28. En uygun UK Yönteminin Uygulama Özellikleri.

En uygun UK Yöntemi					
Uygulama	Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
7	UK-11	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	Anizotropik

UK-11 yöntemi ile oluşturulan yıllık yağış ortalaması tahmin ve tahminlerin standart hataları haritası sırasıyla Şekil 5.25. ve Şekil 5.26. ile verilmiştir.

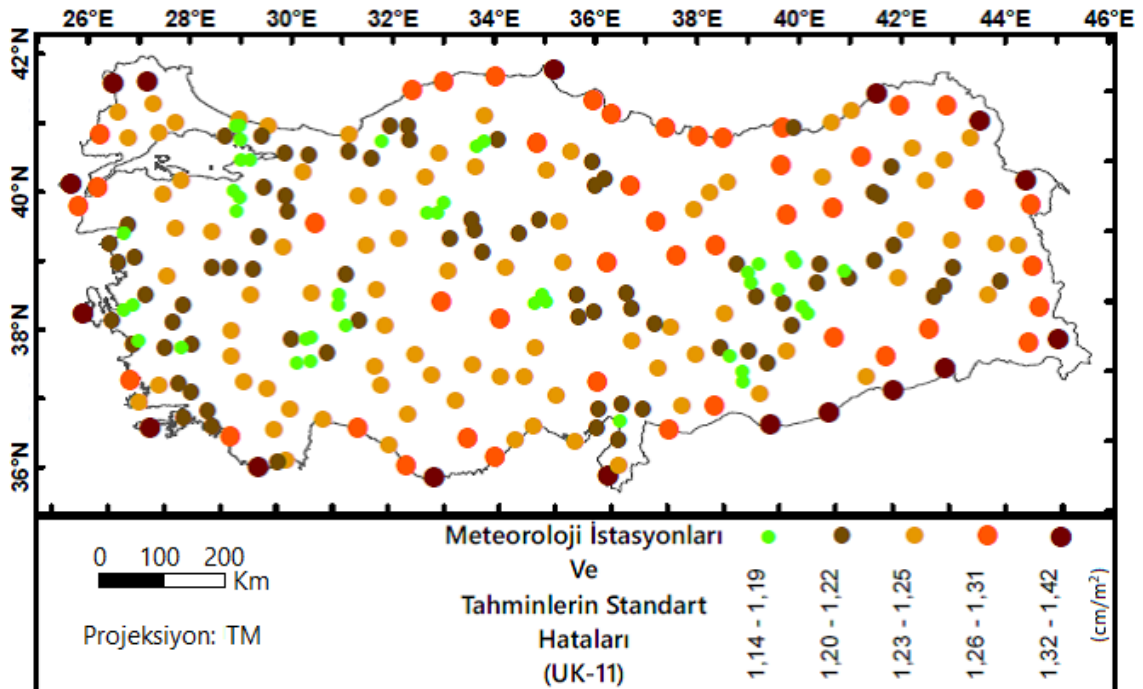


Şekil 5.25. UK-11 yöntemi ile oluşturulan aylık ortalama yağış haritası



Şekil 5.26. UK-11 yöntemi ile oluşturulan tahmin yüzeyine ait standart tahmin hataları

UK-11 yönteminin istasyon noktaları için gerçekleştirmiş olduğu tahminler ve bu istasyon noktalarına ait gerçek değerler arasında oluşan farklılıkların standart hataları ise Şekil 5.27. ile verilmiştir.



Şekil 5.27. UK-11 yöntemi ile elde edilen tahminlerin, istasyon noktalarındaki standart hataları.

5.7.4. Co-Ordinary kriging metodu ile elde edilen bulgular

COK metodunun kullanımı ile her uygulama sonucunda yapılan tahminlerin çapraz değerlendirme bulguları elde edilerek incelenmiştir. COK metodlarının tamamı için ikincil veri olarak gözlem istasyonlarına ait yükseklik bilgisi kullanılmıştır. Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-1 sonucunda ortaya çıkan COK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.29. ile verilmiştir.

Çizelge 5.29. Uygulama-1 için gerçekleştirilen COK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-1 COK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
COK-01	Üssel	0.03758	1.412731	0.019729	1.485069	1.061566
COK-02	Gaussian	-0.00604	1.347791	-0.00377	0.968823	1.384258
COK-03	Küresel	0.003096	1.341705	0.000102	0.99363	1.351118
COK-04	Stable	-0.00317	1.337735	-0.0028	0.967908	1.378296

Çizelge 5.29.' da verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, RMSE ile ASE değerlerinin birbirine yakın olduğu, aynı zamanda RMSSE değerinin 1' e en yakın olduğu COK-03 yöntemi, Uygulama-1 için en iyi COK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-2 sonucunda ortaya çıkan COK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.30. ile verilmiştir.

Çizelge 5.30. Uygulama-2 için gerçekleştirilen COK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-2 COK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
COK-05	Üssel	0.041233	1.42422	-0.07692	1.688278	1.096087
COK-06	Gaussian	-0.00908	1.337014	0.003216	1.001215	1.373908
COK-07	Küresel	0.000639	1.328151	-0.00178	1.050979	1.346901
COK-08	Stable	-0.00706	1.327578	0.002878	1.00757	1.370939

Çizelge 5.30.' da verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, RMSE değeri ile ASE değeri birbirine en yakın olan ve RMSE değeri düşük olan COK-07 yöntemi, Uygulama-2 için en uygun COK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-3 sonucunda ortaya çıkan COK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.31. ile verilmiştir.

Çizelge 5.31. Uygulama-3 için gerçekleştirilen COK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-3 COK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
COK-09	Üssel	0.041635	1.431893	0.021618	1.574197	1.016907
COK-10	Gaussian	-0.01524	1.36292	-0.01286	1.035406	1.313593
COK-11	Küresel	-0.00079	1.368177	-0.00402	1.039027	1.319336
COK-12	Stable	-0.01524	1.36292	-0.01286	1.035406	1.313593

Çizelge 5.31.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, RMSE değeri ile ASE değeri birbirine en yakın olan ve RMSE değeri düşük olan COK-11 yöntemi, Uygulama-3 için en uygun COK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin kaldırılmadan bu etki ile birlikte tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-4 sonucunda ortaya çıkan COK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.32. ile verilmiştir.

Çizelge 5.32. Uygulama-4 için gerçekleştirilen COK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-4 COK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
COK-13	Üssel	0.049767	1.44047	-0.09409	1.843627	1.04986
COK-14	Gaussian	-0.0201	1.353888	-0.01877	1.058578	1.310081
COK-15	Küresel	0.003641	1.344552	-0.01632	1.102401	1.338218
COK-16	Stable	-0.0201	1.353888	-0.01877	1.058578	1.310081

Çizelge 5.32.' de verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, RMSE değeri ile ASE değeri birbirine en yakın olan ve RMSE değeri en düşük olan COK-15 yöntemi, Uygulama-4 için en uygun COK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-5 sonucunda ortaya çıkan COK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.33. ile verilmiştir.

Çizelge 5.33. Uygulama-5 için gerçekleştirilen COK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-5 COK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
COK-17	Üssel	0.048171	1.339298	0.028515	1.464827	0.996723
COK-18	Gaussian	0.003077	1.448109	0.000622	0.990436	1.454541
COK-19	Küresel	0.005505	1.444194	0.00184	0.986495	1.456792
COK-20	Stable	0.003494	1.448023	0.000747	0.989131	1.456487

Çizelge 5.33. ile verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, RMSE değeri yüksek olan ancak RMSE değeri ile ASE değeri birbirine en yakın olan ayrıca RMSSE değeri 1'e en yakın olan COK-18 yöntemi, Uygulama-5 için en uygun COK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun izotropik olduğu kabul edilen Uygulama-6 sonucunda ortaya çıkan COK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.34. ile verilmiştir.

Çizelge 5.34. Uygulama-6 için gerçekleştirilen COK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-6 COK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
COK-21	Üssel	0.021321	1.338775	-0.05445	1.547832	1.043236
COK-22	Gaussian	0.000262	1.435546	0.005614	0.979691	1.473671
COK-23	Küresel	0.003715	1.429741	0.007258	0.976991	1.478558
COK-24	Stable	-0.00023	1.434434	0.005856	0.979234	1.476272

Çizelge 5.34. ile verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, RMSE değeri yüksek olan ancak RMSE değeri ile ASE değeri birbirine en yakın olan ayrıca RMSSE değeri 1'e en yakın olan COK-22 yöntemi, Uygulama-6 için en uygun COK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik

olduğu kabul edilen Uygulama-7 sonucunda ortaya çıkan COK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.35. ile verilmiştir.

Çizelge 5.35. Uygulama-7 için gerçekleştirilen COK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-7 COK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
COK-25	Üssel	0.052061	1.322921	0.028962	1.410335	1.025436
COK-26	Gaussian	0.000291	1.453859	-0.00158	0.995905	1.453455
COK-27	Küresel	0.009817	1.397144	0.003462	1.003581	1.386644
COK-28	Stable	0.000291	1.453859	-0.00158	0.995905	1.453455

Çizelge 5.35. ile verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, RMSE değeri yüksek olan ancak RMSE değeri ile ASE değeri birbirine en yakın olan COK-26 ve COK-28 yöntemi tamamen aynı çapraz değerlendirme sonuçlarına sahiptir. COK-26 ve COK-28 yöntemleri, COK-27 ile karşılaştırıldığında bu uygulama için COK-27 yöntemi en uygun COK yöntemi olarak belirlenmiştir.

Logaritmik dönüşüm ile normal dağılıma yaklaştırılmış verilerin kullanıldığı, trend etkisinin global olarak, ikinci dereceden polinomlar ile kaldırılarak tahminlerin yapıldığı ve varyasyonun anizotropik olduğu kabul edilen Uygulama-8 sonucunda ortaya çıkan COK tahmin sonuçlarının çapraz değerlendirme bulguları Çizelge 5.36. ile verilmiştir.

Çizelge 5.36. Uygulama-8 için gerçekleştirilen COK tahminlerinin çapraz değerlendirme bulguları

Uygulama-8 COK Bulguları						
Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
COK-29	Üssel	0.029632	1.321659	-0.04207	1.472509	1.073941
COK-30	Gaussian	-0.00471	1.439099	0.002942	0.976093	1.466313
COK-31	Küresel	0.004304	1.389147	0.005829	0.992314	1.421093
COK-32	Stable	-0.00471	1.439099	0.002942	0.976093	1.466313

Çizelge 5.36. ile verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre, RMSSE değeri 1'e en yakın olan COK-31 yöntemi, Uygulama-8 için en uygun COK yöntemi olarak belirlenmiştir. COK-30 ve COK-32 yöntemleri aynı çapraz değerlendirme sonuçları üretmiştir ve bu yöntemler ASE değeri ile RMSE değeri birbirine en yakın olan yöntemlerdir ancak RMSE değerlerinin yüksekliği ve COK-31 yöntemine göre yapılan karşılaştırmalara göre COK-31 yöntemi en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

COK ile gerçekleştirilen her uygulama için belirlenen en uygun metotlar Çizelge 5.37. ile verilmiştir.

Çizelge 5.37. En uygun COK yöntemleri

En uygun COK Bulguları							
Uygulama	Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
1	COK-03	Küresel	0.003096	1.3417052	0.0001021	0.9936297	1.351118
2	COK-07	Küresel	0.000639	1.3281512	-0.001785	1.0509789	1.346901
3	COK-11	Küresel	-0.00079	1.3681773	-0.004017	1.039027	1.319336
4	COK-15	Küresel	0.003641	1.3445519	-0.01632	1.1024014	1.338218
5	COK-18	Gaussian	0.003077	1.4481086	0.0006218	0.990436	1.454541
6	COK-22	Gaussian	0.000262	1.4355456	0.0056144	0.9796907	1.473671
7	COK-27	Küresel	0.009817	1.397144	0.003462	1.003581	1.386644
8	COK-31	Küresel	0.004304	1.3891471	0.0058288	0.9923144	1.421093

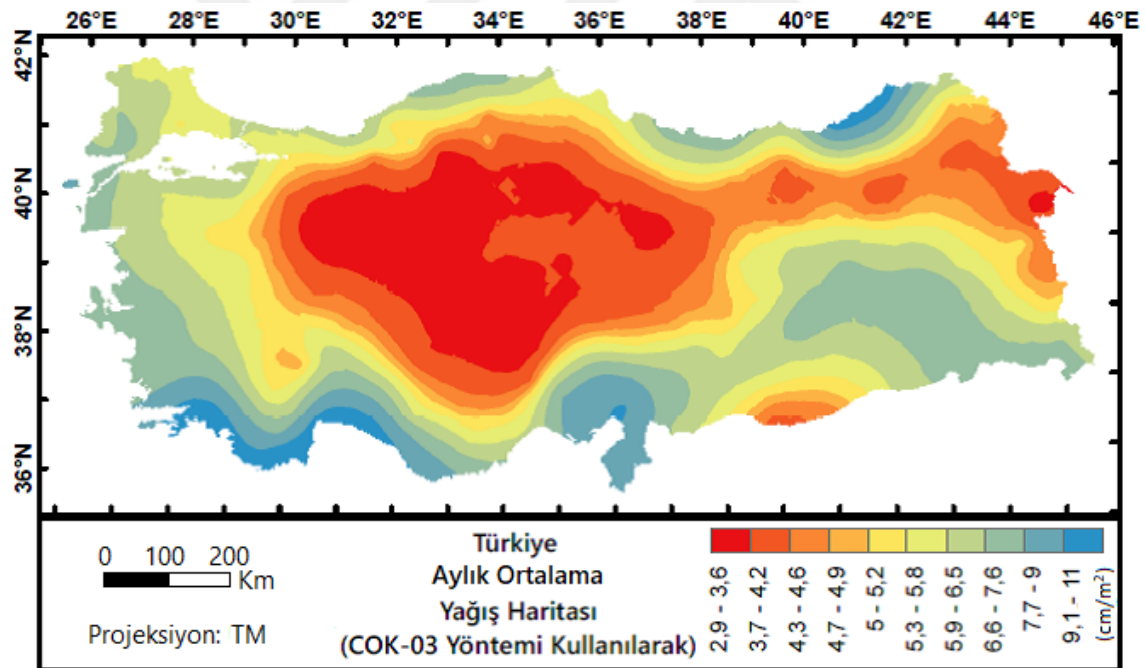
Çizelge 5.37. ile verilen, her uygulama için belirlenen uygun COK tahminlerine ait çapraz değerlendirme bulgularına göre, trend etkisinin kaldırılmadığı uygulamalar daha düşük RMSE değerleri ve daha düşük ASE değerleri ortaya çıkarmıştır. Tahminlerin ME ve MSE değerleri ise her uygulama için benzer değerler göstermektedir. Uygulama-2, 3, 4 ve 7 ile yapılan tahminler gerçek değerlerin altında olan yeni tahmin değerleri üretmiştir. Bunun dışında kalan tahminler ise gerçek değerlere göre daha yüksek değerli tahmin sonuçları üretmiştir. Logaritmik dönüşüm uygulanan veriler ile yapılan tahminlerle ise çarpık dağılımlı veriler ile yapılan tahminlere göre daha düşük RMSE değerleri elde edilmiştir. Anizotropik uygulamalar izotropik uygulamalara göre hem daha düşük RMSE değerleri hem de birbirine daha yakın RMSE ve ASE değerleri göstermektedir. Uygulamalar arasında önemli derecede farklılıklar görülmemektedir. Üssel ve Stable yarı variogram modeli ile COK tahmini yapılan yöntemlerden hiçbiri Çizelge 5.37.'de verilen her COK uygulaması için belirlenen en iyi yöntemler arasında yoktur. En düşük RMSE değerleri ise Küresel yarı variogram modelleri ile elde edilmiştir.

COK metodu ile gerçekleştirilen her uygulama için en uygun sonuç veren yöntemler arasından COK-03 ve COK-07 yöntemleri en uygun yöntemler olarak yakın sonuçlar üretmiştir. Bu yöntemlerin uygulamalarına ait özellikler Çizelge 5.38. ile verilmiştir.

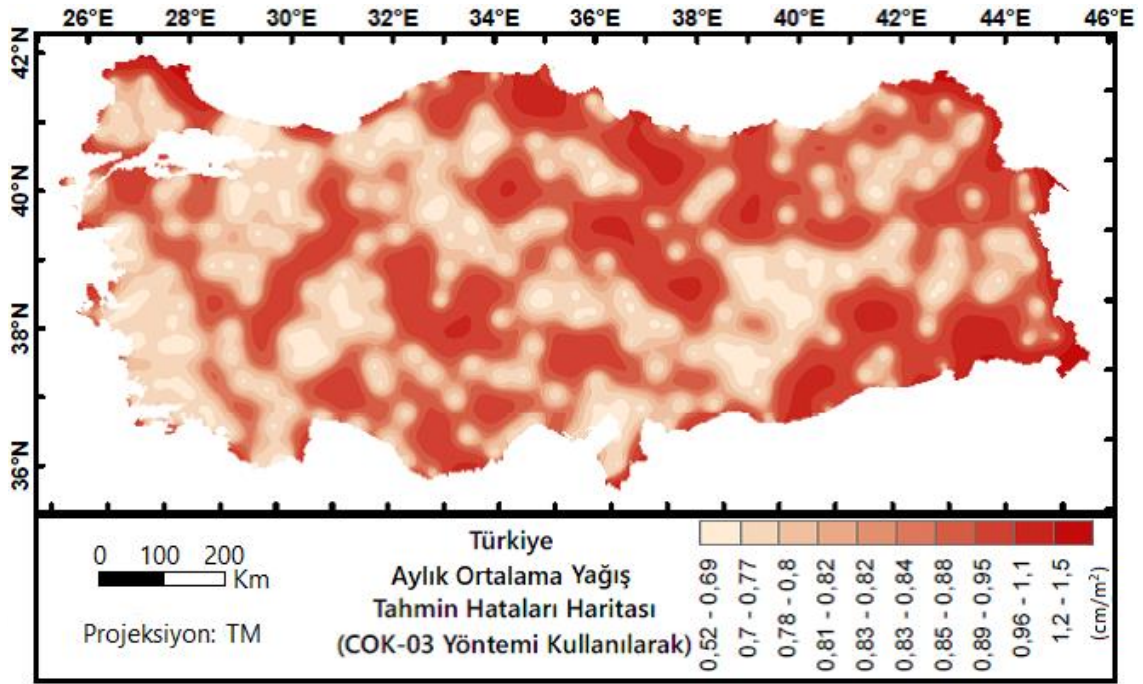
Çizelge 5.38. En uygun COK yöntemlerinin uygulama özellikleri

En uygun COK Yöntemleri					
Uygulama	Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
1	COK-03	Çarpık	VAR	Küresel	İzotropik
2	COK-07	LogNormal	VAR	Küresel	İzotropik

COK-03 ve COK-07 yöntemlerinin uygulama özellikleri arasındaki fark yalnızca verilerin dağılım şeklidir. Uygun tahmin modeli üreten bu iki yöntem göz önüne alınarak dağılım şeklinin tahminler üzerindeki etkisinin önemli derecede olmadığı görülmektedir. COK ile gerçekleştirilen uygulamalar arasından COK-03 yöntemi en uygun yöntem olarak belirlenmiştir. Bu yöntem ile oluşturulan yıllık ortalama yağış tahmin ve tahmin hataları haritası sırasıyla Şekil 5.28. ve Şekil 5.29. ile verilmiştir.

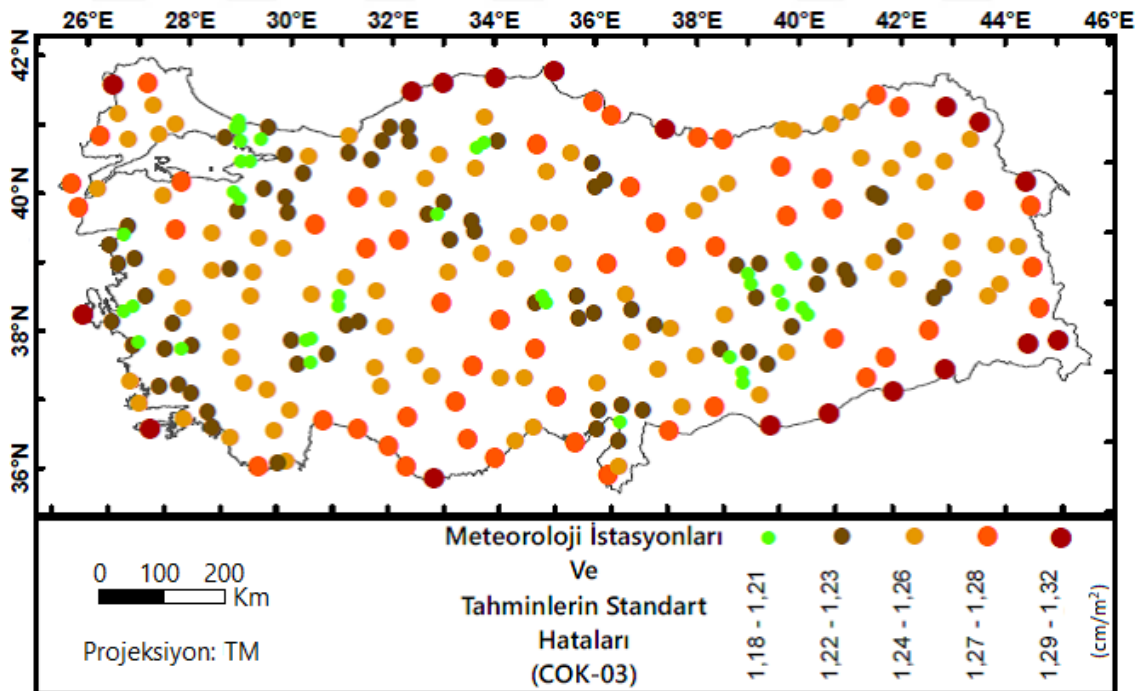


Şekil 5.28. COK-03 yöntemi ile oluşturulan aylık ortalama yağış haritası



Şekil 5.29. COK-03 yöntemi ile oluşturulan tahmin yüzeyine ait tahmin hataları

COK-03 yönteminin istasyon noktaları için gerçekleştirmiş olduğu tahminler ve bu istasyon noktalarına ait gerçek değerler arasında oluşan farklılıkların standart hataları ise Şekil 5.30. ile verilmiştir.



Şekil 5.30. COK-03 yöntemi ile elde edilen tahminlerin, istasyon noktalarındaki standart hataları

5.7.5. Kriging metotlarının tahmin bulgularının karşılaştırılması

OK, SK, UK ve COK yöntemleri ile gerçekleştirilen uygulamalar sonucunda, Uygulama-5 ile OK-19 yöntemi, Uygulama-1 ile SK-04 yöntemi, Uygulama-7 ile UK-11 yöntemi ve Uygulama-1 ile COK-03 yöntemi kendi kriging metotları arasında en uygun tahmin modeli oluşturan yöntemler olarak belirlenmiştir. Bu yöntemlere ait uygulama özellikleri Çizelge 5.39. ile verilmiştir. Çapraz değerlendirme bulguları ise Çizelge 5.40. ile verilmiştir.

Çizelge 5.39. Uygun kriging yöntemlerinin uygulama özellikleri

Uygulama	Yöntem Adı	Veri Dağılımı	Trend	Model	İzotropik / Anizotropik Uygulama
5	OK-19	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	İzotropik
1	SK-04	Çarpık	VAR	Stable	İzotropik
7	UK-11	Çarpık	Kaldırıldı	Küresel	Anizotropik
1	COK-03	Çarpık	VAR	Küresel	İzotropik

Çizelge 5.40. Uygun kriging yöntemlerinin çapraz değerlendirme bulguları

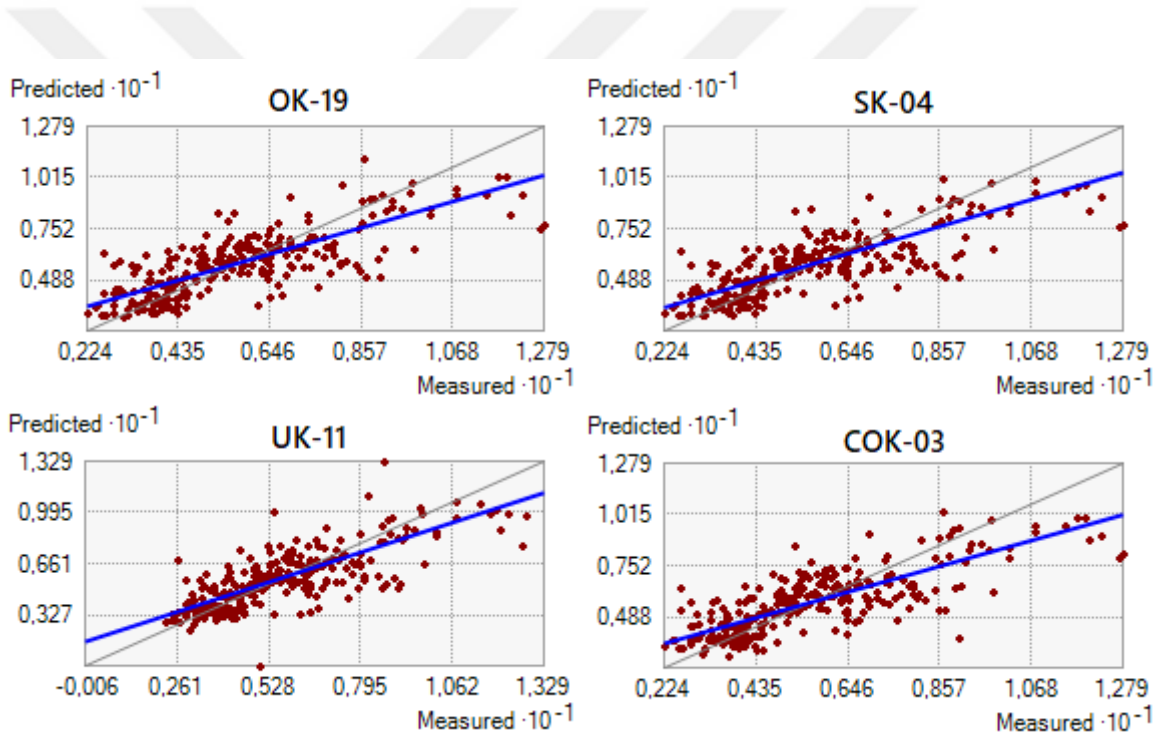
Uygulama	Yöntem Adı	Model	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)	MSE	RMSSE	ASE (cm/m ²)
5	OK-19	Küresel	0.016587	1.349102	0.00657223	0.998316	1.349679
1	SK-04	Stable	-0.01595	1.339302	-0.01337977	0.997645	1.345749
7	UK-11	Küresel	-0.01424	1.403635	-0.01552203	0.946664	1.511177
1	COK-03	Küresel	0.003096	1.341705	0.00010214	0.99363	1.351118

Çizelge 5.40. ile verilen çapraz değerlendirme bulgularına göre en düşük RMSE değeri SK-04 yöntemi ile elde edilmiştir. RMSE ve ASE değeri arasındaki en düşük fark ise OK-19 yöntemi ile elde edilmiştir. COK-03 yöntemi de bu iki yöntemle benzer sonuçlar vermiştir. Ancak UK-11 yöntemi ve diğer UK bulguları, kriging yöntemleri içinde en yüksek RMSE ve ASE farkını, en yüksek RMSE değerlerini üretmiştir. Böylece en uygun UK yöntemi olarak UK-11 yöntemi belirlense de diğer yöntemlere göre tahmin doğruluğu açısından geride kalmıştır.

Tüm uygulamalar ile tüm kriging metotları karşılaştırıldığında en yüksek RMSE değeri 1.7506 cm/m² ve en yüksek ASE değeri 11.3694 cm/m² ile UK yöntemi en yüksek RMSE ve ASE değerlerini üreten yöntem olarak belirlenmiştir. En yüksek RMSSE değeri ise COK-13 yöntemi ile 1.84362 olarak elde edilmiştir. RMSSE değerlerinin 1'e uzaklığı açısından en yüksek farkları COK yöntemleri oluşturmaktadır.

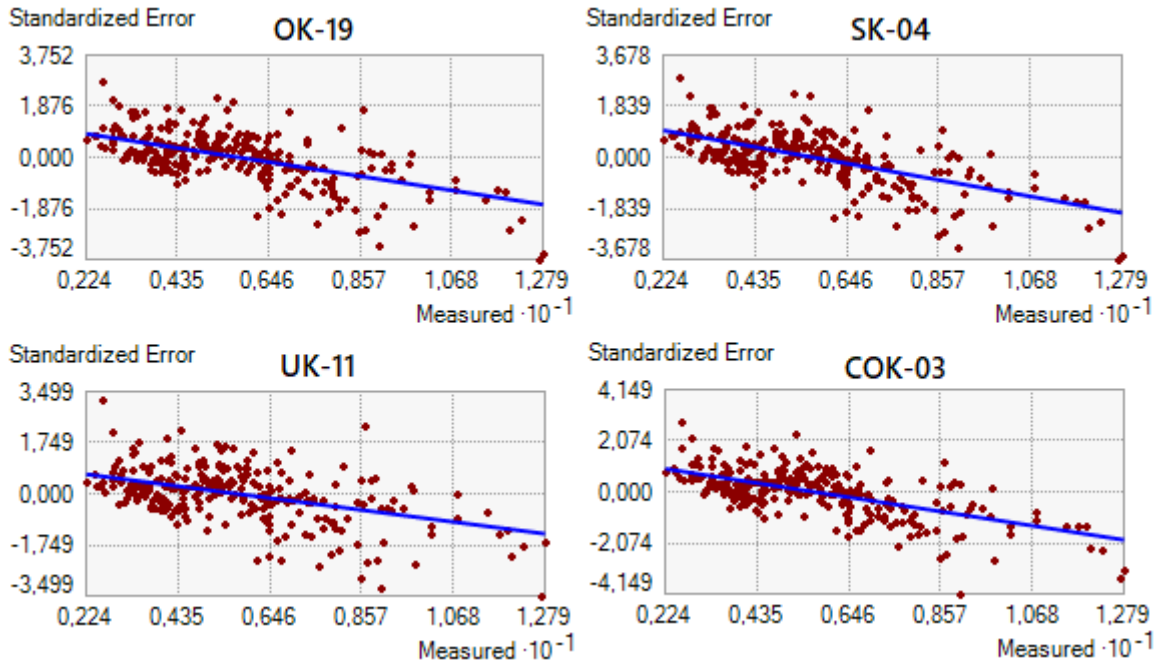
Yine RMSE ve ASE farklarının en yüksek görüldüğü yöntemler UK ve COK yöntemleridir. ME ve MSE için ise en düşük değerleri OK ve COK yöntemleri elde etmiştir. Üssel yarı variogram modeli çoğu zaman diğer yöntemlere göre daha düşük RMSE değerleri üretmesine rağmen RMSE ve ASE değeri arasındaki farkın bu model ile daha fazla olduğu görülmektedir. Variogram modelleri için ise Küresel model en uygun variogram modeli olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.40. ile verilen yöntemler arasında RMSSE değerinin 1'e en yakın olduğu ve RMSE ve ASE değeri arasındaki farkın en düşük olduğu OK-19 yöntemi tüm kriging uygulamaları arasında en uygun yöntem olarak belirlenmiştir. Gerçek değerleri temsil eden bir doğru etrafında, tahmin değerlerini gösteren, Şekil 5.31.'de verilen grafik ile uygun kriging yöntemleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.31. Uygun kriging yöntemlerinin tahmin ve gerçek değer yakınlıklarının karşılaştırılması

Yöntemlerin standartlaştırılmış hatalarının gerçek değerler karşısındaki konumu ise Şekil 5.32. ile verilen grafik ile gösterilmiştir.

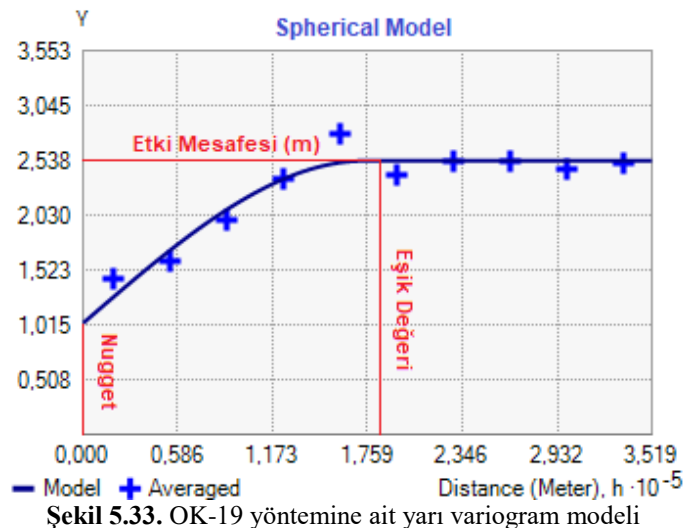


Şekil 5.32. Uygun kriging yöntemlerinin standart hatalarının, gerçek değerlere karşı gösterimi

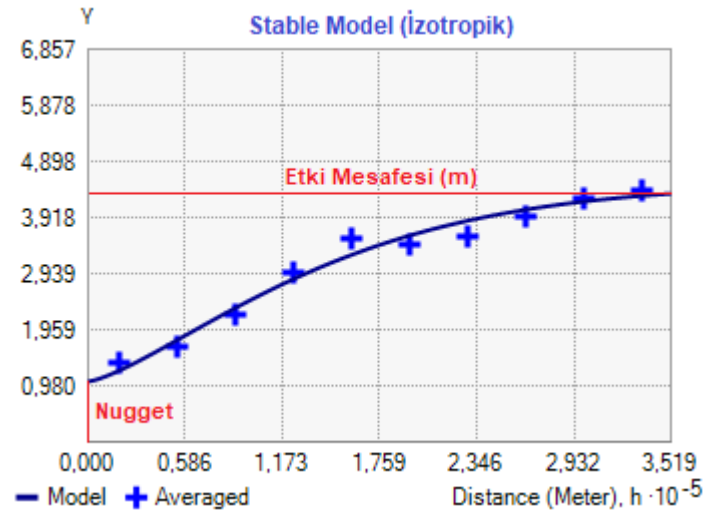
OK-19, SK-04, UK-11 ve COK-03 yöntemine ait yarı variogram modellerinin parametreleri Çizelge 5.41. ile ve bu modellerin biçimleri sırasıyla, Şekil 5.33., Şekil 5.34., Şekil 5.35. ve Şekil 5.36. ile verilmiştir.

Çizelge 5.41. Uygun kriging yöntemlerinin variogram parametreleri

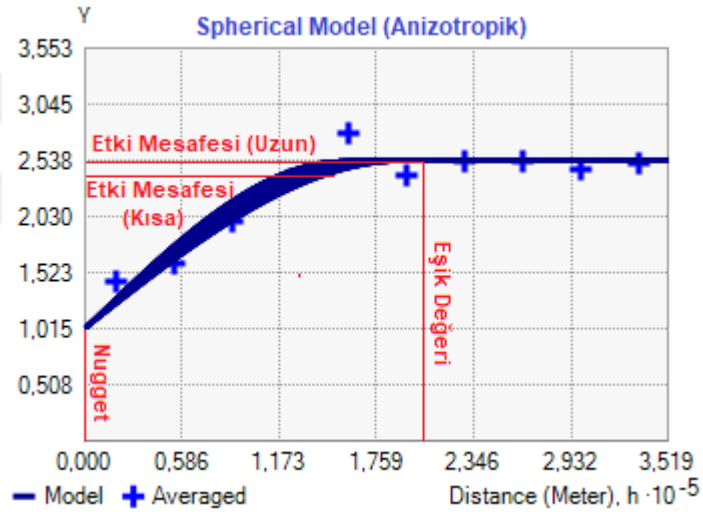
Yöntem	Model	Etki Mesafesi (Uzun) (m)	Etki Mesafesi (Kısa) (m)	Nugget	Eşik Değeri (C+C ₀)
OK-19	Küresel (İzotropik)	173993.165	-	1.032	2.535
SK-04	Stable (İzotropik)	351878.905	-	1.059	-
UK-11	Küresel (Anizotropik)	192926.466	155451.323	1.022	2.534
COK-03	Küresel (İzotropik)	351878.905	-	1.112	-



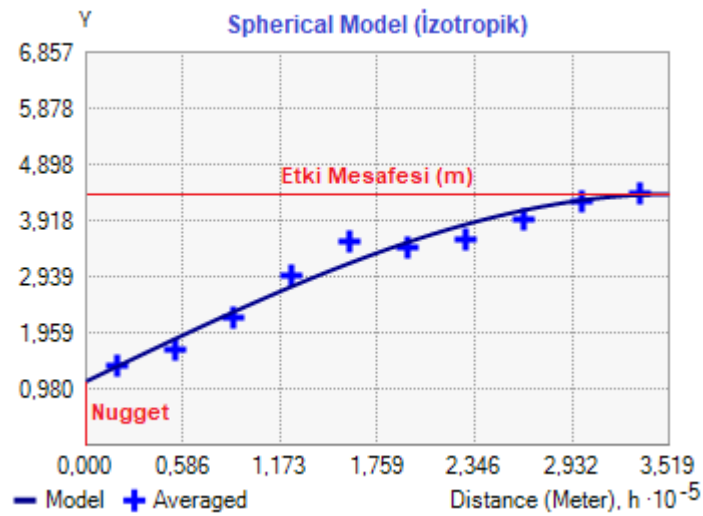
Şekil 5.33. OK-19 yöntemine ait yarı variogram modeli



Şekil 5.34. SK-04 yöntemine ait yarı variogram modeli



Şekil 5.35. UK-11 yöntemine ait yarı variogram modeli



Şekil 5.36. COK-03 yöntemine ait yarı variogram modeli

5.8. Deterministik Metotlardan Elde Edilen Tahmin Bulguları

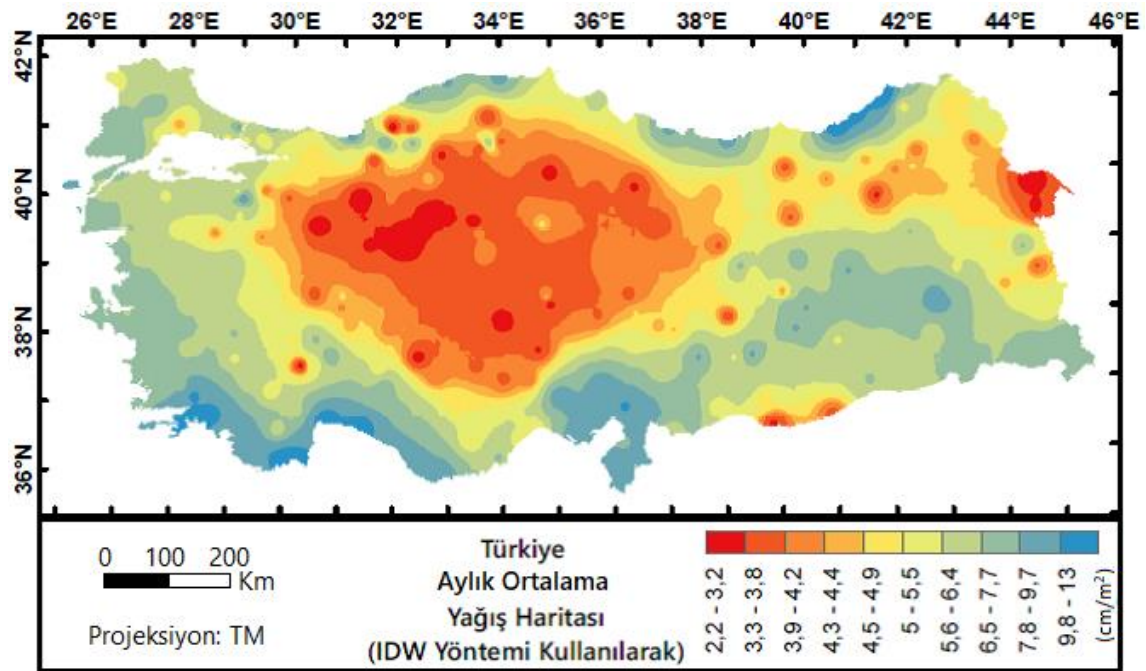
Deterministik metotlar ile yapılan tahminler IDW yöntemi ile 2. dereceden güç parametresi kullanılarak, GPI yöntemi ile 5. dereceden polinom denklemi kullanılarak, RBF yöntemi ile ise CRS yöntemi, SWT, Multiquadratic, Inverse Multiquadratic ve TPS yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. IDW, LPI ve RBF metotları için komşuluk arama özellikleri kriging yöntemleri için belirlenen özelliklere benzer şekilde tasarlanmıştır. Komşuluk arama yarıçapı izotropik olarak, istasyon noktaları arasındaki ortalama uzaklık ile belirlenmiştir. 4 sektöre bölünmüş, daire şekilli bir komşuluk arama alanının her bir sektörüne minimum 2 komşu veri düşmesi koşuluyla ve toplamda maksimum 20 veri içermesi koşuluyla, komşuluk özellikleri belirlenmiştir.

5.8.1. Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW) bulguları

IDW yöntemi için 2. dereceden güç parametresi kullanılarak elde edilen tahmin yüzeyine ait hata bulguları Çizelge 5.42. ile verilmiştir. Elde edilen tahmin haritası Şekil 5.37. ile verilmiştir.

Çizelge 5.42. IDW yöntemi ME ve RMSE değerleri

ME (cm/m ²)	0.049835
RMSE (cm/m ²)	1.397627



Şekil 5.37. IDW yöntemi kullanılarak elde edilen yağış haritası

Şekil 5.37. de görüldüğü gibi, IDW yöntemi ile elde edilen tahmin yüzeyi, istasyonlara yakın konumlar için yağış değerlerini daha belirgin biçimde göstererek artan mesafelerde daha pürüzsüz bir gösterim üretmiştir.

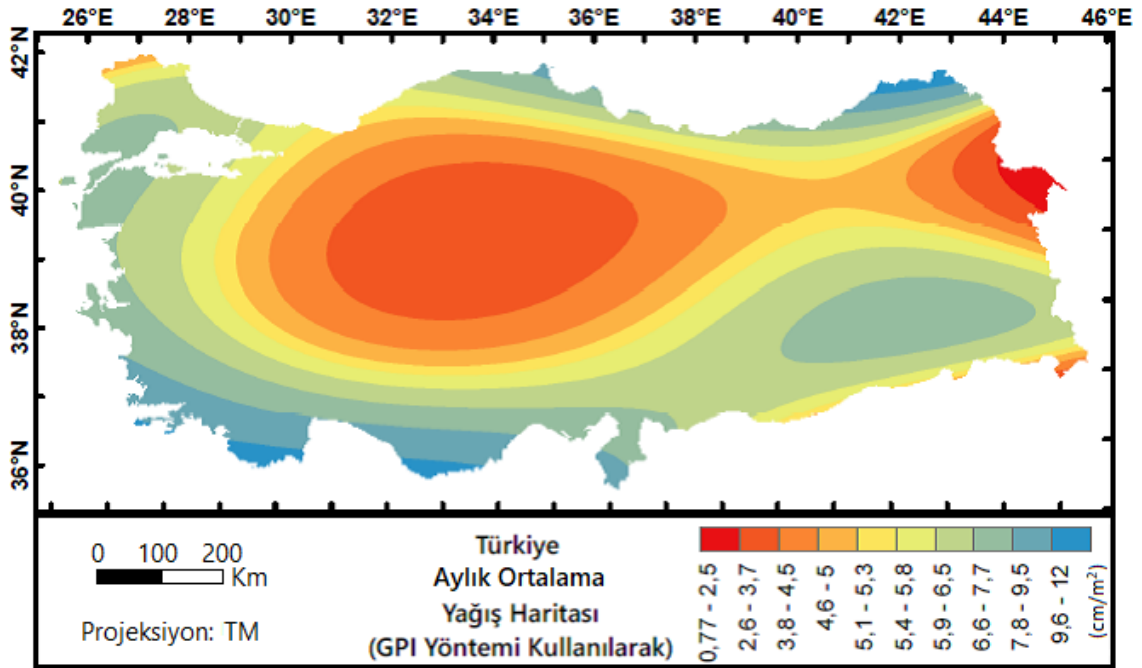
5.8.2. Global polinom enterpolasyonu (GPI) bulguları

GPI yöntemi ile yapılan tahminler 5. dereceden polinom denklemi ile gerçekleştirilmiş olup tahmin sonuçlarına ait hata değerleri Çizelge 5.43. ile verilmiştir.

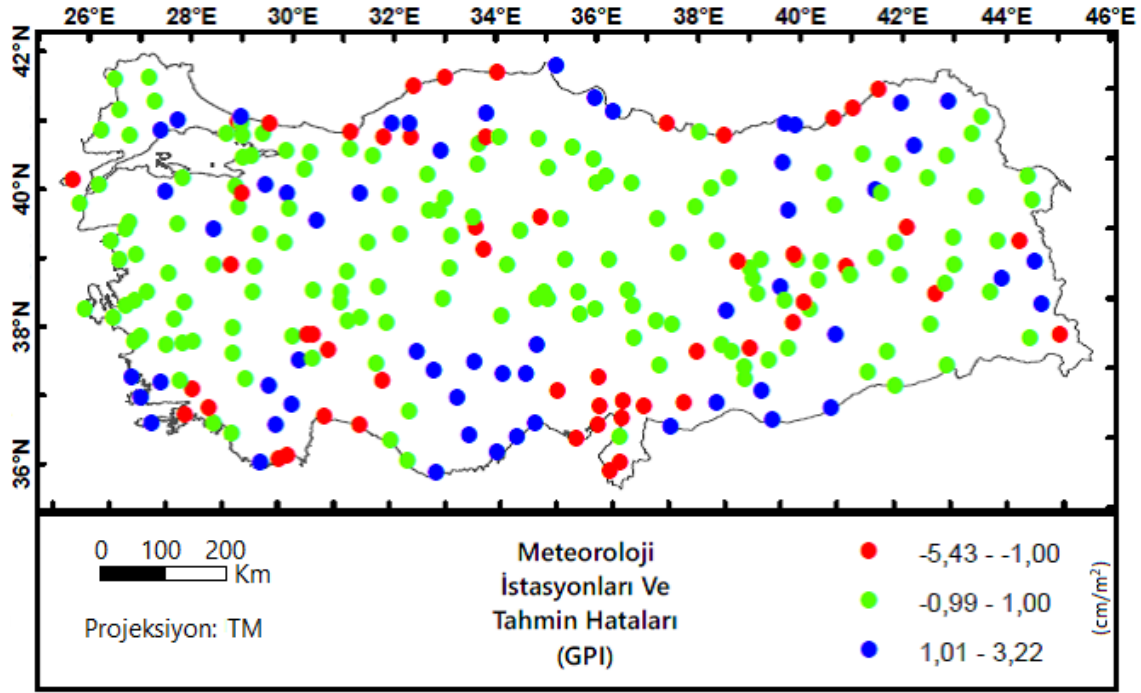
Çizelge 5.43. GPI yöntemi tahmin hataları

ME (cm/m ²)	-0.00094
RMSE (cm/m ²)	1.590015

GPI yöntemi ile elde edilen tahmin yüzeyi sonucunda ortaya çıkan yağış haritası Şekil 5.38. ile verilmiştir. Ayrıca tahmin değerleri ile meteoroloji istasyonlarına ait gerçek değerler arasında görülen hatalar Şekil 5.39. ile verilmiştir.



Şekil 5.38. GPI yöntemi ile elde edilen yağış haritası



Şekil 5.39. GPI yönteminin istasyon noktaları üzerindeki tahmin hataları

Şekil 5.39. ile görüldüğü üzere GPI yöntemi son derece pürüzsüz bir tahmin yüzeyi oluşturmuştur. Global olarak bütün örnek noktalarının aynı anda kullanımı ile oluşan bu yüzey, çalışma alanında görülen yağış değişikliklerinin konumsal olarak genel karakteristiğini göstermektedir. Ancak çok geniş alanlar için aynı değerlerin tahmin edilmesi kısa mesafelerde görülebilecek yağış değişikliklerini gösterememektedir.

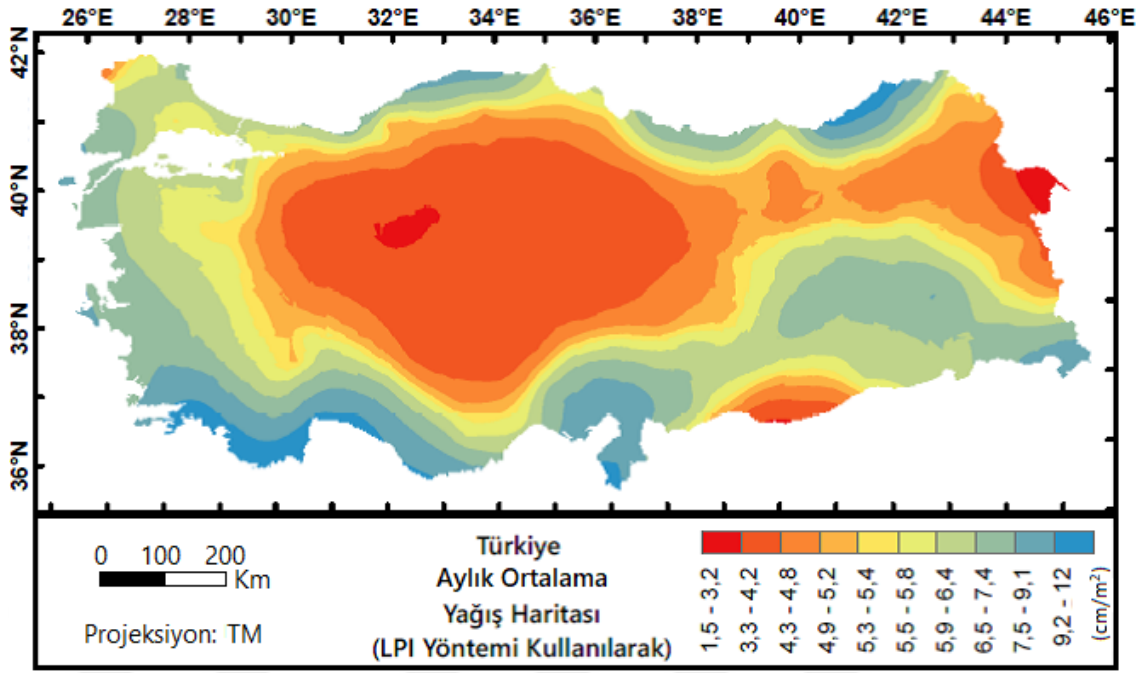
5.8.3. Yerel polinom enterpolasyonu (LPI) bulguları

Birinci dereceden polinom denklemleri ve üssel kernel fonksiyonu ile elde edilen LPI yüzeyine ait tahmin hata bilgileri Çizelge 5.44. ile verilmiştir.

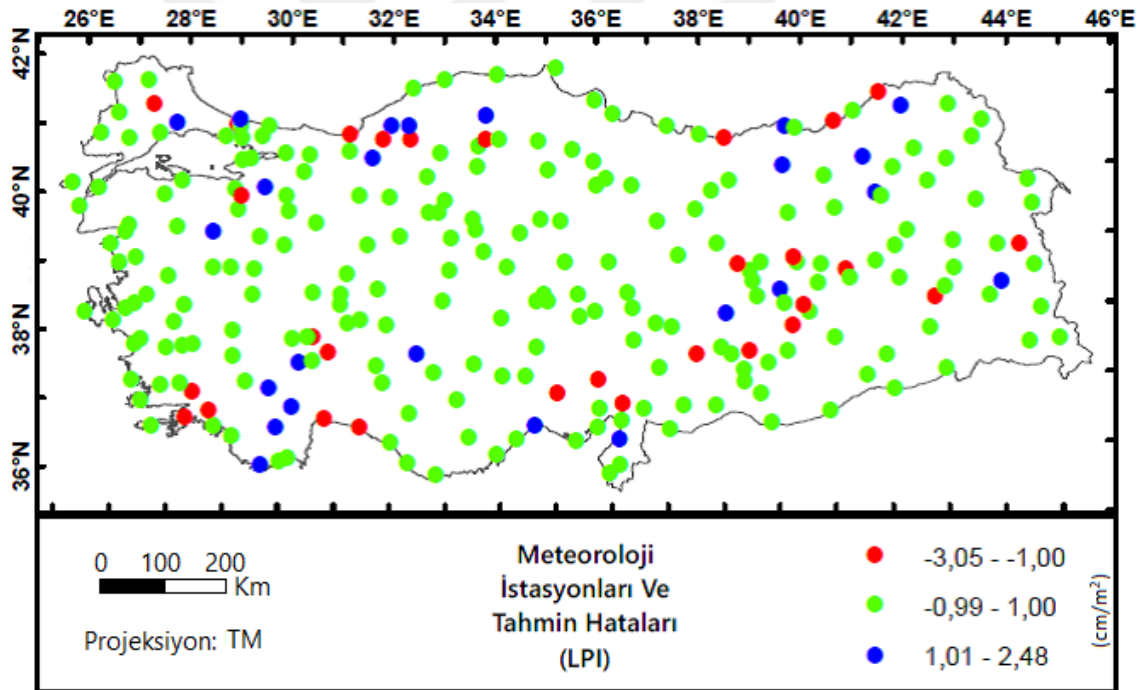
Çizelge 5.44. LPI yöntemi tahmin hataları

ME (cm/m ²)	0.111306
RMSE (cm/m ²)	1.36325

LPI yöntemi ile elde edilen tahmin yüzeyi sonucunda ortaya çıkan yağış haritası Şekil 5.40. ile verilmiştir. Ayrıca tahmin değerleri ile meteoroloji istasyonlarına ait gerçek değerler arasında görülen hatalar Şekil 5.41. ile verilmiştir.



Şekil 5.40. LPI yöntemi ile elde edilen yağış haritası



Şekil 5.41. LPI yönteminin istasyon noktaları üzerindeki tahmin hataları

Şekil 5.40.'da görüldüğü gibi LPI yöntemi ile GPI yöntemine göre daha belirgin bir yağış yüzeyi elde edilmiştir. Özellikle çalışma alanının Güneydoğusunda kurak ve yağışlı bölgeler için daha ayırt edici bir tahmin gerçekleşmiştir.

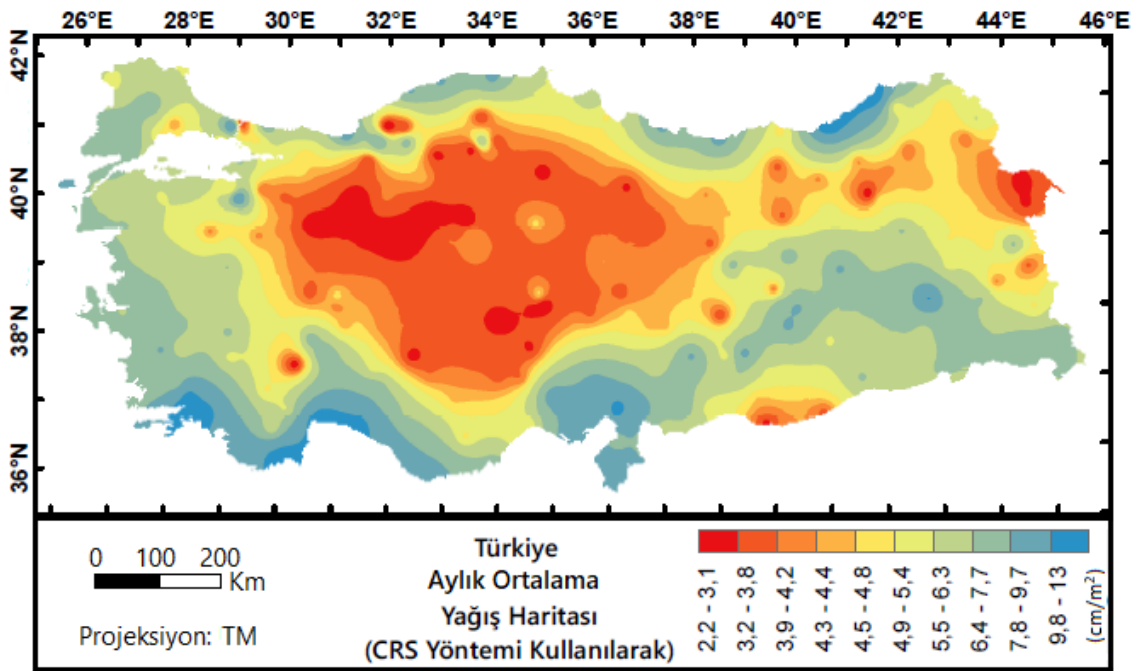
5.8.4. Radyal bazlı fonksiyonların (RBF) bulguları

CRS yöntemi ile elde edilen tahminler sonucunda ortaya çıkan tahmin hataları Çizelge 5.45. ile verilmiştir.

Çizelge 5.45. CRS yöntemi ile elde edilen tahmin hataları

ME (cm/m ²)	0.034092
RMSE (cm/m ²)	1.366687

CRS yöntemi ile elde edilen tahmin yüzeyi sonucunda ortaya çıkan yağış haritası Şekil 5.42. ile verilmiştir



Şekil 5.42. CRS yöntemi ile elde edilen yağış haritası

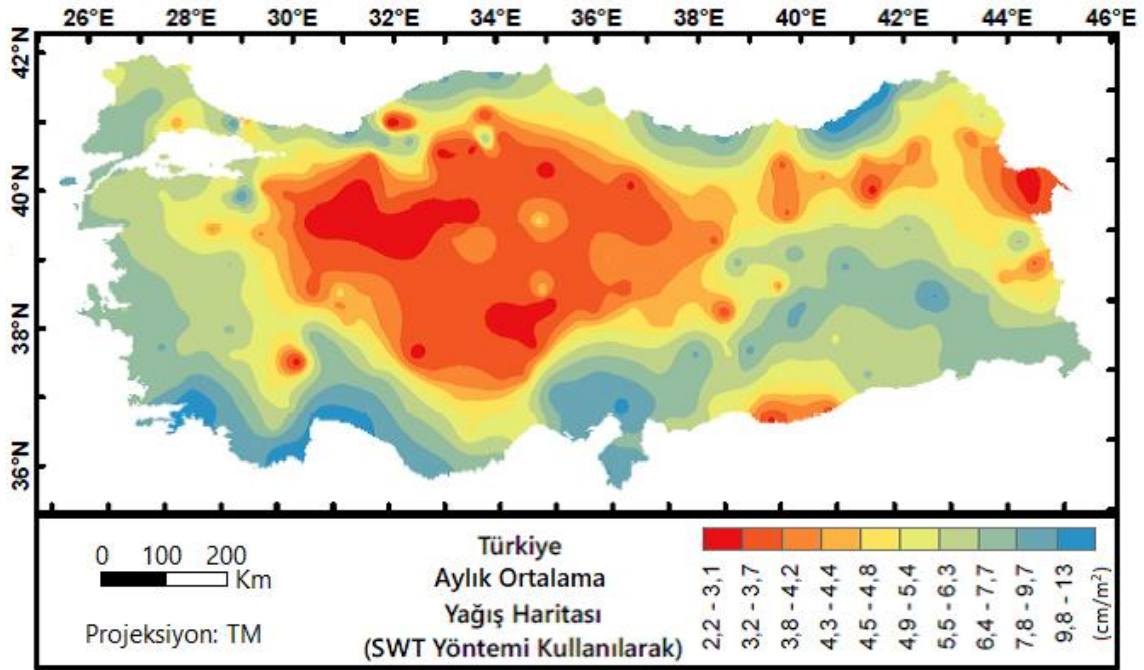
CRS yöntemi ile IDW yöntemine benzer bir tahmin yüzeyi elde edilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen yağış haritasına göre yerel özellikler GPI yöntemine göre daha ayırt edici şekilde gösterilmiştir.

SWT yöntemi ile elde edilen tahminler sonucunda ortaya çıkan tahmin hataları Çizelge 5.46. ile verilmiştir.

Çizelge 5.46. SWT yöntemi ile elde edilen tahmin hataları

ME (cm/m ²)	0.037093
RMSE (cm/m ²)	1.357545

SWT yöntemi ile elde edilen tahmin yüzeyi sonucunda ortaya çıkan yağış haritası Şekil 5.43. ile verilmiştir.



Şekil 5.43. SWT yöntemi kullanılarak elde edilen yağış haritası

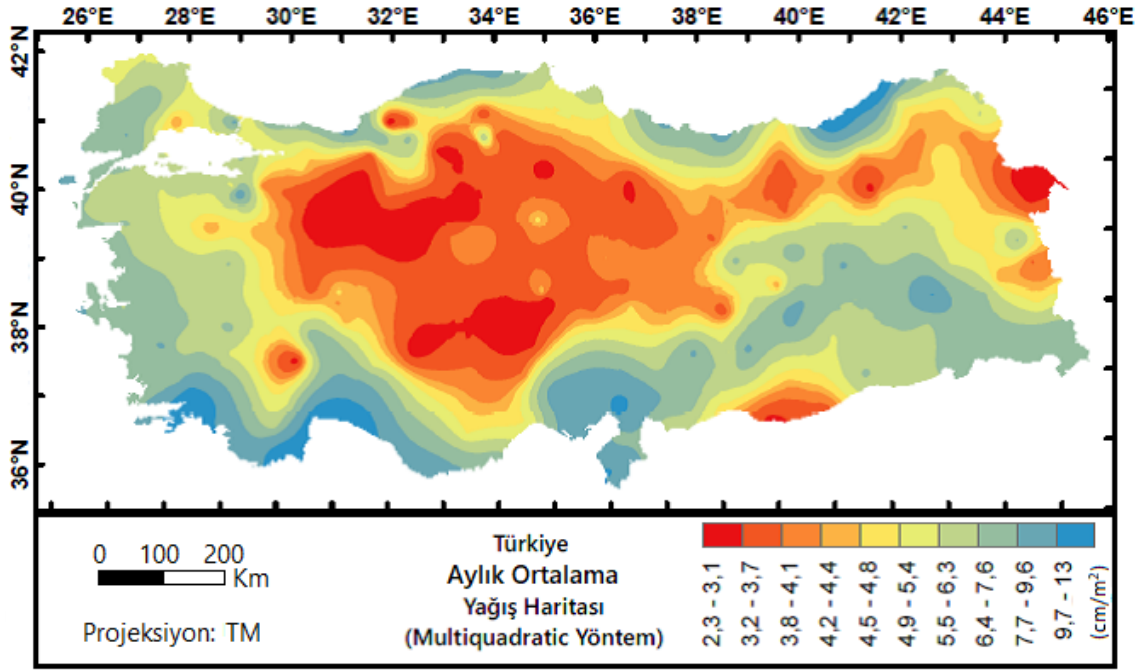
Şekil 5.43.'de görüldüğü gibi SWT yöntemi ile CRS yöntemi ile elde edilen yağış haritaları birbirine oldukça benzemektedir.

Multiquadratic yöntem ile elde edilen tahminler sonucunda ortaya çıkan tahmin hataları Çizelge 5.47. ile verilmiştir.

Çizelge 5.47. Multiquadratic yöntem ile elde edilen tahmin hataları

ME (cm/m ²)	0.043046
RMSE (cm/m ²)	1.334705

Multiquadratic yöntem ile elde edilen tahmin yüzeyi sonucunda ortaya çıkan yağış haritası Şekil 5.44. ile verilmiştir.



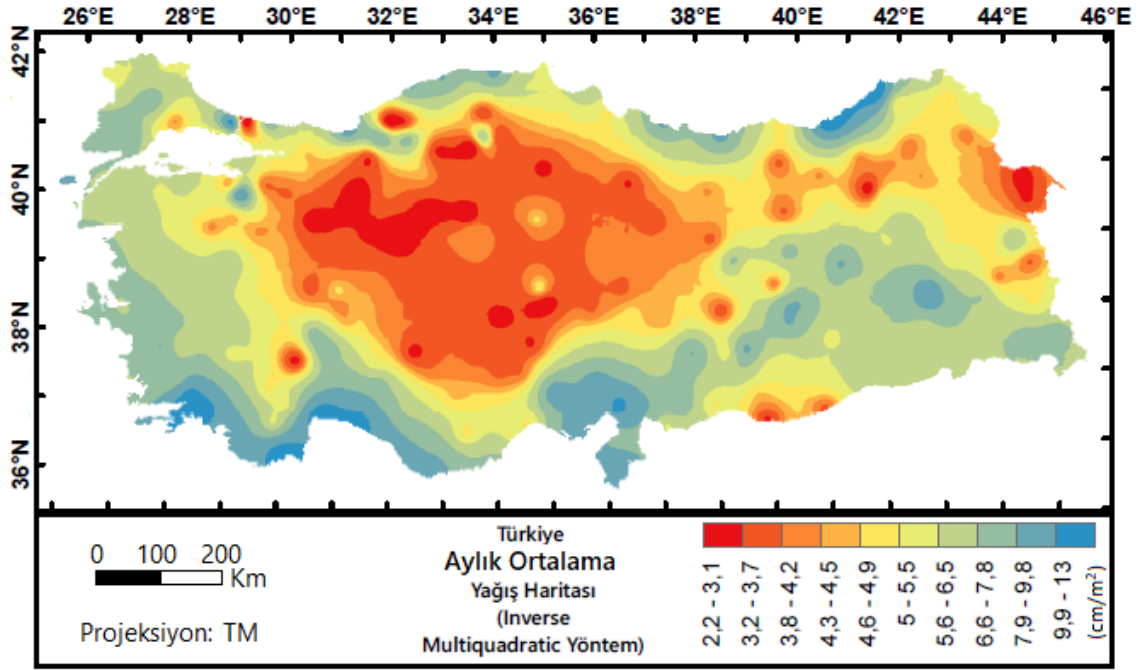
Şekil 5.44. Multiquadratic yöntem kullanılarak elde edilen yağış haritası

Inverse Multiquadratic yöntem ile elde edilen tahminler sonucunda ortaya çıkan tahmin hataları Çizelge 5.48. ile verilmiştir.

Çizelge 5.48. Inverse Multiquadratic yöntem ile elde edilen tahmin hataları

ME (cm/m ²)	0.043562
RMSE (cm/m ²)	1.408712

Inverse Multiquadratic yöntem ile elde edilen tahmin yüzeyi sonucunda ortaya çıkan yağış haritası Şekil 5.45. ile verilmiştir.



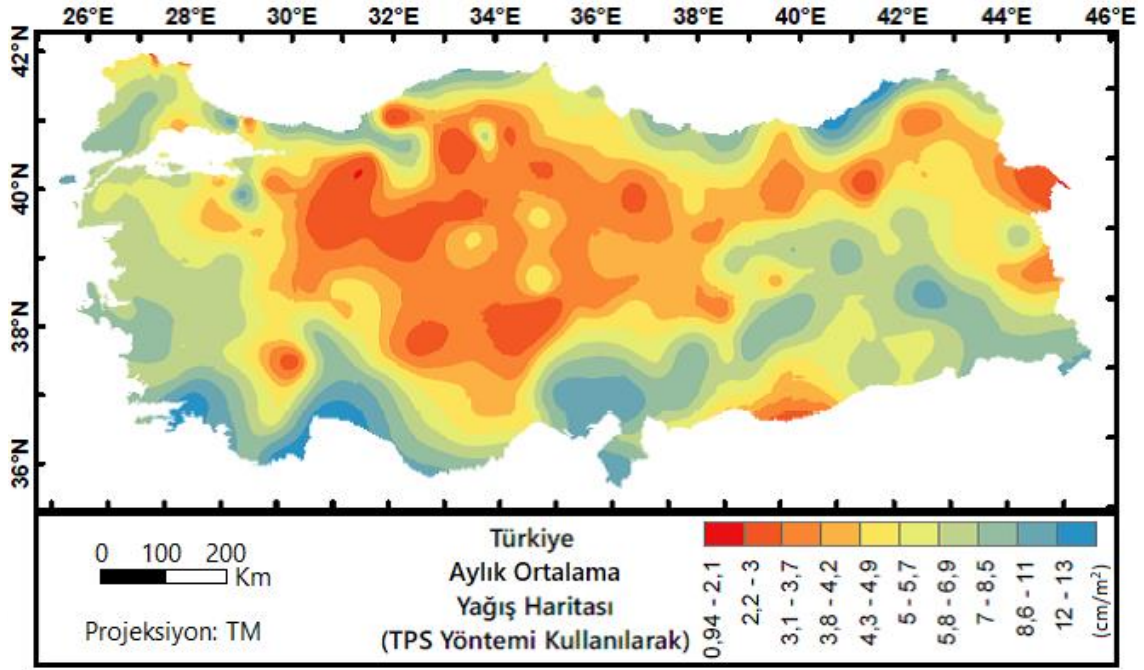
Şekil 5.45. Inverse Multiquadratic yöntem kullanılarak elde edilen yağış haritası

TPS yöntemi ile elde edilen tahminler sonucunda ortaya çıkan tahmin hataları Çizelge 5.49. ile verilmiştir.

Çizelge 5.49. TPS yöntemi ile elde edilen tahmin hataları

ME (cm/m ²)	0.068053
RMSE (cm/m ²)	1.481137

TPS yöntemi ile elde edilen tahmin yüzeyi sonucunda ortaya çıkan yağış haritası Şekil 5.46. ile verilmiştir.



Şekil 5.46. TPS yöntemi kullanılarak elde edilen yağış haritası

TPS yöntemi ile yapılan tahminler sonucunda, gerçek değerlere göre daha düşük ve daha yüksek değerli yağış tahminleri yapıldığı görülmektedir.

5.8.5. Deterministik metotların tahmin bulgularının karşılaştırılması

Deterministik yöntemler ile gerçekleştirilen tahmin sonuçlarına ait hata bulguları Çizelge 5.50. ile verilmiştir.

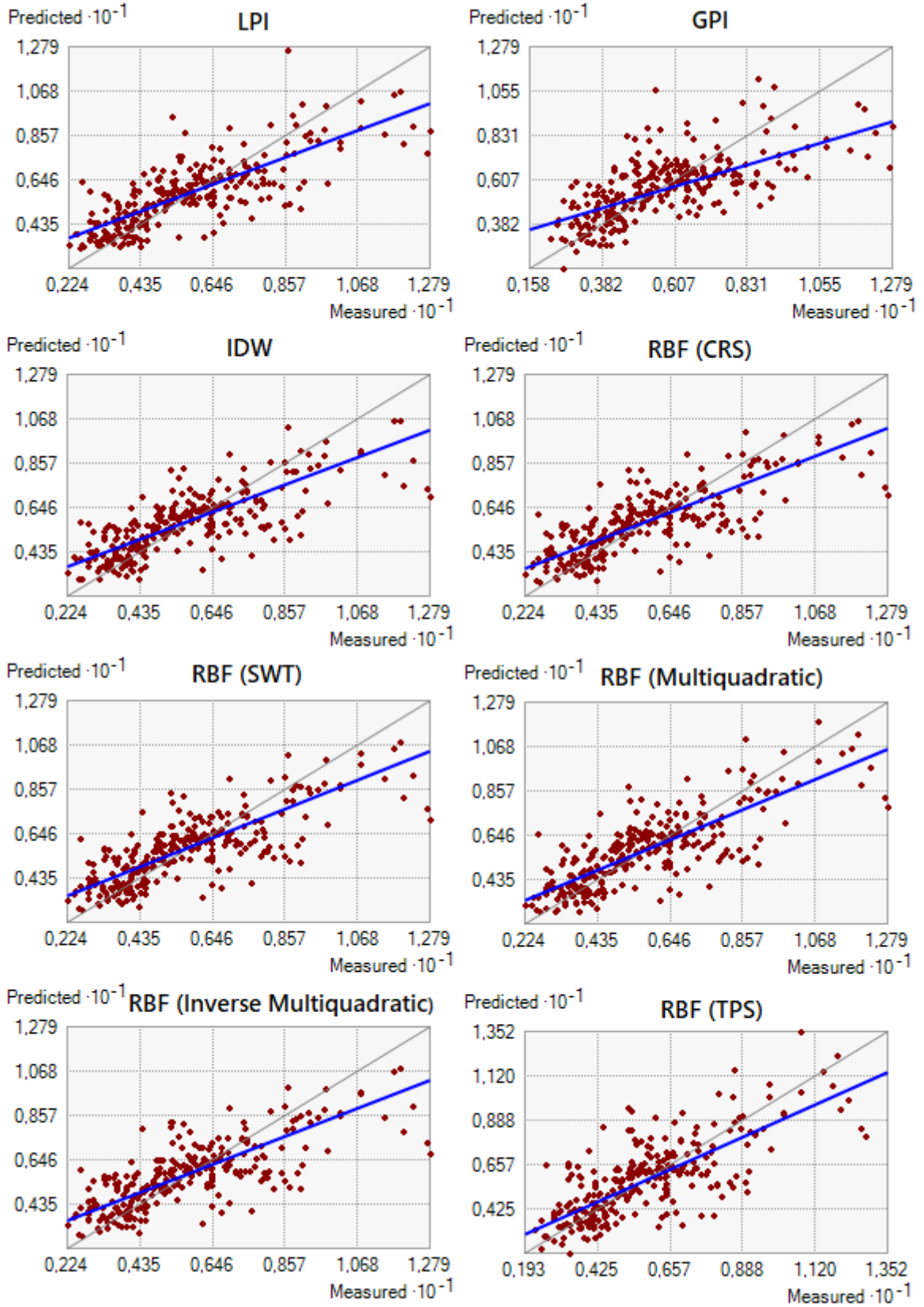
Çizelge 5.50. Deterministik metotların tahmin hataları

Yöntem	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)
IDW	0.049835	1.397627
GPI	-0.00094	1.590015
LPI	0.111306	1.36325
RBF (CRS)	0.034092	1.366687
RBF (SWT)	0.037093	1.357545
RBF (Multiquadratic)	0.043046	1.334705
RBF (Inverse Multiquadratic)	0.043562	1.408712
RBF (TPS)	0.068053	1.481137

Çizelge 5.50. ile verilen tahmin hataları bulgularına göre en yüksek tahmin hatası LPI yöntemi sonucunda görülmektedir. En düşük tahmin hatası ise GPI yöntemi ile elde edilmiştir. Ancak RMSE değerlerine göre en yüksek hata bulgusunu GPI yöntemi göstermektedir. Aslında GPI yöntemi ile elde edilen tahmin yüzeyi ve

sonuçları, son derece pürüzsüz bir konumsal trend yüzeyi olarak düşünülebilir. GPI ve LPI yöntemi dışında diğer yöntemlerin ME değerleri benzerlik göstermektedir. En düşük RMSE değeri ise RBF'nin Multiquadratic yöntemi ile elde edilmiştir. Deterministik metotların standartlaştırılmış tahmin hatalarının elde edilememesi nedeniyle bu tahmin hataları bulgularını değerlendirmek zordur. Bunun nedeni tahminlerin yanlılığı hakkında bilgi edinememizdir. Şekil 5.47'de görüldüğü gibi RBF yöntemleri diğer deterministik metotlara göre gerçek değerlere daha yakın tahmin sonuçları ortaya çıkarmıştır. Yine bu RBF yöntemleri arasından Multiquadratic ve TPS yöntemleri, gerçek değerlere en yakın tahmin sonucu oluşturan yöntemlerdir.





Şekil 5.47. Deterministik metotların tahmin modelleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

5.9. Kriging Metotları İle Deterministik Metotların Karşılaştırılması

Jeoistatistik analiz uygulamaları sonucunda dört farklı kriging yöntemi için belirlenen en uygun yöntemler ile deterministik yöntemlerden elde edilen tahmin bulguları karşılaştırılmıştır. Deterministik yöntemler için standartlaştırılmış tahmin hataları belirlenemediğinden, kriging yöntemleri ile deterministik yöntemler tahmin hataları için sadece ME ve RMSE değerleri göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır. Bu tahmin hataları Çizelge 5.51. ile verilmiştir.

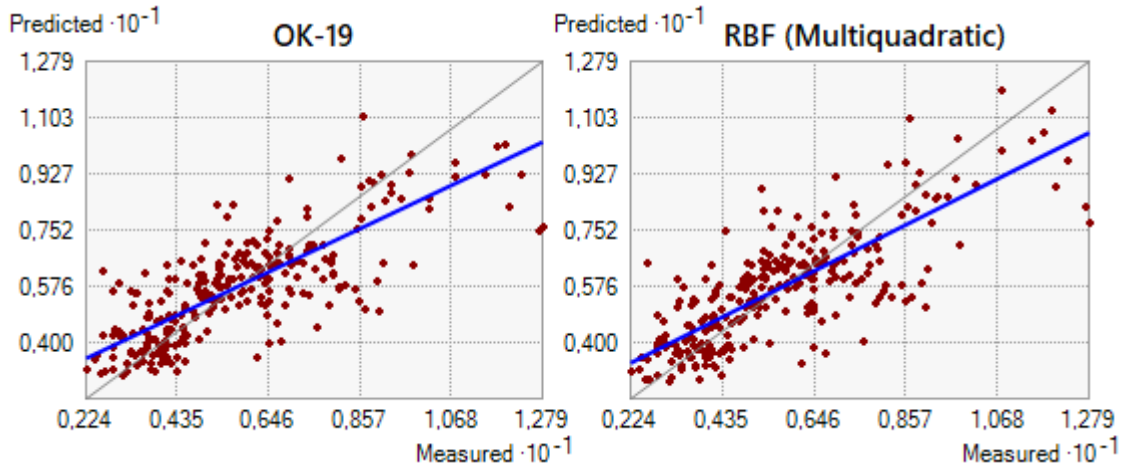
Çizelge 5.51. Geoistatistik ve Deterministik yöntemlerin tahmin hataları

Yöntem	ME (cm/m ²)	RMSE (cm/m ²)
OK-19	0.016586776	1.349102449
SK-04	-0.015954417	1.339301751
UK-11	-0.014241881	1.403635131
COK-03	0.00309591	1.341705234
IDW	0.049835287	1.397627003
GPI	-0.000941503	1.590015206
LPI	0.111305875	1.363250275
RBF (CRS)	0.034092339	1.366687488
RBF (SWT)	0.037093256	1.357544635
RBF (Multiquadratic)	0.043046236	1.334704855
RBF (Inverse Multiquadratic)	0.043561766	1.408711736
RBF (TPS)	0.068053195	1.481137299

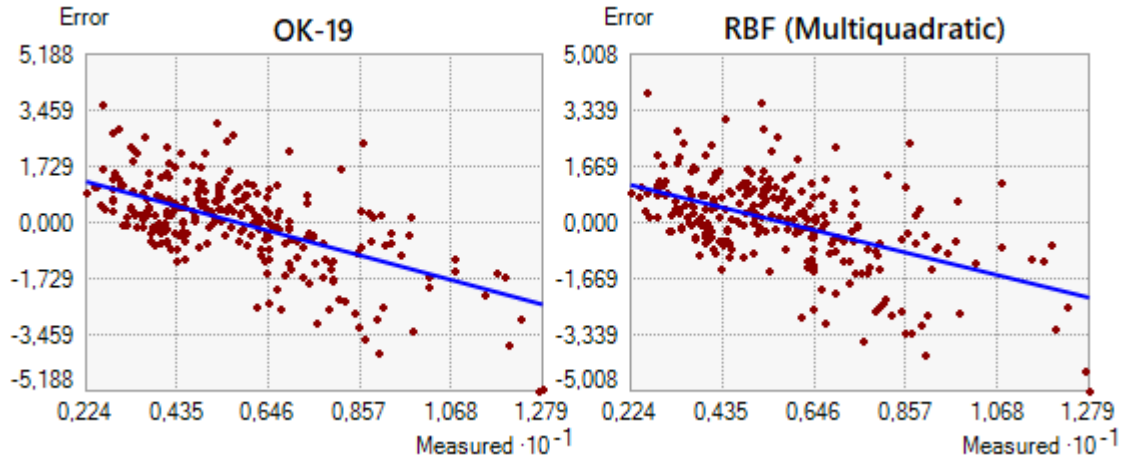
Çizelge 5.51. ile verilen hata bulgularına göre, UK-11 yöntemi dışında diğer kriging yöntemleri düşük RMSE değerlerine sahiptir. En düşük RMSE değeri Multiquadratic yöntem ile görülmektedir ve bu değer Kriging yöntemlerinin hata bulgularına en yakın değerdir. Genel olarak kriging yöntemleri ME değerleri bakımından deterministik yöntemlere göre daha güvenilir ve uygun sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Deterministik yöntemler için hesaplanan tahmin hataları, bu yöntemlerin yanlılıkları bilinmediğinden, tahmin modelinin güvenilirliği hakkında sadece kendi uygulamaları arasında karşılaştırma yapılabilmesini sağlayabilir. Kriging yöntemlerinin standartlaştırılmış hata bulguları ile tahminin güvenilirliği ve uygunluğu değerlendirilebilir.

En uygun kriging yöntemi olarak belirlenen OK-19 yöntemi ve deterministik yöntemler için kriging yöntemlerine en yakın RMSE değerine sahip olan Multiquadratic yöntem ile gerçekleştirilen tahminlerin gerçek değerlere yakınlığını gösteren grafikler

ve tahmin hatalarının gerçek değerler üzerindeki dağılımını gösteren grafikler sırasıyla Şekil 5.48. ve Şekil 5.49. ile verilmiştir.



Şekil 5.48. OK-19 ve Multiquadratic yöntem tahminlerinin gerçek değerlere yakınlığı



Şekil 5.49. OK-19 ve Multiquadratic yöntem ile tahmin hatalarının dağılımı

5.10. Tartışma

Farklı yaklaşımlar ile gerçekleştirilen jeostatistik analiz uygulamalarının çapraz değerlendirme bulgularına göre verilerin dağılım şekli, trend etkisi, kriging tahminleri için seçilen yarı variogram modelleri ve anizotropik veya izotropik uygulamaların tahminleri nasıl etkilediği belirlenmiştir. Tahminler arasında farklı sonuçlar görülmektedir. Veri setinin özellikleri bakımından, araştırmacılar tarafından önerilen uygulama yaklaşımlarına karşın daha uygun sonuçlar elde edilen uygulama yaklaşımları tespit edilmiştir. Johnston ve ark. (2001); Krivoruchko (2005) 'ya göre çarpık dağılımlı verilerin, çeşitli dönüşümler ile normal dağılıma yaklaştırılması gerektiğini önermektedirler. Buna ek olarak Oliver ve Webster (2015) 'e göre ise kriging

yöntemleri için normal dağılımlı veri gerekli değildir ancak, yarı variogram modelinin çarpık dağılımlı veriler ve aykırı değerler ile uygun şekilde oluşmayacağını ancak aykırı değerler içeren verinin normal dağılıma dönüştürülmesi ile de uygun olmayan tahmin sonuçları hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışma ile yağış verileri için gerçekleştirilen logaritmik dönüşüm ile elde edilen tahmin sonuçları ile çarpık dağılımlı veriler ile elde edilen tahmin sonuçları arasında sadece yarı variogram modellerinin nugget varyansı açısından farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Normal dağılıma yaklaştırılan veriler ile oluşturulan yarı variogram modellerinin tamamı çarpık veriler ile oluşturulan modellere göre önemli derecede düşük nugget varyansları oluşturmuştur. Buna karşın çarpık dağılımlı verilerin kullanıldığı uygulamalar daha düşük RMSE, daha düşük ASE, daha düşük MSE, 1'e daha yakın RMSSE değerleri ve birbirine daha yakın RMSE ve ASE değerleri ortaya çıkarmıştır. Böylece bu çalışma alanı ve konusu için çarpık dağılımlı veri kullanımının daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Farklı jeostatistik analiz çalışmaları için ise bu çalışmada olduğu gibi veri dağılımının tahminleri nasıl etkilediği araştırılmalıdır.

Ortalama olarak, trend etkisinin kaldırılmadığı uygulamaların çapraz değerlendirme bulguları incelendiğinde, trend etkisinin kaldırıldığı uygulamalara göre genel olarak daha iyi ve uygun sonuçlar gözlemlenmiştir. Trend etkisinin kaldırıldığı uygulamalarda RMSE ve ASE arasındaki farkın daha fazla olduğu ve ASE değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca bu uygulamaların çoğunluğunun yarı variogram modeli eşik değerine ulaşırken, trend etkisinin kaldırılmadığı uygulamaların çoğu için ise yarı variogram modelleri eşiksiz yapı göstermiştir. Ancak OK-19 yöntemi trend etkisinin kaldırılması ile gerçekleştirilmiş olup, bu çalışmada belirlenen en uygun uygulama yöntemidir. Trend etkisinin kaldırılması ve bu şekilde yapılan tahminler Johnston ve ark. (2001)'nin belirttiği gibi dikkatle yürütülmelidir ve mümkünse kaldırılacak trend yüzeyi olabildiğince düşük dereceden polinomlar ile elde edilmelidir.

Anizotropik ve izotropik uygulamalar arasındaki çapraz değerlendirme bulguları incelendiğinde ise izotropik uygulamaların daha uygun tahmin hataları oluşturduğu gözlemlenmiştir. Yine bu konu hakkında araştırmacılar anizotropik varyasyonun önemli bir bulgu olduğunu ve bu durumun gözetilerek tahminlerin yapılmasını önermektedir. Ancak mevcut veri ve çalışma alanı için izotropik uygulamalar daha uygun sonuçlar üretmiştir. Anizotropik uygulamalar daha yüksek ASE değerleri ve RMSE ile ASE değerleri arasında daha fazla farklılıklar oluşturmuştur.

Yarı variogram modelleri için incelenen çapraz değerlendirme bulgularına göre ise Üssel model ile düşük RMSE değerleri elde edilmesine karşın RMSE ve ASE değerleri arasındaki farkın Küresel ve Stable modellerine göre fazla olduğu görülmüştür. Aynı durum Gaussian modeli için de görülmektedir ve bu model ile yüksek ASE değerleri elde edilmiştir. Stable yarı variogram modeli için düşük RMSE ve ASE farkı görülmektedir ancak Üssel modele göre daha yüksek RMSE değerleri oluşturmuştur. Küresel yarı variogram modeli ise en düşük RMSE, en düşük ME, en düşük MSE, düşük ASE ve en az RMSE ve ASE farklarını oluşturarak bu çalışma için en uygun model olarak tespit edilmiştir. OK, SK ve UK yöntemleri için belirlenen Gaussian ve Stable modelleri, izotropik olarak ve trend etkisi ile birlikte gerçekleştirilen uygulamalar dışında tamamen aynı çapraz değerlendirme ve tahmin sonuçları oluşturmuştur. Bunun nedeni Gaussian ve Üssel yarı variogram modelleri arasında denge kuran Stable modelinin, Gaussian yarı variogram modeli davranışı göstermesidir.

Logaritmik dönüşüm ile normale yaklaştırılan verilerin kullanıldığı aynı zamanda trend etkisinin kaldırıldığı uygulamalar daha olumsuz çapraz değerlendirme sonuçları üretmiştir.

Matheron (1969); Krivoruchko (2005); Sarma (2010) tarafından, konumsal trend etkisinin görüldüğü çalışmalar için durağanlık varsayımı olmayan UK yönteminin kullanılması önerilmiştir. Ancak uygulamalar için kullanılan veri setinin, çalışma alanı boyunca belirgin bir trend etkisi bulguları göstermesine rağmen UK yöntemi diğer kriging yöntemlerine göre daha iyi tahmin sonuçları üretememiştir. Burada veri setinin istatistiksel özellikleri, trend etkisinin kaçınılmaz dereceden polinom denklemleri ile kaldırıldığı gibi hususlar bu yöntemin sonuçlarının değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bu yüzden UK yönteminin bu çalışma dışında da diğer yöntemlere göre uygun sonuçlar vermeyeceği düşünülemez.

Kriging yöntemleri sonucunda ortaya çıkan tahmin hatalarının kuzey ve güney kıyı şeridinde yer alan istasyonlar için yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni iç kesimlere doğru azalan yağış değerleri, kıyı kesimlerinde görülen yüksek yağış değerlerini yumuşatarak azaltmasıdır. Böylece gerçek yağış değerleri ile tahmin değerleri arasındaki fark açılmaktadır. Bu yumuşatma etkisi nedeniyle, komşuluk arama alanı genişlikleri uygun şekilde araştırılmalıdır. Ege kıyılarında yer alan istasyon noktaları için ise tahmin hataları oldukça düşük görülmektedir. Bu durum Ege Bölgesi'nde yer alan dağların kıyıya dik uzanması ile kıyı ve iç kesim arasındaki yağış farklılıklarının daha az görülmesinden kaynaklanmaktadır. Böylece tahmin hatalarının

gösterildiği haritalar ile kısa mesafe ile değişen yağış rejimleri için etkili şekilde yorum yapılabilir. Kriging yöntemleri ile elde edilen tahmin haritaları, çalışma alanının, bilinen yağış özelliklerini uygun şekilde yansıtmaktadır.

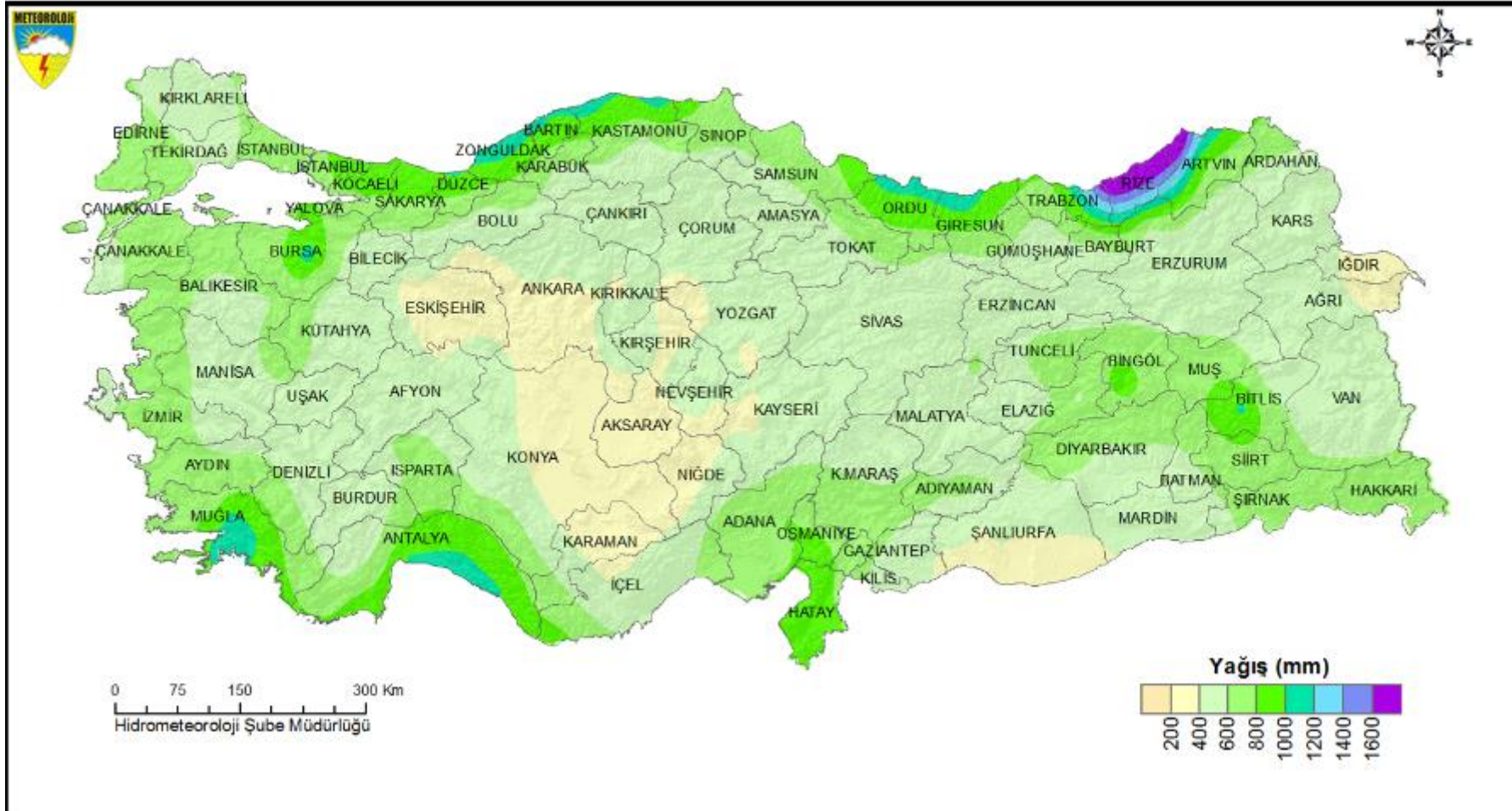
Deterministik metotlar incelendiğinde bu yöntemler düşük RMSE ve ME değerleri elde etmesine karşın tahmin güvenilirliği ve yanlılığı hakkında bilgi elde edilememektedir. Ayrıca IDW ve RBF yöntemleri tam tahminler olduklarından, tahmin değerleri ile istasyon noktalarının gerçek değerleri karşılaştırılmamaktadır. IDW ve RBF yöntemleri sonucunda elde edilen tahmin yüzeyleri LPI, GPI ve kriging yöntemleri ile oluşturulan yüzeylere göre daha yerel desenler oluşturmaktadır. Örneğin bir istasyon noktasına ait yüksek bir yağış değeri, elde edilen tahmin yüzeylerinde kendi etrafında dar bir alanı temsil etmektedir. Bunun nedeni bu tam tahminci metotların yağış değerini yumuşatmamasıdır. Buna karşın LPI, GPI ve kriging yöntemleri de mevcut istasyonlara ait yağış değerlerini yumuşatarak daha pürüzsüz tahmin yüzeyleri oluşturmaktadır. Varsayımların doğrulanması ve konumsal otokorelasyonun araştırılması gerekmeyen deterministik yöntemler uygulanış açısından kriging yöntemlerine göre daha kolay bir süreç sunmaktadır.

Meteoroloji istasyonlarının yağış verisi ile yükseklik verisi arasındaki korelasyona göre tahmin yapılan COK yöntemi esasen OK yönteminin ikincil veriler ile desteklenmesi ve daha uygun tahmin sonuçları üretmek için kullanılmıştır. OK ve COK yöntemi birbirine benzer tahmin sonuçları oluştursa bile sayısal olarak OK yöntemleri ile genel olarak daha uygun tahmin bulguları elde edilmiştir. Bunun nedeni ikincil değişken olarak kullanılan yükseklik bilgisi ile kıyı ve alçak kesimlerde görülen yüksek yağış verisi bu yönde bir korelasyon oluşturarak iç kesimlerde alçak bölgelerin de yağış değerlerinin yüksek şekilde tahmin edilmesine neden olmuş olabilir. Aslında yüksek konumlarda yağış miktarının artması beklenir. Bu iki değer arasında güçlü bir ilişki kurulamadığından veya çalışma alanının doğal özellikleri bakımından yağışın sadece yüksekliğe bağlı olmaması gibi nedenlerden ötürü OK yöntemleri ile elde edilen bulgular, yükseklik bilgisi kullanılan COK yöntemlerine göre daha uygun tahmin sonuçları oluşturmuştur. Bu iki yöntem arasında bir karşılaştırma yapmak yerine, yağış verisi ile hangi ikincil verilerin daha ilişkili olduğu belirlenerek, ikincil veya daha fazla veri kullanımı ile tahmin modeli iyileştirilebilir. Yağış verileri ile birlikte, Gundogdu (2014; 2017) COK yöntemi için ikincil veriler olarak yön ve eğim verileri kullanması sonucunda uygun tahmin bulguları elde etmiştir. Buna göre COK yöntemi için ikincil verilerin yağış tahminlerine etkisi deneysel olarak araştırılmalıdır. SK yöntemi

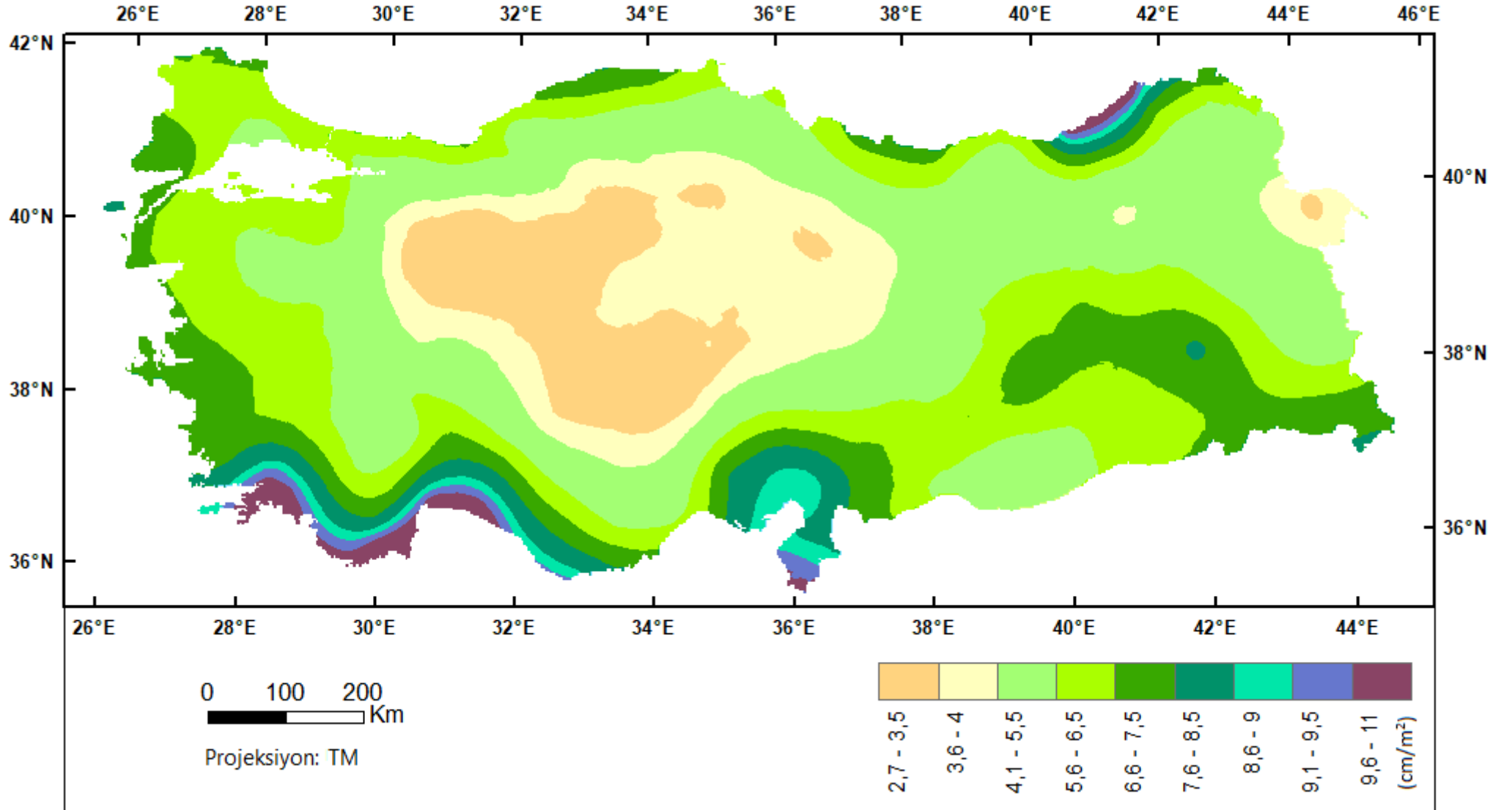
uygulanış açısından OK yönteminin aksine, çalışma alanı boyunca veri değerleri için sabit bir ortalama varsayar. Bu yöntemin farklı çözümüne rağmen OK yöntemine yakın ve uygun bulgular elde edilmiştir. şekil 5.50. ile MGM'nin OK yöntemi kullanarak hazırladığı yıllık toplam yağış haritası verilmiştir. Bu tez çalışmasında OK yöntemi ile elde edilen en uygun aylık toplam yağış haritası, şekil 5.50. ile verilen yıllık toplam yağış haritasının gösterim özelliklerine benzetilerek şekil 5.51 ile verilip bu iki harita karşılaştırılmıştır.



YILLIK TOPLAM ALANSAL YAĞIŞ NORMALLERİ (1981-2010)



TÜRKİYE - Aylık Ortalama Yağış Haritası



Şekil 5.51. MGM haritası ile karşılaştırılmak üzere tasarlanan, OK-19 yöntemi ile oluşturulan Türkiye ortalama aylık yağış haritası

Yukarıda verilen haritalar arasında aylık ve yıllık ortalama toplam yağışın gösterimi açısından temel bir fark vardır. Ancak iki harita birbirinin veri büyüklüğü açısından ölçeklenmiş hali olarak düşünülebilir. Şekil 5.51’de görüldüğü gibi Şekil 5.50.’ye göre Hatay’ın Güneyi, Antalya ve Muğla’nın kesiştiği bölge, İçel’in kıyı kesimleri ve Adana için daha yüksek yağış değerleri gösterilmiştir. Rize için ise yüksek yağış değerleri kıyı kesiminde daha dar bir şerit boyunca yoğunlaşmıştır. İç Anadolu’da görülen düşük yağış değerleri her iki haritada benzer şekilde gösterilmiştir. Diğer konumlar için ise iki harita oldukça benzer bir doku taşımaktadır. Burada iki harita arasındaki en belirgin fark Akdeniz Bölgesi’nde görülmektedir. Ayrıca haritaların tahmin doğrulukları farklıdır. Şekil 5.51 ile Akdeniz Bölgesi’nde en yüksek yağış değerleri gösteren bölgeler incelendiğinde bu bölgelerin AFAD verilerinde yer alan, Muğla’nın Marmaris ve Köyceğiz ilçelerinde, Antalya’nın Manavgat, Kumluca, Serik ve Kaş ilçelerinde, Hatay’ın Altınözü ilçesinde ani yağışlara bağlı olarak gerçekleşen sel ve taşkın olayları ile örtüştüğü gözlemlenmektedir (AFAD, 2018). Şekil 5.51 üzerinde gösterilen yüksek yağış değerli konumlar, Şekil 5.50 ile verilen yağış haritasına göre daha önce gerçekleşen sel ve taşkın olaylarının görüldüğü konumları daha açık şekilde ortaya koymaktadır.

Devlet Su İşleri ve MGM uzmanları tarafından yağışların konumsal dağılımını en iyi temsil edecek konumsal tahmin yönteminin araştırıldığı (Akbaş, 2015)’in çalışmasında IDW ve OK yöntemlerinin kullanımı önerilmiştir ve en uygun OK tahmini Üssel yarı variogram modeli kullanılarak, 176.5 mm RMSE değeri ile elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında OK-19 yönteminin RMSE değerinin 1.349 cm/m² olması, oldukça uygun tahmin değerleri elde edilmesini ve doğru şekilde uygulanan jeostatistik analizin tahmin sonuçlarını ne kadar iyileştirebileceğini göstermektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez ile çalışma alanında mevcut bulunan meteoroloji istasyonlarına ait uzun yıllar aylık ortalama yağış değerleri kullanılarak, yağış değerlerinin bilinmediği konumlar için uygun tahmin yöntemleri ve analiz yaklaşımları tespit edilerek, çalışma alanı boyunca uygun bir tahmin haritası oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, meteoroloji alanında yaygın olarak kullanılan deterministik tahmin yöntemleri ile madencilik alanında yaygın olarak kullanılan ve diğer disiplinlere de yayılmış olan jeostatistik yöntemler karşılaştırılarak en uygun tahmin yöntemi belirlenmiştir. Farklı şekilde gerçekleştirilen birçok uygulama sonucunda şu bilgiler kazanılmıştır;

Jeostatistik analiz yöntemlerinin farklı özellikli uygulamaları sonucunda, uygulamaların birçoğu uygun tahmin sonuçları üretmiştir.

Deterministik metotlar ile elde edilen tahmin hataları bulguları uygun değerler gösterse de tahminlerin yanlılığı hakkında bilgi edinilememektedir. Bu bakımdan jeostatistik yöntemler yerine deterministik yöntemlerin kullanımı sadece bu yöntemleri uygulanış kolaylığı açısından fayda sağlayabilirler. GPI yöntemi ile elde edilen tahmin yüzeyleri konumsal trend hakkında bilgi verebilir ancak düzenli olarak değişkenlik gösteren bu tahmin yüzeyi gerçekliği yansıtmaması açısından tartışılabilir. IDW ve RBF yöntemleri ise yaygın olarak kullanılmasına karşın, istasyon konumlarına yakın konumlar için daha yanlı bir tahmin yüzeyi oluşturdukları gözlemlenmiştir. LPI yöntemi ile elde edilen tahmin hatası bulguları ise GPI yöntemi dışında diğer yöntemlere göre daha az uygundur.

Kıyı kesimlerden iç kesimlere doğru azalan yağış miktarı, çalışma alanında konumsal bir trend etkisi göstermektedir. Bu trend etkisi teorik olarak durağanlık koşulunun sağlanmasını önleyeceğinden, trend etkisinin kaldırılması önerilmesine rağmen birçok durumda trend etkisinin kaldırılmadığı uygulamalar ile uygun tahmin değerleri elde edilmiştir. Trend etkisinin kaldırıldığı uygulamalar ile trend etkisi ile birlikte yürütülen uygulamalar arasında önemli derecede farklılıklar görülmemiştir.

Çarpık dağılımlı verilerin kullanımı sonucunda genel anlamda, logaritmik dönüşüm ile normale yaklaştırılan verilerin kullanıldığı tahminlere göre daha uygun sonuçlar elde edilmiştir. Teorik olarak normal dağılımlı verilerin daha iyi sonuçlar göstermesi beklenirken burada elde edilen bulgulardan yola çıkarak jeostatistik çalışmaların deneysel şekilde yürütülmesi faydalı olacaktır.

UK yöntemi trend etkisinin bulunduğu çalışmalar için önerilmesine rağmen bu çalışmada diğer yöntemlere göre daha az uygun tahmin sonuçları elde edilmiştir.

Farklı jeostatistik uygulamaların benzer sonuçlar üretmesi nedeniyle, jeostatistik uygulamaların çoğu zaman uygun ve yansız tahmin yüzeyleri oluşturabileceği düşünülebilir.

Yağış değişkeninin yarı variogram fonksiyonları ile konumsal bağımlılığının araştırılması ve tahmin esnasında bu bağımlılık modelinin kullanılması, jeostatistik yöntemleri deterministik yöntemlere göre üstün kılmaktadır.

Deterministik yöntemler arasında en uygun yöntem RBF'nin Multiquadratic yöntemi olarak belirlenmiştir. Ancak uygun tahmin metotlarının geneli bakımından, bu çalışmada elde edilen bulgulara göre jeostatistik yöntemler deterministik yöntemlere göre daha uygun tahmincilerdir.

Jeostatistik analiz için uygulanan çeşitli kriging metotları için en uygun ve en yansız tahmin sonucu, veri dağılımının çarpık olduğu, trend etkisinin kaldırıldığı, izotropik uygulamanın yapıldığı ve Küresel yarı variogram modelinin kullanıldığı OK-19 yöntemi sonucunda elde edilmiştir. SK yöntemi için en uygun uygulama sonucu SK-04 yöntem ile elde edilmiştir. UK için en uygun uygulama sonucu UK-11 ve COK için en uygun uygulama sonucu COK-03 yöntemi ile elde edilmiştir. SK-04 ve COK-03 yöntemleri OK-19 yöntemine yakın tahmin sonuçları göstermiştir.

COK yöntemi için ikincil değişken olarak istasyonların yükseklik bilgisinin kullanılması OK yöntemine göre tahmin bulgularında önemli derecede değişikliğe neden olmamıştır. Çalışma alanına göre hangi ikincil değişkenlerin yağış verisi ile birlikte kullanımının uygun olduğu iyi tespit edilmelidir.

Küresel yarı variogram modeli, tüm kriging uygulamalarının incelenmesi sonucunda en uygun yarı variogram modeli olarak belirlenmiştir. Bu yöntem diğer yöntemlere göre, genel olarak tüm çapraz değerlendirme bulgularında en uygun değerlere sahip olan yöntemdir.

Şensoy ve ark. (2007) klimatoloji çalışmalarında istasyon bulunmayan konumlar için istasyon parametrelerinin tahmin edileceği uygun tahmin metot arayışının ve ArcGIS yazılımı ile jeostatistik analiz uygulamalarının etkin şekilde gerçekleştirilebilmesi için bu konuda bilgi sahibi olmanın önemine dikkat çekmiştir.

Bu çalışma kapsamında, jeostatistik yöntemlerin teorik esasları verilerek, jeostatistik analiz hakkında araştırmacılara önemli bilgiler sağlanmıştır. Türkiye'de yağışların mekânsal dağılımının haritalanması için jeostatistik analiz yöntemlerinin

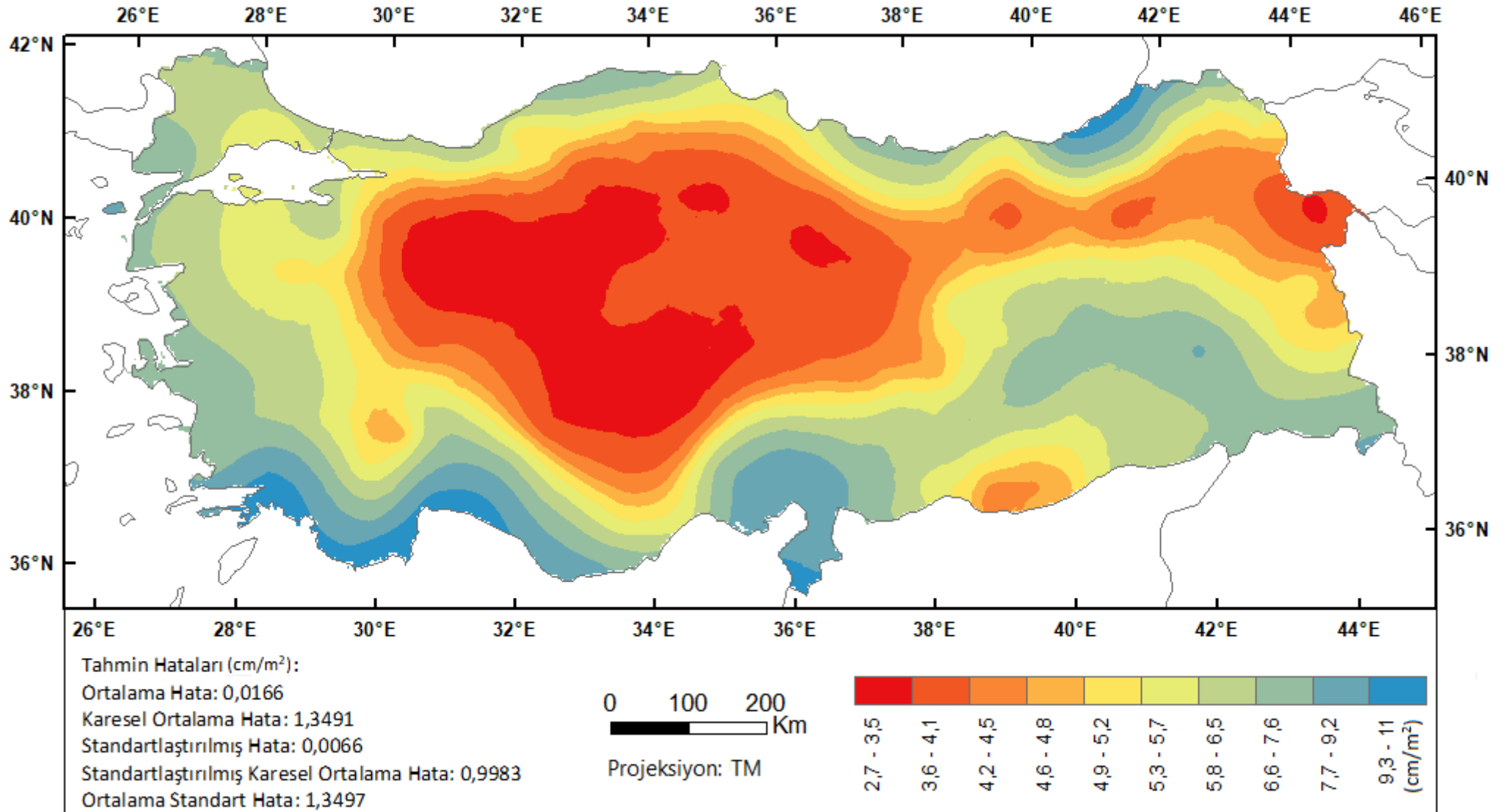
farklı uygulanış biçimleri bir arada incelenerek, bu konu ve çalışma alanı için en uygun analiz yaklaşımları belirlenmiştir. Buradan elde edilen bulgular diğer birçok araştırma konusu için yol gösterici olacaktır.

OK-19 yöntemi ile oluşturulan yıllık ortalama yağış tahmin haritası ve standart tahmin hatalarının haritası ayrıca ortalama yağışın aşılma olasılığı haritası sırasıyla Şekil 6.1., Şekil 6.2. ve Şekil 6.3. ile verilmiştir.

Uygun tahmin yönteminin ve uygun analiz yaklaşımlarının belirlenmesi ile daha doğru tahmin haritalarının oluşturulması, Türkiye’de görülen yağışların mekânsal dağılımının belirlenmesi ve yağış olayları ile ilgili birçok konuda doğru karar vermek için önemlidir. Bu çalışma sonucunda belirlenen en uygun kriging yöntemiyle, harita iletişiminin en uygun tahmin değerleri ile gerçekleşmesi sağlanmıştır.

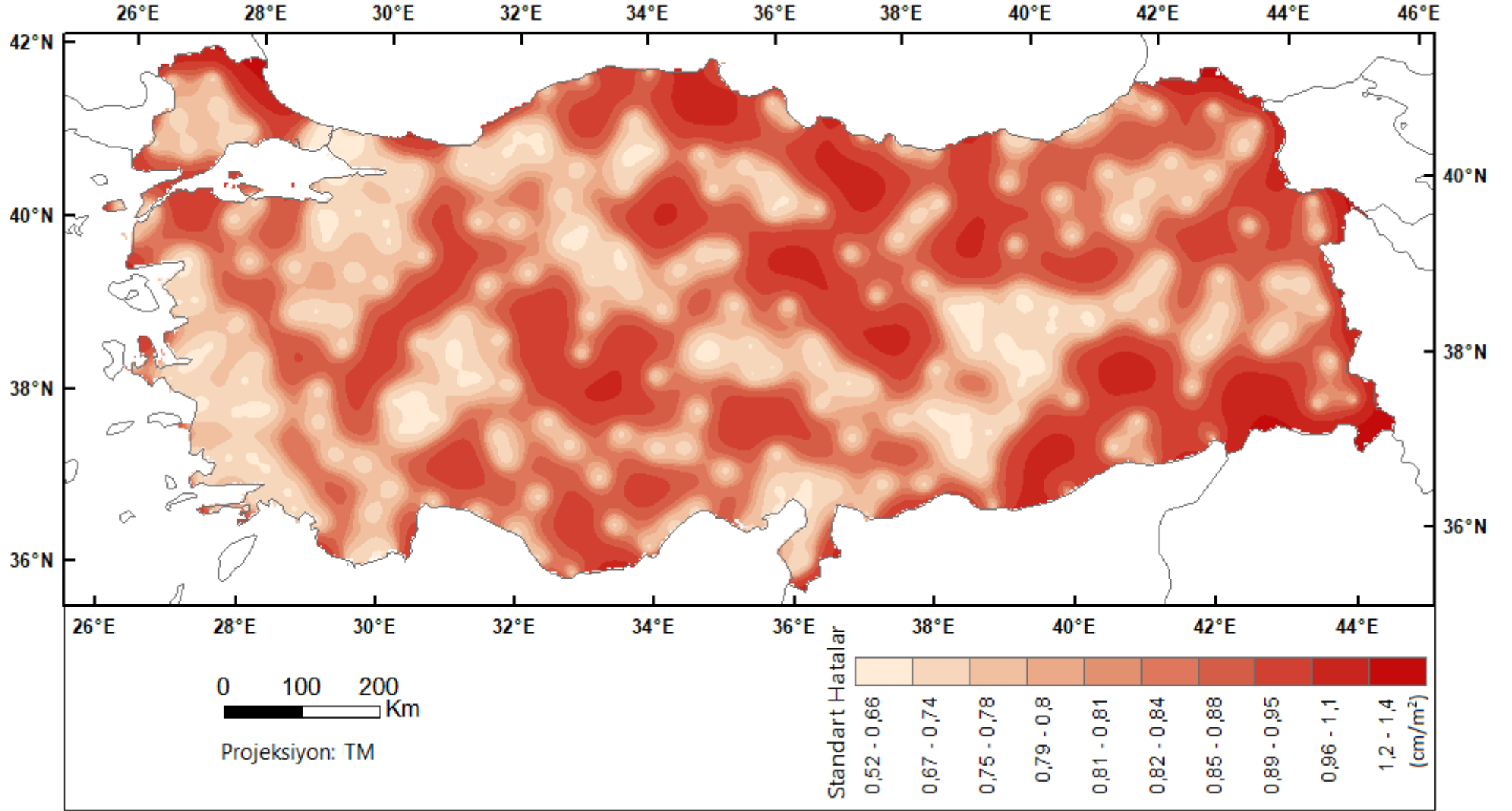


TÜRKİYE - AYLIK ORTALAMA YAĞIŞ HARİTASI

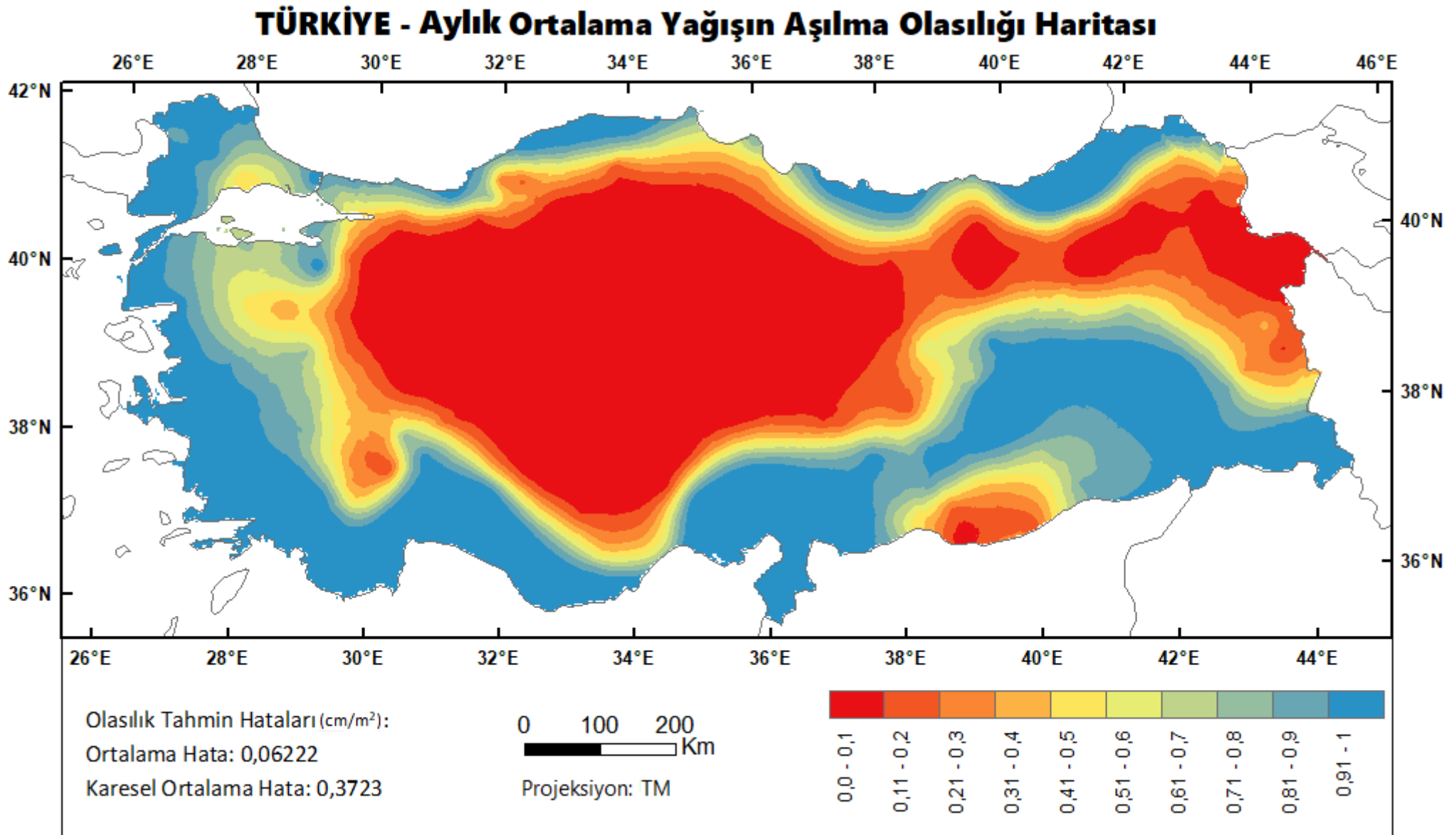


Şekil 6.1. OK-19 Yöntemi ile oluşturulan Türkiye aylık ortalama yağış haritası

TÜRKİYE - Aylık Ortalama Yağış Tahmininin Standart Hataları



Şekil 6.2. Aylık ortalama yağış tahminlerinin OK-19 yöntemine göre standart hataları



Şekil 6.3. Türkiye aylık ortalama yağış miktarının OK-19 yöntemine göre aşılma olasılığı haritası

KAYNAKLAR

- Abramowitz, M. ve Stegun, I. A., 1965, Handbook Of Mathematical Functions With Formulas, Graphs, And Mathematical Table, Dover New York, p.
- AFAD, 2018, Türkiye Afet Bilgi Bankası-Analiz Modülü, <https://tabb-analiz.afad.gov.tr/Genel/Sorgulama.aspx>: [01.03.2018].
- Akbaş, A. İ., 2015, Türkiye Alansal Yağış Hesaplaması, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, <http://www.dsi.gov.tr/docs/tuhk/t%C3%BCrkiye-alansal-ya%C4%9F%C4%B1%C5%9F-hesaplamas%C4%B1.pdf?sfvrsn=2>: [01.04.2018].
- Aksoy, E., 2011, Toprak Haritalamada Pedolojik ve Coğrafi Değişkenler Arasındaki İlişkinin Sayısal Ortamda Belirlenmesi: Tekirova Örneği, Doktora Tezi, *Akdeniz Üniversitesi*, 373.
- Anderson, S., 2002, An Evaluation Of Spatial Interpolation Methods On Air Temperature In Phoenix, Az, *Department of Geography, Arizona State University Tempe*, 85287, 0104.
- Anselin, L., Sridharan, S. ve Gholston, S., 2007, Using Exploratory Spatial Data Analysis To Leverage Social Indicator Databases: The Discovery Of Interesting Patterns, *Social Indicators Research*, 82 (2), 287-309.
- Apaydin, H., Sonmez, F. K. ve Yildirim, Y. E., 2004, Spatial Interpolation Techniques For Climate Data In The Gap Region In Turkey, *Climate Research*, 28 (1), 31-40.
- Armstrong, M., 1998, Basic Linear Geostatistics, Springer Science & Business Media, p. 155.
- Atlı, A., 2010, Yer Altı Suyu (Yas) Kirlenme Potansiyelinin, CBS Tabanlı Drastic Modeli Kullanılarak Belirlenmesi Ve Erzin Ovası Yas Hassasiyet Haritalarının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Adana*, 204.
- Aydın, O., 2014, Türkiye'de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Kriging Yöntemiyle Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi*, Ankara, 330.
- Başbozkurt, H., 2015, Mekânsal Regresyon Metotları Kullanımı İle Toprağın Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin Analizi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya, 124.
- Berndt, C. ve Haberlandt, U., 2018, Spatial Interpolation Of Climate Variables In Northern Germany—Influence Of Temporal Resolution And Network Density, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15, 184-202.
- Bohling, G., 2005. Introduction To Geostatistics And Variogram Analysis. 1-20. Erişim Adresi, <http://people.ku.edu/~gbohling/cpe940/Variograms.pdf>.
- Boots, B., Okabe, A. ve Sugihara, K., 1999, Spatial Tessellations, *Geographical information systems*, 1, 503-526.
- Borges, P. d. A., Franke, J., Anunciação, Y. M. T. d., Weiss, H. ve Bernhofer, C., 2016, Comparison Of Spatial Interpolation Methods For The Estimation Of Precipitation Distribution In Distrito Federal, Brazil, *Theoretical and applied climatology*, 123 (1-2), 335-348.
- Bostan, P. A., 2013, Analysis And Modeling Of Spatially And Temporally Varying Meteorological Parameter: Precipitation Over Turkey, Doktora Tezi, *Middle East Technical University*, Ankara, 94.
- Bostancı, B., 2018, Accuracy Assessment Of Noise Mapping On The Main Street, *Arabian Journal of Geosciences*, 11 (1), 4.

- Canli, E., Loigge, B. ve Glade, T., 2018, Spatially Distributed Rainfall Information And Its Potential For Regional Landslide Early Warning Systems, *Natural Hazards*, 91 (1), 103-127.
- Chenoweth, M. E. ve Sarra, S. A., 2009, A Numerical Study Of Generalized Multiquadric Radial Basis Function Interpolation, *SIAM Undergraduate Research Online*, 2 (2), 58-70.
- Childs, C., 2004. Interpolating Surfaces In Arcgis Spatial Analyst. 3235, 569. Erişim Adresi, <https://www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf>.
- Chiles, J. P. ve Delfiner, P., 1999, Modelling Spatial Uncertainty, John Wiley & Sons, p.
- Cressie, N. A. C., 1993, Statistics For Spatial Data, John Wiley & Sons, p.
- Çakın, M. K., 2009, Türkiye'nin Jeotermal Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Enterpolasyon Teknikleri Kullanılarak Türkiye'nin Yeraltı Sıcaklık Haritalarının Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 93.
- Çetin, M. ve Tülücü, K., 1998, Doğu Akdeniz Bölgesi'nde Aylık Yağışların Yersel Değişimlerinin Jeostatistik Yöntemle İncelenmesi, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 22 (4), 279-288.
- Çitakoğlu, H., Çetin, M., Çobaner, M. ve Haktanır, T., 2017, Mevsimsel Yağışların Jeostatistiksel Yöntemle Modellenmesi ve Gözlemi Olmayan Noktalarda Tahmin Edilmesi, *İMO Teknik Dergi*, 7725 (7745), 469.
- Englund, E. ve Sparks, A., 1988, GEO-EAS (Geostatistical environmental assessment software) User's Guide, *Battelle Columbus Labs., Washington, DC (USA), Environmental Monitoring Systems Laboratory Office Of Research And Development*, 192.
- Eriş, E., 2011, Determination of Spatial Distribution of Precipitation on Poorly Gauged Coastal Regions, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 142.
- Ersoy, A. ve Yünsel, T. Y., 2008, Maden Rezerv Hesapları: Klasik ve Jeostatistik Yöntemler, *Adana*, Nobel Kitapevi Yayınları, p.
- Fall, A., Fortin, M.-J., Manseau, M. ve O'Brien, D., 2007, Spatial Graphs: Principles And Applications For Habitat Connectivity, *Ecosystems*, 10 (3), 448-461.
- Goovaerts, P., 1997, Geostatistics For Natural Resources Evaluation, *New York*, Oxford University Press, p.
- Gundogdu, I. B., 2014, Multivariate Geostatistics For Mapping Meteorological Precipitation, *Global Journal of Engineering Science and Research Management*, 1 (6), 20-25.
- Gundogdu, I. B., 2017, Usage Of Multivariate Geostatistics In Interpolation Processes For Meteorological Precipitation Maps, *Theoretical and applied climatology*, 127 (1-2), 81-86.
- Haining, R., 2014, Spatial Data and Statistical Methods: A Chronological Overview, In: *Handbook of Regional Science*, Eds: Springer, p. 1277-1294.
- Hengl, T., 2009, A Practical Guide To Geostatistical Mapping, Tomislav Hengl, p.
- İlker, A., 2012, Akdeniz Bölgesinde Yağışın Alansal Dağılımı, *Süleyman Demirel Üniversitesi*, Isparta, 83.
- Isaaks, E. H. ve Srivastava, M. R., 1989, Applied Geostatistics, 551.72 ISA, *New York* Oxford University Press, p.
- Javari, M., 2017, Comparison of interpolation methods for modeling spatial variations of Precipitation in Iran, *International Journal of Environmental and Science Education*, 12 (5), 1037-1054.
- Johnston, K., Hoef, J. M. V., Krivoruchko, K. ve Lucas, N., 2001, Using ArcGIS Geostatistical Analyst, Esri Redlands, p.

- Journel, A. G. ve Huijbregts, C. J., 1978, Mining Geostatistics, *London*, Academic Press, p.
- Journel, A. G., 1983, Nonparametric Estimation Of Spatial Distributions, *Mathematical Geology*, 15 (3), 445-468.
- Karaman, M. R., Susam, T., Turan, M., Tutar, A. ve Şahin, S., 2012, Çilek Tarımı Yapılan Arazide Uzaysal Doğal Organik Madde Değişimlerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi, *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, 2012 (1), 197-205.
- Kitanidis, P. K., 1997, Introduction To Geostatistics: Applications In Hydrogeology, *United Kingdom*, Cambridge University Press, p. 271.
- Koçman, A., 1993, Türkiye iklimi, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, p. 83.
- Krivoruchko, K., 2005. Introduction To Modeling Spatial Processes Using Geostatistical Analyst. 27. Erişim Adresi, <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/intro-modeling.pdf>.
- Kuzucu, A., 2016, Seyhan Havzasında Kuraklığın Zamansal Ve Alansal Değişiminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, İzmir, 179.
- Lilly, J. O., 2016, A GIS Approach to Modeling Groundwater Levels in the Mississippi River Valley Alluvial Aquifer, Yüksek Lisans Tezi, *University of Arkansas*, United States-Arkansas, 95.
- Lloyd, C. D., 2005, Assessing The Effect Of Integrating Elevation Data Into The Estimation Of Monthly Precipitation In Great Britain, *Journal of Hydrology*, 308 (1-4), 128-150.
- Maciejewski, R., 2014, Geovisualization, In: Handbook of Regional Science, Eds: Springer, p. 1137-1155.
- Matheron, G., 1963, Principles Of Geostatistics, *Economic geology*, 58 (8), 1246-1266.
- Matheron, G., 1967, Kriging Or Polynomial Interpolation Procedures, *CIMM Transactions*, 70, 240-244.
- Matheron, G., 1969, Le Krigeage Universel, *Paris*, p. 84.
- Matheron, G., 1973, The Intrinsic Random Functions And Their Applications, *Advances in applied probability*, 5 (3), 439-468.
- MGM, 2018, Yıllık Toplam Alansal Yağış Normalleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/aylik-normal-yagis-dagilimi.aspx>: [01.03.2018].
- Oliver, M. A., 2010, The Variogram And Kriging, In: Handbook of Applied Spatial Analysis, Eds: Fischer, M. M.: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010, p. 319-352.
- Oliver, M. A. ve Webster, R., 2015, Basic Steps In Geostatistics: The Variogram And Kriging, *New York*, Springer, p.
- Ölgen, M. K., 2010, Türkiye’de Yıllık Ve Mevsimsel Yağış Değişkenliğinin Alansal Dağılımı, *Ege Coğrafya Dergisi*, 19 (1), 85-95.
- Özçakal, E., 2014, Ege Bölgesi Yağış Ve Sıcaklık Değerlerinin Zaman Ve Mekân Boyutundaki Değişiminin İstatistiksel Analizi, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi*, İzmir, 312.
- Qu, L., Xiao, H., Zheng, N., Zhang, Z. ve Xu, Y., 2017, Comparison Of Four Methods For Spatial Interpolation Of Estimated Atmospheric Nitrogen Deposition In South China, *Environmental Science and Pollution Research*, 24 (3), 2578-2588.
- Rivoirard, J., 1994, Introduction To Disjunctive Kriging And Non-Linear Geostatistics, 551.021 R626i, *Oxford, GB*, Clarendon Press, p.
- Sarma, D. D., 2010, Geostatistics With Applications In Earth Sciences, *Springer*, Springer Science & Business Media, p.

- Sensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y. ve Balta, İ., 2008, Türkiye İklimi, *Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMI)*, 1-17.
- Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C. ve Howard, H. H., 2009, Thematic Cartography And Geovisualization, *Upper Saddle River, N.J.:* Pearson / Prentice-Hall, p.
- Srivastava, R. M., 1996, Describing Spatial Variability Using Geostatistical Analysis, In: Geostatistics For Environmental And Geotechnical Applications, Eds, USA: ASTM International, p. 18-24.
- Sturges, H. A., 1926, The Choice Of A Class Interval, *Journal of the american statistical association*, 21 (153), 65-66.
- Sullivan, J., 1984, Conditional Recovery Estimation Through Probability Kriging-Theory And Practice, In: Geostatistics For Natural Resources Characterization, Eds: Springer, p. 365-384.
- Symanzik, J., 2014, Exploratory Spatial Data Analysis, In: Handbook Of Regional Science, Eds: Fischer, M. M. ve Nijkamp, P., *Berlin:* Springer, p. 1295-1310.
- Şen, Z., 2002, İstatistik Veri İşleme Yöntemleri:(Hidroloji Ve Meteoroloji), *İstanbul*, Su Vakfı Yayınları, p.
- Şen, Z., 2009, Spatial Modeling Principles In Earth Sciences, Springer, p.
- Şensoy, S., Ulupınar, Y., Demircan, M., Balta, İ., Taştekin, A. T. ve Alan, İ., 2007, Klimatolojik Uygulamalarda ArcGIS Kullanımı. 12. ESRI kullanıcıları Grubu toplantısı. ODTÜ, Meteoroloji Genel Müdürlüğü: 1-17.
- Taylan, E. D. ve Damçayırı, D., 2016, Isparta Bölgesi Yağış Değerlerinin IDW ve Kriging Enterpolasyon Yöntemleri ile Tahmini, *İMO Teknik Dergi* (459), 7551-7559.
- Topal, B., 2007, Jeostatistiksel Variogram Ve Modelleme Yazılımı: Sayaca (Ulubey, Ordu) Altın Cevherleşmesin'de Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, 248.
- Tukey, J. W., 1977, Exploratory Data Analysis, Addison-Wesley, p.
- Türkeş, M., 1990, Türkiye'de Kurak Bölgeler Ve Önemli Kurak Yıllar, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi İstanbul*, 195.
- Türkeş, M., 2010, Klimatoloji Ve Meteoroloji, Kriter Yayınevi, p.
- Uyar, H., 2005, Jeovar3: Jeostatistiksel Variogram Analizleri Ve Kriging Teknikleri Bilgisayar Yazılımı, Yüksek Lisans Tezi *Hacettepe Üniversitesi Ankara*, 93.
- Uyguçgil, H., 2007, Çok Değişkenli Maden Yataklarında Rezerv Tenör Tahmininde Jeostatistik Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Tekniklerinin Kullanımı, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir*, 224.
- Uzunlar, Z., 2006, Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyan Dağılımının Derin Kuyu Sıcaklık Verileri Ve Variogram Analizi İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul*, 93.
- Wackernagel, H., 2003, Multivariate Geostatistics: An Introduction With Applications, Springer Science & Business Media, p.
- Wang, S., Huang, G., Lin, Q., Li, Z., Zhang, H. ve Fan, Y., 2014, Comparison Of Interpolation Methods For Estimating Spatial Distribution Of Precipitation In Ontario, Canada, *International Journal of Climatology*, 34 (14), 3745-3751.
- Webster, R., 2000, Is Soil Variation Random?, *Geoderma*, 97 (3), 149-163.
- Webster, R. ve Oliver, M. A., 2007, Geostatistics for Environmental Scientists Second Edition, *England*, John Wiley & Sons, p.

- Yalçın, M., 2012, Afet Yönetimi-Hazırlık Bileşeni İçin Konumsal Veri Altyapısı Tasarlanması, Sel Ve Taşkına Duyarlı Alanlar: İstanbul Avrupa Yakası Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 106.
- Yavuz, H., 2010, Türkiye'de Bazı İklim Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Zamansal Ve Mekansal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Afyon, 268.
- Yeşilkanat, C. M., Kobya, Y., Taşkın, H. ve Çevik, U., 2014, Jeostatistik Tahmin ve Simülasyon Yöntemleri ile Artvin İlindeki Doğal Kaynak Suları için Toplam Alfa ve Toplam Betanın Ara Değer Modellemesi ve Haritalanması, *Cumhuriyet Science Journal*, 35 (4), 11-35.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa Hüsrevoğlu
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Kayseri, 19.10.1993
Telefon : +905534306793
Faks : -
e-mail : mustafa.husrevoglu@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		Bitirme Yılı
Lise	: Sema Yazar Anadolu Lisesi, Melikgazi, Kayseri	2011
Üniversite	: Selçuk Ü., Harita Mühendisliği, Selçuklu, Konya	2015
Yüksek Lisans	: Selçuk Ü., Harita Mühendisliği ABD., Selçuklu, Konya	2018

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2018	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

- Gundogdu, I. B. ve Husrevoglu, M., 2018, Comparison of Different Prediction Approaches For Precipitation Distribution by Kriging Methods, *Journal of Scientific and Engineering Research*, 5 (4), 296-302.
- Husrevoglu, M. ve Gundogdu, I. B., 2018, Comparison of Inverse Distance Weighting and Ordinary Kriging Methods for Meteorological Maps, *1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, Antalya, 123-123.