

T. C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA (BÖLGESEL COĞRAFYA) ANABİLİM DALI

**TÜRKİYE'DE YILLIK ORTALAMA TOPLAM YAĞIŞIN KRIGING
YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ**

Doktora Tezi

Olgu Aydın

ANKARA-2014

T. C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA (BÖLGESEL COĞRAFYA) ANABİLİM DALI

**TÜRKİYE'DE YILLIK ORTALAMA TOPLAM YAĞIŞIN KRIGING
YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ**

Doktora Tezi

Olgu Aydın

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK

ANKARA-2014

T. C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA (BÖLGESEL COĞRAFYA) ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'DE YILLIK ORTALAMA TOPLAM YAĞIŞIN KRİĞİNG
YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Doktora Tezi

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK

Tez Jürisi Üyeleri

Adı ve Soyadı

Prof.Dr. Semra ORAL ERBAŞ

Prof.Dr. Ülkü ESER ÜNALDI

Prof.Dr. İhsan ÇİÇEK (Danışman)

Doç.Dr. Necla TÜRKOĞLU

Yrd.Doç.Dr. Levent TEZCAN

İmzası



Tez Sınavı Tarihi 08/07/2014

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu belge ile bu tezdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim.
(08/07/2014)


Olgü AYDIN

ÖNSÖZ

Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağış paterninin global ve lokal Kriging yöntemleriyle ortaya konulması ve en doğru yağış modelinin oluşturulması amacıyla yapılan bu çalışma, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bilim Dalı'nda doktora tezi olarak hazırlanmış, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

1960'lardan bu yana, özellikle de son dönemlerde, jeostatistik teknikleri pek çok disiplinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Dünyadaki gerek fiziki gerekse beşeri coğrafya bölümlerinde, bu teknikler mekânsal/coğrafi araştırmaların vazgeçilmez araçlarından biri haline gelmiştir. Strateji ve plan geliştirirken, iklim değişkenlerinin değerlerini tahmin etmek ve karmaşık yapısını anlamak oldukça önemlidir. Bu noktada belki de en önemli gelişmeler yağış değişkeni değerlerinin tahminidir ki, jeostatistik teknikleri yağış miktarlarının doğru olarak hesaplanmasını olanaklı hale getirmiştir. Bu mekânsal/coğrafi araştırma, başka disiplinler ve coğrafyacılar tarafından yapılacak araştırmalara önemli bir altlık oluşturabileceği düşüncesiyle hazırlanmıştır.

Hayatımın en güzel arifesi kızım Bella'yı beklerken çalışmalarına tekrar en baştan büyük bir isteklilikle başlamamı sağlayıp, bu noktaya getirmemde büyük emekleri olan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK ve Doç. Dr. Necla TÜRKOĞLU'na ayrı ayrı teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Bu araştırmanın hazırlanması sırasında beni sürekli destekleyen ve cesaretlendiren, her aşaması boyunca benden değerli görüş ve önerilerini esirgemeyen, yaptıklarının benim için önemini anlatamayacağım değerli danışman hocam Dr. ÇİÇEK'e sonsuz teşekkür ediyorum. Devamlı desteği ve çalışmamın her aşamasında verdiği aydınlatıcı bilgileri için Dr. TÜRKOĞLU'na özel teşekkürlerimi ifade etmek isterim. *"Çalışmalarımı gerçekleştirirken güveninizi benden esirgemeyip, bana huzurlu bir çalışma ortamı sağladığınız için size minnettarım. İyi ki sizlerle çalışıyorum..."*

Çalışmamın istatistiksel analiz ve değerlendirmelerinde önemli düzeyde katkı sağlayan Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Semra ORAL ERBAŞ hocama yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunmak isterim. Çalışmamın her aşamasında verdiği aydınlatıcı bilgileri için Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN hocama ayrıca minnetlerimi sunarım. Jeostatistik üzerine yetkin akademisyenlerden biri olan Dr. TEZCAN ihtiyacım olan her konuda benden yardımlarını esirgememiştir.

Tez çalışmalarımı değerlendirip, katkıda bulunan tez izleme komitesi üyelerine de teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Sevgili arkadaşım Neşe DUMAN'a en sıkıntılı anlarımda yanımda olduğu ve beni hep dinlediği için çok teşekkür ederim.

Canım ailem bu süreçte hep yanımdaydılar. Sizlere her şey için çok teşekkür ederim.

Son olarak, benim için yaptıklarını kelimelere dahi dökemeyeceğim sevgili eşim Cumhur AYDIN'a; *"bütün yaşadığım zorluklarda ve güzelliklerde bitmeyen desteğin, sabrın ve sevginle hep yanımda olduğun için çok teşekkür ederim. İyi ki varsın..."*

Bu doktora araştırmasının, bu konuya ilgi duyan diğer araştırmacılara faydalı olması en büyük dileğimdir.

Olgu AYDIN

2014

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	V
İÇİNDEKİLER	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	XV
KISALTMALAR LİSTESİ	XVIII
1. GİRİŞ	20
2. GENEL BİLGİLER	26
2.1. Coğrafi Bilgi Sistemi ve Gelişimi.....	35
2.2. Jeostatistik ve Coğrafya İlişkisi.....	37
2.3. Mekânsal Değişkenliğin Kaynakları	43
2.4. Jeostatistiğin Tarihsel Gelişimi	46
2.5. Jeostatistiğin Fiziki Coğrafya Çalışmalarındaki Önemi	52
2.6. Jeostatistiğin Klimatoloji Çalışmalarındaki Önemi	58
2.7. Türkiye’de Yağış Çalışmaları ve Jeostatistik	68
3. YAĞIŞ VE YAĞIŞLA İLGİLİ KAVRAMLAR	84
3.1. Yağış Kavramı ve Biçimleri.....	84
3.2. Yağış Dağılımını Etkileyen Faktörler	85
3.2.1. Küresel Faktörler.....	85
3.2.2. Coğrafi Faktörler.....	86
3.3. Yağış Rejimi ve Yağış Rejimi Bölgeleri	88
3.4. Türkiye’de Yağış Rejimi Bölgeleri	89
4. VERİ VE YÖNTEM	93
4.1. Çalışma Alanının İklim ve Genel Özellikleri	93
4.2. Çalışmada Kullanılan Veri Seti.....	99
4.3. Çalışmada Kullanılan Programlar	107
4.4. Çalışmanın Aşamaları.....	108
4.4.1. Verinin Gösterilmesi ve Araştırılması.....	109
4.4.2. Yarıvariogram	110
4.4.3. Deneyssel ve Teorik Yarıvariogram.....	112
4.4.4. Fit Method (Oturtma Metod)	120
4.4.5. Kriging Tekniği	121
4.4.6. Ordinary Kriging	126
4.4.7. Çapraz Geçerlilik (Cross Validation)	128
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	132
5.1. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Dağılışı	132
5.1.1. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması	133
5.1.2. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneyssel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması.....	142
5.1.3. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini	149
5.1.4. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi.....	151
5.1.5. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mâtern Yöntemiyle Değerlendirilmesi.	158

5.1.6. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Nested Yöntemiyle Değerlendirilmesi .	163
5.1.7. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Eye Fit Yöntemiyle Değerlendirilmesi .	168
5.1.8. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Oluşturulan Global Modellerin Karşılaştırılması	174
5.2. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Lokal Kriging Yöntemleriyle Araştırılması	177
5.2.1. Bölge 1’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı	180
5.2.1.1.Bölge 1 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması.....	182
5.2.1.2.Bölge 1 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneyssel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması.....	185
5.2.1.3.Bölge 1 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası.....	187
5.2.1.4.Bölge 1’in Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi.....	189
5.2.2. Bölge 2’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı	193
5.2.2.1.Bölge 2 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması.....	195
5.2.2.2.Bölge 2 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneyssel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması.....	197
5.2.2.3.Bölge 2 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası.....	200
5.2.2.4.Bölge 2 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi.....	201
5.2.3. Bölge 3’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı	203
5.2.3.1.Bölge 3 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması.....	205
5.2.3.2.Bölge 3 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneyssel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması.....	208
5.2.3.3.Bölge 3 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası.....	211
5.2.3.4.Bölge 3 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi.....	212
5.2.4. Bölge 4’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı	217
5.2.4.1.Bölge 4 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması.....	219
5.2.4.2.Bölge 4 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneyssel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması.....	222
5.2.4.3.Bölge 4 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası.....	225
5.2.4.4.Bölge 4 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi.....	226
5.2.5. Bölge 5’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı	228
5.2.5.1.Bölge 5 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması.....	230
5.2.5.2.Bölge 5 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneyssel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması.....	233
5.2.5.3.Bölge 5 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası.....	235
5.2.5.4.Bölge 5’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi.....	237
5.2.6. Bölge 6’da Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı	240
5.2.6.1.Bölge 6 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması.....	242
5.2.6.2.Bölge 6 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneyssel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması.....	245
5.2.6.3.Bölge 6 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası.....	247
5.2.6.4.Bölge 6 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi.....	248
5.2.7. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Oluşturulan Lokal Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması	252

5.3. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Lokal Yarıvariogram Modelleri Kullanılarak Global Kriging Yöntemiyle Değerlendirilmesi	253
5.3.1. Bölge 1 Lokal Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası.....	254
5.3.2. Bölge 2 Lokal Yarıvariogram Modeli ile Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası	258
5.3.3. Bölge 3 Lokal Yarıvariogram Modeli ile Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası	262
5.3.4. Bölge 4 Lokal Yarıvariogram Modeli ile Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası	265
5.3.5. Bölge 5 Lokal Yarıvariogram Modeli ile Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası	269
5.3.6. Bölge 6 Lokal Yarıvariogram Modeli ile Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası	273
5.3.7. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Lokal Yarıvariogram Modelleri ile Oluşturulan Global Modellerin Karşılaştırılması	277
5.4. Genel Değerlendirme	280
5.5. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Sonuçlarından Su Potansiyelinin Hesaplanması	284
6. SONUÇ	294
KAYNAKÇA	301
ÖZET	327
ABSTRACT	329

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 (a) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yıllık toplam yağış değişim haritası (mm/yıl). (b) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yıllık toplam yağış değişim haritası (mm/yıl).....	33
Şekil 2 (a) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları kış mevsimi yağış değişim haritası (mm/ay). (b) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları sonbahar mevsimi değişim haritası (mm/ay)	33
Şekil 3 (a) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları kış mevsimi kar kalınlığı değişimi haritası (mm). (b) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yıllık ortalama yağış-buharlaşma değişimi (mm/ay).....	33
Şekil 4. Bağımlılık kuralının gösterilmesi	42
Şekil 5. Çalışmada kullanılan istasyonlar	101
Şekil 6. Çalışmanın akış diyagramı	109
Şekil 7. Deneysel ve teorik yarıvariogram modeli	115
Şekil 8. Teorik yarıvariogram modellerine ait grafiklerin gösterimi.....	116
Şekil 9. Mátern teorik yarıvariogram modellerine ait grafiklerin gösterimi	119
Şekil 10. Model optimizasyonunun şematik olarak gösterimi	131
Şekil 11. Türkiye’de 1976-2010 dönemine ait yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi	136
Şekil 12. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım.....	141
Şekil 13. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağışa ait Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu	142
Şekil 14. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağışın deneysel yarıvariogramı.....	143
Şekil 15. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağışın deneysel yarıvariogramı.....	145
Şekil 16. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağışın (a) deneysel ve teorik yarıvariogram modeli (Fit Method 0); (b) deneysel ve teorik yarıvariogram modeli (Fit Method 1)	147
Şekil 17. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağışın (a) deneysel ve teorik yarıvariogram modeli (Fit Method 2); (b) deneysel ve teorik yarıvariogram modeli (Fit Method 6)	147
Şekil 18. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli (Fit Method default, 7)	148
Şekil 19. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları (Spherical model, Fit Method default, 7, 0, 1, 2, 6)	150
Şekil 20. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritaları (Fit Method default (7), 0, 1, 2, 6)	154
Şekil 21. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağış için gözlemlenen-hata grafiği (Fit Method default, 7, 0, 1, 2, 6)	155
Şekil 22. Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı ve varyans haritaları (Spherical model, Fit Method default, 7, 0, 1, 2, 6)	156
Şekil 23. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli	158

Şekil 24. (a) Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası; (b) yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası varyansı	160
Şekil 25. Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	161
Şekil 26. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	162
Şekil 27. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli	164
Şekil 28. (a) Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası; (b) yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası varyansı	165
Şekil 29. Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	166
Şekil 30. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	167
Şekil 31. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli	169
Şekil 32. (a) Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası; (b) yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası varyansı	170
Şekil 33. Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	171
Şekil 34. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	173
Şekil 35. Farklı yöntemler kullanılarak elde edilen Ordinary Kriging sonucu Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritaları	176
Şekil 36. Bölge sınırlarının gösterimi	179
Şekil 37. Bölge 1’deki meteoroloji istasyonlarının dağılışı.....	181
Şekil 38. Bölge 1 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi.....	183
Şekil 39. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım.....	185
Şekil 40. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli	187
Şekil 41. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	188
Şekil 42. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	190
Şekil 43. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	192
Şekil 44. Bölge 2’deki meteoroloji istasyonlarının dağılışı.....	194
Şekil 45. Bölge 2 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi.....	195
Şekil 46. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım.....	197
Şekil 47. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli	199
Şekil 48. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	200
Şekil 49. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	201

Şekil 50. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası	203
Şekil 51. Bölge 3’deki meteoroloji istasyonlarının dağılışı.....	205
Şekil 52. Bölge 3 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi.....	206
Şekil 53. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım.....	208
Şekil 54. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvარიogram modeli	210
Şekil 55. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	212
Şekil 56. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	214
Şekil 57. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası	215
Şekil 58. Bölge 4’deki meteoroloji istasyonlarının dağılışı.....	219
Şekil 59. Bölge 4 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi.....	220
Şekil 60. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım.....	222
Şekil 61. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvარიogram modeli	224
Şekil 62. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	225
Şekil 63. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	226
Şekil 64. Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası	227
Şekil 65. Bölge 5’deki meteoroloji istasyonlarının dağılışı.....	230
Şekil 66. Bölge 5 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi.....	231
Şekil 67. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım.....	233
Şekil 68. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvარიogram modeli	235
Şekil 69. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	236
Şekil 70. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	237
Şekil 71. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası	239
Şekil 72. Bölge 6’deki meteoroloji istasyonların dağılışı	241
Şekil 73. Bölge 6 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi.....	243
Şekil 74. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım.....	244
Şekil 75. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvარიogram modeli	246
Şekil 76. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	248
Şekil 77. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	249

Şekil 78. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	251
Şekil 79 . Bölge 1 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	255
Şekil 80. Bölge 1 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış değışkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	256
Şekil 81. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	257
Şekil 82. Bölge 2 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	259
Şekil 83. Bölge 2 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış değışkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	260
Şekil 84. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	261
Şekil 85. Bölge 3 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	263
Şekil 86. Bölge 3 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış değışkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	264
Şekil 87. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	265
Şekil 88. Bölge 4 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama yağış tahmin ve varyans haritaları	266
Şekil 89. Bölge 4 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış değışkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	267
Şekil 90. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	268
Şekil 91. Bölge 5 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	270
Şekil 92. Bölge 5 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama yağış değışkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası	271
Şekil 93. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	272
Şekil 94. Bölge 6 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları	274
Şekil 95. Bölge 6 lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış değışkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası.....	275
Şekil 96. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılış haritası; (b) varyans haritası	276

Şekil 97. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış için lokal teorik yarivariogram modelleri ile oluşturulan global modellerin karşılaştırılması	279
Şekil 98. Havzalara düşen yıllık ortalama toplam yağış miktarı (mm)	290
Şekil 99. Nested teorik yarivariogram kullanılarak elde edilen Türkiye yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası.....	292
Şekil 100. Bölge 4 için oluşturulan lokal teorik yarivariogram kullanılarak Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış tahmin modeli	293



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1. Geobase ve ISI tarafından tanımlanan jeoistatistiğe ait genel ve coğrafya ile ilgili en fazla makaleyi yayımlayarak ilk 10'a giren dergilerdeki jeoistatistiğe ilişkin makalelerin sayısı.....	55
Çizelge 2. Jeoistatistik konu başlığında Geogra olan makalelerin bulunduğu dergilerde Geobase taramasının özeti	56
Çizelge 3. Çalışmada kullanılan istasyonların özellikleri	102
Çizelge 4. R 3.1.0 programının gstat paketinde yer alan Fit Method yöntemleri	121
Çizelge 5. Türkiye’de yağış frekans tablosu.....	137
Çizelge 6. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)	139
Çizelge 7. Programın oluşturduğu deneysel yarıvariogramın sonuçları.....	143
Çizelge 8. Deneysel yarıvariogramın sonuçları	145
Çizelge 9. Teorik yarıvariogram sonuçları	148
Çizelge 10. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	153
Çizelge 11. OK modellerinin performans karşılaştırılması.....	157
Çizelge 12. Teorik yarıvariogram sonucu	159
Çizelge 13. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	161
Çizelge 14. OK modelinin performans değerleri.....	163
Çizelge 15. Teorik yarıvariogram sonucu	164
Çizelge 16. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	166
Çizelge 17. OK modelinin performans değerleri.....	168
Çizelge 18. Teorik yarıvariogram sonucu	169
Çizelge 19. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	171
Çizelge 20. OK modelinin performans değerleri.....	173
Çizelge 21. OK modellerinin performans karşılaştırılması.....	175
Çizelge 22. Bölge 1’de yağış frekans tablosu.....	183
Çizelge 23. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)	185
Çizelge 24. Bölge 1 için deneysel yarıvariogramın sonuçları	186
Çizelge 25. Bölge 1 teorik yarıvariogram sonuçları	187
Çizelge 26. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	191
Çizelge 27. Bölge 1 OK modelinin performans değerleri.....	192
Çizelge 28. Bölge 2’de yağış frekans tablosu.....	196
Çizelge 29. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)	196

Çizelge 30. Bölge 2 için deneysel yarıvარიogramın sonuçları	198
Çizelge 31. Bölge 2 teorik yarıvარიogram sonuçları	199
Çizelge 32. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	201
Çizelge 33. Bölge 2 OK modelinin performans değerleri.....	203
Çizelge 34. Bölge 3’de yağış frekans tablosu.....	207
Çizelge 35. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)	207
Çizelge 36. Bölge 3 için deneysel yarıvარიogramın sonuçları	210
Çizelge 37. Bölge 3 teorik yarıvარიogram sonuçları	211
Çizelge 38. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	214
Çizelge 39. Bölge 3 OK modelinin performans değerleri.....	217
Çizelge 40. Bölge 4’de yağış frekans tablosu.....	220
Çizelge 41. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)	221
Çizelge 42. Bölge 4 için deneysel yarıvარიogramın sonuçları	223
Çizelge 43. Bölge 4 teorik yarıvარიogram sonuçları	224
Çizelge 44. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	227
Çizelge 45. Bölge 4 OK modelinin performans değerleri.....	228
Çizelge 46. Bölge 5’de yağış frekans tablosu.....	232
Çizelge 47. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)	232
Çizelge 48. Bölge 5 için deneysel yarıvარიogramın sonuçları	234
Çizelge 49. Bölge 5 teorik yarıvარიogram sonuçları	235
Çizelge 50. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	238
Çizelge 51. Bölge 5 OK modelinin performans değerleri.....	240
Çizelge 52. Bölge 6’de yağış frekans tablosu.....	243
Çizelge 53. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)	244
Çizelge 54. Bölge 6 için deneysel yarıvარიogramın sonuçları	245
Çizelge 55. Bölge 6 teorik yarıvარიogram sonuçları	246
Çizelge 56. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	250
Çizelge 57. Bölge 6 OK modelinin performans değerleri.....	252
Çizelge 58. Lokal OK modellerinin performans karşılaştırılması	253
Çizelge 59. Bölge 1 lokal yarıvარიogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları.....	256
Çizelge 60. Bölge 1 lokal yarıvარიogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri	258

Çizelge 61. Bölge 2 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	260
Çizelge 62. Bölge 2 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri	261
Çizelge 63. Bölge 3 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	264
Çizelge 64. Bölge 3 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri	265
Çizelge 65. Bölge 4 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	267
Çizelge 66. Bölge 4 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri	269
Çizelge 67. Bölge 5 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	271
Çizelge 68. Bölge 5 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri	272
Çizelge 69. Bölge 6 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları	275
Çizelge 70. Bölge 6 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri	276
Çizelge 71. Lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modellerin performans değerleri	278
Çizelge 72 Havzalara düşen yıllık ortalama toplam yağış miktarı	288
Çizelge 73. Havzalara düşen yıllık ortalama toplam yağış miktarlarının karşılaştırılması ..	289

KISALTMALAR LİSTESİ

ME	Ortalama Hata
MAE	Ortalama Mutlak Hata
RMSE	Kök Ortalama Kare Hata
R ²	Belirleyicilik Katsayısı
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
PRECIS	Providing Regional Climates for Impacts Studies
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ESRI	Environmental Research Systems Inc.
TL	Türk Lirası
BK	Block Kriging
UK	Universal Kriging
IK	Indicator Kriging
DK	Disjunctive Kriging
LSM	Local Sample Mean
ID	Inverse Distance
OK	Ordinary Kriging
ISI	Information Sciences Institute Web of Knowledge
DEM	Sayısal Yükseklik Modeli
TP	Thiessen Poligon
IDW	Inverse Distance Weight
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
KED	Kriging with External Drift
RK	Regression Kriging
TRK	Trivariate Regression Kriging
BTPS	Bivariate Thin Plate Splines
TTPS	Trivariate Thin Plate Splines
PTPS	Partial Thin Plate Splines
LWR	Locally Weighted Regression
MFB	Mean Field Bias
NN	Nearest Neighborhood
SP	Simple Kriging
SKIm	Simple Kriging with Local Means
RMAE	Göreceli Ortalama Mutlak Hata
SKV	Simple Kriging with Varying Local Means
OCK	Ordinary Co-kriging
GWR	Geographical Weighted Regression
ANN	Artificial Neural Network
MSE	Ortalama Karesel Hata
MBE	Ortalama Yanlı Hata
MSE	Ölçekli Ortalama Karesel Hata
CC	Doğrusal Korelasyon Katsayısı
ENSO	El Nino Güneyli Salınım
NAOI	Kuzey Atlantik Salınım İndisleri
NCP	Kuzey Denizi-Hazar Deseni
MLR	Çoklu Doğrusal Regresyon
KARD	Karadeniz
MARG	Marmara Geçiş
AKD	Akdeniz

KAKD	Karadeniz Akdeniz
AKDG	Akdeniz Geçiş
KİAN	Karasal İç Anadolu
KDAN	Karasal Doğu Anadolu
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
SNP	Sinoptik
BK	Büyük Klima
KK	Küçük Klima
ED50	Datum European 1950
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
DSİ	Devlet Su İşleri



1. GİRİŞ

Çevresel çalışmalarda çevresel değişkenlerin mekânsal olarak modellenmesi oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Model, karmaşık bir sistemi daha iyi kavrayabilmek amacıyla gerçeğin soyutlanması şeklinde tanımlanabilir. Barnsley (2007)'e göre model karmaşık bir durumun, sürecin veya sistemin basitleştirilmiş bir gösterimidir. Çevre ile ilgili çalışmalarda strateji ve plan geliştirirken, çevresel değişkenlerin değerlerini tahmin etmek ve karmaşık yapısını anlamak oldukça önemlidir. Bu sebeple, çevre üzerine çalışan araştırmacılar, bir alanda yer alan iklim elemanları, hidrolojik süreçler, ekosistem ve biyokimyasal döngüler gibi herhangi bir çevresel değişkenin gösterilmesi, değerinin tahmin edilmesi ve açıklanması üzerine çevresel modeller geliştirmişlerdir. Bu modellerin temel amaçları: bilgiyi arttırmak ve böylece modelin göstereceği durum, süreç veya sistemin belirsizliğinin azalması (daha iyi anlamamızı sağlamak), mevcut gözlemlerin dışındaki (ki tahmin etmeyi kolaylaştırır) zaman ve mekânlardaki durum, süreç veya sistemin durumunu tahmin etmeyi sağlayan bir araç sağlaması, durum operasyonu, süreç veya özel şartlar altında bulunan sistemin olası değişimleri hakkında “*eğer şöyle olursa*” tarzı soruların sorulabilmesini sağlaması (simülasyonların gerçekleştirilmesi) olarak ifade edilebilir (Barnsley, 2007:1). Böylece, çevre modelleri kullanılarak realitenin karmaşık sistemleri basitleştirilip, daha kolay anlaşılır ve yönetilebilir. Bu modeller, teoremlerin oluşturulmasında önemli bir role sahiptir. Çevresel modellerin oluşturulmasıyla araştırmacılar gerçek dünyanın fonksiyonlarını ve

davranışlarını gösterebilirler. Çevresel çalışmalarda pek çok çevresel değişkenin yanı sıra iklimsel değişkenlerin ki bu değişkenler arasında özellikle yağış değişkenliğine bağlı hidrolojik çalışmalar, kurak-nemli dönemler ve sel gibi atmosferik afetlerin tahmin edilmesi, yerüstü ve yeraltı su kaynakları miktarının tahmini, su kaynaklarının kirlenmesi, hava kirliliği ile ilişkili konularda önemli bir yeri vardır. Bu sebeple, bir bölgenin yağış durumunun ortaya konması geçmişten günümüze oldukça önemli olmuş ve pek çok formüllerle açıklanmaya çalışılmıştır. Geçmiş dönemlerde de yağış miktarların bulunmasında çeşitli formüller kullanılmıştır. Formüldeki bu değişiklikte, memleketten memlekete, hatta bölgeden bölgeye farklar gösteren yamaç eğimlerinin, bakı şartlarının ve özellikle yükseklik artışına bağlı olarak, değişen yağış miktarının rolü vardır (Dönmez, 1990:176). Yağış miktarı hesaplamasında kullanılan “Schreiber formülü”, yağış formüllerinin başlıcalarından olup, 100 m yükseklik artışına karşılık yağışın 54 mm arttığını kabul etmektedir. $P_h = P_o + 54h$ eşitliğinden faydalanılarak hesap edilmektedir. Eşitlikte P_h , dağda yükseltisi bilinen bir noktanın bulunacak yağış tutarını; P_o , dağ eteğinde yükseltisi bilinen ve yağış rasadı yapan mukayese istasyonun yağış tutarı; 54, her 100 m yükseldikçe yağışın 54 mm arttığını gösteren katsayıyı, son olarak h ise, mukayese istasyonu ile yağış miktarı bulunacak nokta arasındaki hektometre yükselti farkı olarak bilinmektedir (Dönmez, 1990:177). Topografya haritasından, dağlık bir alan üzerinde yükseltisi belli olan bir nokta tespit edilerek yağış değeri hesaplamalarında Schreiber formül yaygın olarak kullanılmaktadır. “Huber

formül” ise, Schreiber formülünden farklı olarak yamaç eğimlerini de hesaba katarak yağış miktarı hesaplamalarında sıkça kullanılan formüllerden biridir. Huber formülü, $P_h = P_o + 41.4h + 382 T_g a$ eşitliği ile ifade edilmektedir. P_o , etek istasyonuna ait yağış miktarını, h , iki nokta arasındaki hektometre cinsinden yükselti farkını, a ise, ortalama yamaç eğimini göstermektedir (Dönmez, 1990:178-179). Ancak, Huber formülü eğimlerin iyi bilindiği ve kısa mesafeler içinde çok değişmediği bölgelerde iyi sonuç vermektedir.

Teknolojik gelişme ve bilgi toplumundaki ilerlemeler sayesinde pek çok alanda olduğu gibi klimatoloji çalışmalarda da önemli aşamalar kat edilmiştir. Çok sayıda matematik model ve fonksiyon sayesinde çok başarılı araştırmalar yapılmış ve önemli sonuçlara varılmıştır. Bu noktada belki de en önemli gelişmeler yağış değişkeni değerlerinin tahmini ile ilgili modeller üzerine çok sayıda basit ve karmaşık mekânsal enterpolasyon tekniklerinin geliştirilmiş olmasıdır. Mekânsal enterpolasyon tekniklerinin uygulandığı günlük yağış değişkeni üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Beek, vd., 1992; Hutchinson, 1998; Kyriakidis, vd., 2001; Carrera-Hernandez ve Gaskin, 2007; Symeonakis, vd., 2009). Yine aynı teknikler kullanılarak aylık yağış değişkeninin de ortaya konulduğu çalışmalar mevcuttur (Wotling, vd., 2000; Gemmer, vd., 2004; Lloyd, 2005; Sharples, vd., 2005; Lloyd, 2010). Martínez-Cob (1996), Hofierka vd. (2002), Goovaerts (2000), Hession ve Moore (2011) çalışmalarında yıllık yağış değişkenini hesap ederken mekânsal enterpolasyon yöntemlerini kullanmışlardır. Bazı

enterpolasyon teknikleri sadece ölçüm noktaları arasındaki mekânsal ilişkileri dikkate alırken, yağışı etkileyen faktörleri hesaba katmaz. Bu sebeple, bu enterpolasyon yöntemleri özellikle dağlık bölgeler gibi engebeli araziler için doğru yağış tahmini elde edilmesinde yetersiz kalır (Marquínez, vd., 2003; Sharples, vd., 2005). Yağışı etkileyen diğer faktörlerin bir arada bulunduğu enterpolasyon teknikleri ile daha doğru yağış modelleri elde edilmiştir. Bazı araştırmacılar yardımcı değişken olarak yalnız yükseklik faktörünü kullanmıştır (Phillips, vd., 1992; Wotling, vd., 2000; Lloyd, 2005; Lloyd, 2010). Başka araştırmacılar yağışı etkileyebilecek yükseklik, bakı, eğim, arazi kullanımı, denizden uzaklık, güneş radyasyonu, sıcaklık, rüzgar, nem gibi diğer faktörlerden de yararlanmışlardır (Hutchinson, 1998; Kieffer Weisse ve Bois, 2002; Boer, vd., 2001; Kyriakidis, vd., 2001; Hofierka, vd., 2002; Diodato, 2005; Yin, vd., 2008; Apaydin, vd., 2011; Hession ve Moore, 2011; Bostan, vd., 2012). Belirtilen bu çalışmalarda, yağışı etkileyen değişkenler yardımıyla oluşturulan modellerin daha doğru tahmin sonuçları verdiği belirtilmiştir. Diğer taraftan, bu çalışmalarda kullanılan global enterpolasyon teknikleri tüm alan için tahminler yapmaktadır. Enterpolasyon sonucunda modelin açıklanamadığı yerler vardır ki, bunlar hata olarak bilinir ve lokal farklılıklardan kaynaklandığı düşünülür. Bu sebeple, geniş coğrafi alandan daha sınırlı komşu alanlara çekilerek gerçekleştirilen lokal enterpolasyon teknikleri, global enterpolasyon tekniklerine göre daha doğru sonuçlar vermektedir (Lloyd, 2010; Harris, vd., 2011; Haas, 1990a; Pardo-Igúzquiza, vd., 2005).

Türkiye'nin topografik yapısı, kısa mesafede büyük yükseklik farklılıklarının bulunması, kıyılara paralel yüksek dağ sıralarının varlığı gibi pek çok neden, yağış dağılışının karmaşık bir yapı göstermesine neden olmaktadır. Diğer taraftan, meteoroloji gözlem ağıının yatayda ve dikeyde yetersiz ve heterojen dağılımı yıllık ortalama toplam yağış dağılışının tam olarak değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Yetersiz istasyon ağını ve jeomorfolojik özelliklerin doğurduğu yağış dağılışındaki heterojenlik, yağış değişimindeki değişiklik, su potansiyelinin belirlenmesi ve planlanmasında sorunlara yol açmaktadır. İklim değişikliği sonucunda yağışta görülecek değişimlere neden olan girdilerin temelini ülkenin yağış dağılışının doğru şekilde hesap edilmesi oluşturur. Böylece bölgeler arası yağış dağılışındaki değişimler hesaplanarak ileriye dönük planlamalardaki tahminler daha gerçekçi olacaktır. Günümüze kadar Türkiye'de yağış dağılışı tam olarak ortaya çıkarılamamıştır. Bu durum klimatoloji ve hidroloji gibi çalışmalarda önemli sorunlara neden olmaktadır. Yukarıda belirtilen açıklamalar çerçevesinde bu çalışmanın ana amacını, Türkiye'deki (1976-2010) yağış istasyon verilerinden elde edilen yıllık ortalama toplam yağış verileri kullanılarak, yıllık ortalama toplam yağış paterninin ortaya konması ve en doğru yağış modelinin çıkarılması oluşturmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, Türkiye'nin yağış tahmin haritalarını gösteren global ve lokal jeostatistik analizleri bu araştırmanın bir başka önemli ayağını oluşturmaktadır. Bunun yanında;

- Çapraz Geçerlilik (Cross Validation) yardımıyla hata tahmin haritalarının retilmesi,

- Farklı hata ölçüm yöntemleri, Ortalama Hata (Mean Error, ME), Ortalama Mutlak Hata Mean (Absolute Error, MAE), Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square, RMSE) ve Belirleyicilik Katsayısı (R^2) değerleri ile sonuçların performanslarının karşılaştırılması,

- Yağışın meknsal değişiminin araştırılması ve tahmininde global alanda üretilen global tahmin modelleri, lokal alanlar için üretilen lokal tahmin modelleri ve lokal teorik yarıvariogramlar kullanılarak üretilen global tahmin modellerinin karşılaştırılıp, Türkiye zerine tartışılması araştırmanın diğer amaçları arasında yer almaktadır.

Çalışmanın en önemli çıktılarından bir diğeri ise, su varlığının en önemli girdisini oluşturan yağış miktarının gerçeğe yakın şekilde hesaplanmasını olanaklı kılması ve doğru bir şekilde modellenmesini sağlamasıdır. Çünkü Türkiye yakın gelecekte su stresi çeken ülke haline gelecektir. Bu duruma karşı önlem alabilmek, yağış tutarımızın tam olarak hesaplanması ile mümkündür. Bu sebeple, çalışma su potansiyelinin farklı alanlarda doğru olarak hesaplanmasına önemli bir katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, böyle bir meknsal/coğrafi araştırmanın başka disiplinler ya da coğrafyacılar tarafından yapılacak araştırmalara referans oluşturabilecek bir altlık görevi görmesi de, bu çalışmanın önemini arttırmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

İnsanın yeryüzünü değiştirme girişimleri, mekânın insanın yararına kullanımını sağlarken, bir yandan da çevrenin bazen geri döndürülemez biçimde değiştirilmesine, bunun sonucunda da çevresel sorunların açığa çıkmasına neden olmaktadır. 18. yüzyılın sonlarında başlayan endüstri devrimi öncesi dünya nüfusu bir milyardan altındaydı ve işgücünün önemli bir bölümü tarım sektöründe yer almaktaydı. O dönemlerde insan faaliyetlerinin iklim üzerindeki etkisi ise oldukça sınırlıydı. 19. yüzyıl sanayi devrimiyle beraber dünyanın nüfusu hızlı bir şekilde artmıştır. 2013 yılı itibarıyla dünya nüfusu 7.2 milyara ulaşmıştır (UN, 2013:47). Artan nüfus ile doğal kaynakların kullanımı gittikçe artmaya başlamıştır. İnsanların gün geçtikçe daha konforlu bir yaşam arayışı içerisinde olmaları daha fazla enerji üretilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için daha fazla kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlarının kullanılması atmosfere iklimdeki dengeyi tehdit edecek boyutlarda kirleticilerin salınmasına neden olmuştur (Şen, vd., 2008:83). Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), hazırladığı Üçüncü Değerlendirme Raporu'nda *"son 50 yıl içinde gözlenen ısınmanın büyük ölçüde insan etkinliklerine bağlanabileceğini gösteren yeni ve daha güçlü kanıtlar elde edildiğini"* doğrulamıştır (IPCC, 2007). İnsanların çeşitli aktiviteleri sonucunda meydana gelen *"sera gazları"* olarak nitelenen (karbondioksit (CO₂), di azot monoksit (N₂O), metan (CH₄), su buharı (H₂O), kloroflorokarbon (CFC)) gibi gazların atmosferik konsantrasyonlarının artması küresel ısınma ve ani iklim

değişiminin meydana gelmesine neden olmaktadır (IPCC, 2007). Örneğin fosil yakıtların tüketimi ve tropikal ormanların tarım arazilerine dönüşmesiyle atmosfere 3.5 Pg/yr oranında karbon (C) ilave edilir (Paustian, vd., 2000). Diğer taraftan, antropojenik aktivitelerden kaynaklı, CO₂, CH₄ ve N₂O konsantrasyonlarındaki artış ise göz ardı edilemez. Bunlardan CO₂ emisyonunda gözlenen artış fosil yakıtları ve arazi kullanımı dönüşümünden, CH₄ ve N₂O emisyonlarındaki artış ise, ağırlıklı olarak tarımdan kaynaklanmaktadır (IPCC, 2007). Antropojenik sera gazı yaklaşık olarak %60 oranında CO₂, %15 oranında CH₄, %5 oranında N₂O gazlarından oluşmaktadır. Bu gazlardan en önemli etkiyi %60'lık oranıyla CO₂ oluşturmaktadır (Rodhe, 1990). H₂O ise, CO₂, CH₄, ve N₂O tarafından meydana gelen ısınmayı neredeyse iki katına çıkaran en önemli sera gazlarından bir diğeridir (Manabe ve Wetherald, 1967; Raval ve Ramanathan, 1989).

Toplumun, ana enerji kaynağı olarak fosil yakıtlara olan uzun süreli bağımlılığının ve arazi kullanımındaki dönüşümün gelecekte de sürmesi durumunda, atmosferdeki CO₂ birikimi büyük ölçüde artabilecek gibi görünmektedir. Kimyasal gübreler, içten yanmalı motorlardan çıkan emisyonlar, otlatma faaliyetleri, pirinç tarlaları, her çeşit yangınlar ve insanların ormanları ortadan kaldırdığı yerlerde ortaya çıkan termitlerin (ve de bataklıkların, çöplüklerin) ürettiği CH₄ gazından başka, C içeren yakıtların (fosil yakıtlar) kullanımı da CO₂ miktarını arttırır. Ağaçlar CO₂'in

büyük kısmını emdikleri için ormanların ortadan kaldırılması da bu artışa katkıda bulunmaktadır (Tümertekin ve Özgüç, 2004:455). CO₂ birikimindeki bu artışın küresel iklimde önemli ve uzun süreli değişikliklere yol açabileceği aşikârdır. Atmosferde oluşan kirlilik, uzun süreli belki de kalıcı sonuçlar doğurmaktadır. İklimde gözlenen bu değişimlerin anlaşılması doğal ve sosyal yaşamın devamlılığı açısından oldukça önem taşımaktadır. Söz konusu değişimlerin açıklanması ve yorumlanması iklim değişikliğinin olası etkilerinin azaltılması bakımından belirleyici olmaktadır.

Küresel çevre değişimi tüm dünyanın yüzleştiği kritik bir konudur. İklim değişimi ise, küresel çevre değişiminin en önemli konuları arasında yer almaktadır. Dünyanın farklı yerlerinde iklim değişiminin olası etkileri çeşitli çalışmalarla gösterilmeye çalışılmıştır (Arnell ve Reynard, 1996; Strzepek ve Yates, 1997; Leung ve Wigmosta, 1999; Pfister, vd., 2004; Li, vd., 2008). İklim değişiminin önemli etkileri hidrolojik döngü, sanayi alanları için su gereksinimi, taşkın kontrolü, sulama ve tarım, rezervuar işletme gibi çeşitli etmenler üzerinde gözlenmektedir. İklim değişimi, doğal felaketlerin büyüklüğünün artışı yönünde güçlü bir etkiye sahiptir. Örneğin Amerika'da 20. yüzyılın ikinci yarısında iklim değişiminden dolayı sel felaketlerinin büyüklüğü artmıştır (Pielke Jr ve Downton, 2000). Yıllık 3-4 milyar dolarlık ekonomik boyuta ulaşan sel felaketleri, tüm doğal felaketler arasında kasırga felaketinin neden olduğu ekonomik kayıplardan sonra ikinci sırayı almıştır (Changnon ve Hewings, 2001). Türkiye'de de son on yıl içinde meydana

gelen sel felaketleri, can kayıplarının yanı sıra, hem kentsel, hem kırsal kesimde çok büyük maddi zararlara neden olmuştur. İklim değişiminin en önemli etkisi yağış üzerine izlenmektedir. Atmosferdeki su buharının yeryüzüne ulaşması yağış olarak bilinir. Radyoaktif ısınımsal kuvvetlenmedeki artış, atmosferin dengesini bozabilen atmosferik subuharı miktarını arttırabilmekte ve yağış rejimini değiştirebilmektedir (Kunkel, 2003). Genel olarak algılanan, kuru alanların daha kuru, nemli alanların daha nemli olmasıdır (Dore, 2005). Örneğin, gelecekte dünyanın bazı bölgelerinde kasırgalar, kuvvetli yağışlar ile onlara bağlı seller ve taşkınlar gibi meteoroloji afetlerin şiddetlerinde ve sıklıklarında artışlar olurken, bazı bölgelerinde uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar ve bunlarla ilişkili yaygın çölleşme olayları daha fazla etkili olabilecektir.

Yağışın değişim paterni, 21. yüzyılın en büyük küresel sorunlarından biri olan gıda ürünlerinin üretimini de etkilemektedir (Dore, 2005). Yağış miktarlarında meydana gelen artış ekinlere zarar vermektedir. Bunun sonucu olarak, ürün kayıplarının maliyeti ve tarımsal hasarlar da bir artış beklenmektedir (McCarthy, 2001; Reilly, vd., 2003; Rosenzweig, vd., 2002). Diğer taraftan yağışta gözlenen artış miktarı toprak nemliliğinin ve bitkilerin hastalıklara ve böcek istilasına daha çok eğilimli olmasına neden olan risklerin artmasını sağlamaktadır (Ashraf ve Habib-ur-Rehman, 1999). Görüldüğü gibi istihdamın ve gelirin büyük bir bölümünü tarım sektöründen sağlayan ülkeler için yağış önemli bir iklim elemanıdır. Bu

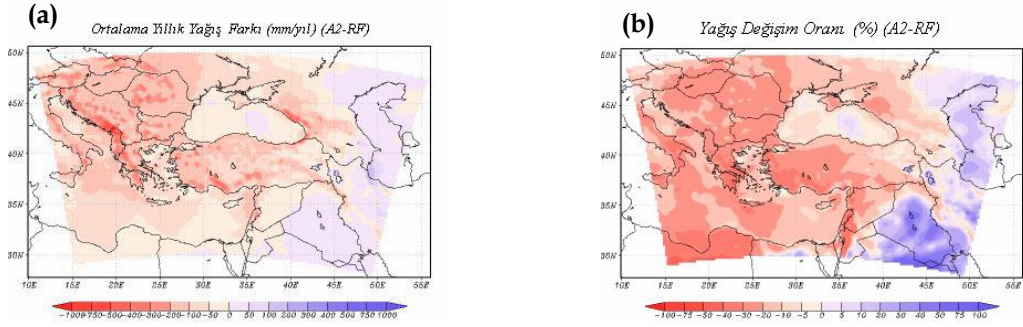
durumda iklim değişiklikleri nedeniyle toplam üründeki ve üretkenlikteki değişiklikler, bölgesel ve yöresel olarak önemli düzeyde değişecek ve buna bağlı olarak da üretim desenin de değişmeler meydana gelebilecektir.

Su mevcudiyeti ve kalitesi iklim değişikliği üzerinde önemli olan konulardan bir diğeri. Yeşil su topraktan sızan yağmur suyundan oluşmakta, su tutma gözeneklerinde tutulmakta ve ağaç köklerinde emilim için bulunmaktadır. Yeşil suyun aksine mavi su, nehir, göl ve akiferlerde mevcut olan sudur (Rockström, vd., 2009). 2050'ye kadar, küresel nüfusun %59'su mavi su kıtlığı yaşayacak iken, %36'sı hem yeşil hem de mavi su kıtlığı yaşayacaktır (Rockström, vd., 2009). Ayrıca, ekosistem için canlıların yeşil suya olan bağımlılıklarının %90 olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yeşil su kaynaklarının yönetimi için etkili yolların tanımlanması, tarımda kuraklık risklerinin azaltılması ve küresel gıda güvenliğinin sağlanması açısından oldukça önemlidir (Rockström, vd., 2009). Kısaca, yağış yeryüzündeki su kaynaklarının varlığı açısından önemli bir fiziki süreçtir. Bu bakımdan yağışın olup olmaması bu noktada önem kazanmaktadır.

Tarım, çevre, ekonomi, sanayinin yanı sıra yaşayan nüfusu da ciddi olarak etkileyen iklim değişiminin bu geniş çaptaki etkileri dünyanın pek çok bölümünde farklı boyutlarda hissedilmektedir (Giorgi, vd., 2001; Hulme, vd., 1998). Geleceğe yönelik iklim değişikliği senaryolarının oluşturulması ve bu senaryolara göre etki değerlendirilmelerinin yapılabilmesi için iklim

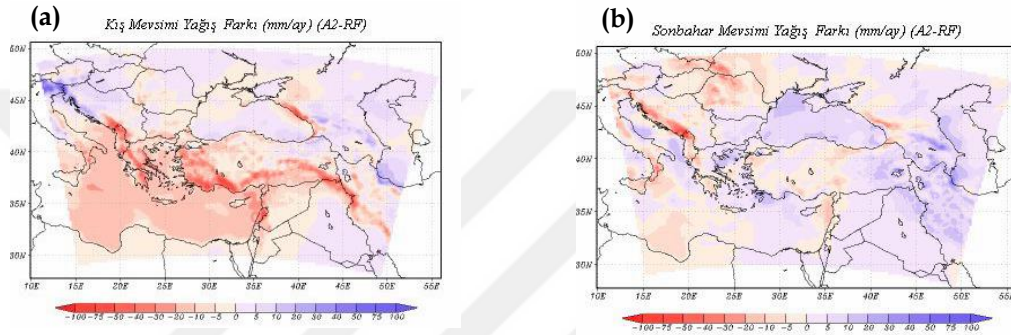
değişikliğinin etkilerinin önlenmesi ya da en az düzeye indirilmesi gerekmektedir. Ülkelerin iklim değişikliğinin sonuçlarına hazırlıklı olması ve iklim değişikliğine uyum sağlaması açısından iklim değişkenleri hakkında doğru bilgi elde etmeleri gerekmektedir. Bulunduğu konum, üç tarafının denizlerle çevrili olması, deniz seviyesine göre yüksek olması, kıyılara paralel dağ sıralarının bulunması, denize yakınlık ve uzaklık, yer şekillerinin kısa mesafelerde değişmesi ve çeşitlilik göstermesi gibi faktörlerin varlığı Türkiye'nin iklim değişiminin etkisinde kaldığı ülkeler arasında bulunduğunun bir göstergesidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ile İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nün ortaklaşa yürüttüğü "*Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları*" başlıklı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) projesi iklim değişikliği öngörülerine yönelik Providing Regional Climates for Impacts Studies (PRECIS) Bölgesel İklim Modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş bir iklim modelidir. Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi'nin Atmosferik Dolaşım Modeli HadAMP3'ün çıktıları kullanılmıştır. Model referans dönem (1961-1991) ve gelecek dönem (2071-2100) yılları olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Modele göre, gelecek döneme yönelik Türkiye yağışlarında azalma yönünde değişiklikler öngörülmektedir ve bu değişimlerde farklılıklar söz konusudur (Demir, vd., 2008). Şekil 1a'da görüldüğü gibi Doğu Karadeniz, Ege, Akdeniz ve Toros Dağları boyunca yıllık toplam yağış miktarında 100-400 mm/yıl oranında düşüşler beklenmektedir. Ege, Trakya, Batı ve Orta Akdeniz, Güneydoğu

Anadolu'nun bir kısmı ile İç Anadolu Bölgesi'nde yağışlar %30-40 oranında azalacaktır. Doğu Anadolu ile Doğu Karadeniz'de bu oran daha az (%5) beklenmektedir (Şekil 1b). Ege ve Akdeniz bölgelerinden başlayarak Toros Dağları'nı takip eden hat boyunca yağışlarda belirgin azalmalar ve Doğu Karadeniz ile Doğu Anadolu'nun kuzeyinde artışlar olacağı saptanmıştır (Şekil 2a, Demir, vd., 2008:4). İlkbahar mevsimi yağış miktarında ülke genelinde azalma hâkimdir. Yaz mevsiminde, yağış miktarı İç Anadolu ve Karadeniz Bölgesi'nde belirgin olarak azalmaktadır. Sonbahar mevsiminde ise diğer mevsimlere oranla, daha çok Türkiye'nin doğu kesimleri olmak üzere genelde artış beklenmektedir (Şekil 2b, Demir, vd., 2008:5). Su bütçesi açısından çok önemli olan kar kalınlığının 2071-2100 döneminde 1961-1990 yıllarına göre değişimi Şekil 3a'da verilmiştir. Kar potansiyeli yüksek olan bölgelerimizden Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz'de kar kalınlığı gelecekte azalacaktır (Demir, vd., 2008:5). Bu sonucun bölgedeki havzaların beslenmesine ciddi oranda olumsuz yansımaları olacaktır (Demir, vd., 2008:6). Diğer taraftan, yağıştaki azalma ve sıcaklıktaki artışa paralel olarak buharlaşmadaki artış sonucunda, su kaybı da artmaktadır. Yağış ve buharlaşma arasındaki farklılıklarda, gelecekte Türkiye genelinde alansal olarak geniş ölçekli belirgin değişiklikler göze çarpmamakla birlikte, Güney Marmara, Ege, Doğu Karadeniz, Güneydoğu Anadolu'nun kuzeyi ve Toros Dağları hattında azalmalar görülmektedir (Şekil 3b, Demir, vd., 2008:6).



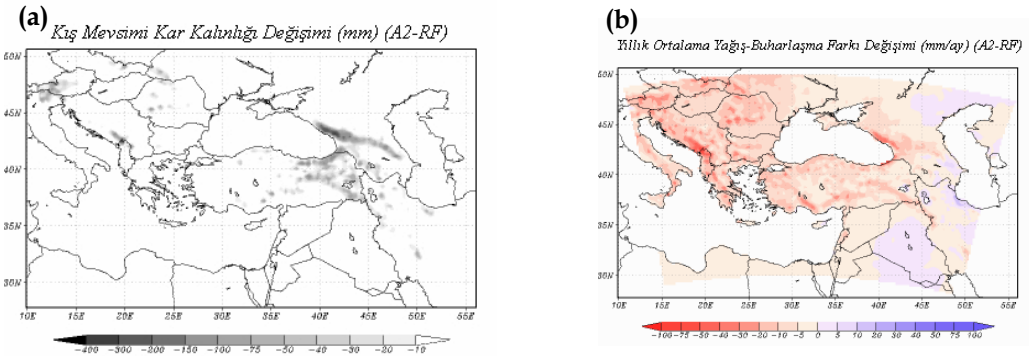
Şekil 1 (a) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yıllık toplam yağış değişim haritası (mm/yıl). (b) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yıllık toplam yağış değişim haritası (mm/yıl)

Kaynak: Demir, vd., 2008:5



Şekil 2 (a) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları kış mevsimi yağış değişim haritası (mm/ay). (b) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları sonbahar mevsimi yağış değişim haritası (mm/ay)

Kaynak: Demir, vd., 2008:5



Şekil 3 (a) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları kış mevsimi kar kalınlığı değişimi haritası (mm). (b) HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yıllık ortalama yağış-buharlaşma değişimi (mm/ay)

Kaynak: Demir, vd., 2008:6

Yağış olasılığı, yağış tutarı, yağış şiddeti, yağış yoğunluğu gibi yağış özelliklerinde meydana gelen değişimler Türkiye'nin bulunduğu hassas konumundan ötürü doğal ve sosyal ortamda çeşitli olumsuzluklara neden olabilecektir. Küresel iklim değişiminin Türkiye yağışlarına etkisinin yönü bu noktada çok önem kazanmaktadır. Bu sebeple, yağış ve etkileri özellikle araştırılması gereken en önemli iklim değişimi bileşenlerinden biridir. Yağış dağılışının en iyi şekilde belirlenmesi etkisi altında bıraktığı tüm etmenler açısından büyük önem arz etmektedir.

Son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde (Geographic Information System, GIS) meydana gelen gelişmeler sonucunda, jeostatistik analiz çalışmaları GIS ile etkili bir biçimde uygulanabilir hale gelmiştir. GIS, istatistik metodlarla birleştiğinde, mekânsal verinin analiz edilmesini, görüntülenmesini ve yönetimini sağlayacak etkili bir dizi araç sağlar (Krivoruchko, vd., 2003; Anselin, 2003; Wong ve Lee, 2005). Veri toplama aşamasını kolaylaştıran, daha etkin ve hızlı bir biçimde bölgesel değişiklikleri değerlendirebilen, çeşitli değişkenleri karar destek amaçlı olarak birleştirebilen ve sorgulayabilen GIS, büyük veri setleri ile çalışabilme yeteneğine sahiptir. Bu sebeple, istatistik teknikleri ile GIS'in bir arada kullanımı karmaşık coğrafi problemlerin çözümünde büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

2.1. Coğrafi Bilgi Sistemi ve Gelişimi

Bilim ve teknolojiadaki hızlı değişimler, sanayi toplumundan bilgi toplumuna dönüşüm sürecini hızlandırmıştır. Bu süreçte, üretimi ve maliyeti etkileyen en önemli faktör bilgidir. Bilgi, toplumlar arası rekabetin anahtarı olmuştur. Bilgi toplumuna dönüşüm sürecini toplumlararası rekabetin dayandığı bilimsel ve teknolojik düzey belirlemektedir. Bugün evrensel bir nitelik taşıyan bilginin, gittikçe artan gereksinimlere daha iyi yanıt verdiği, “coğrafi bilgi” tanımlamasına bıraktığı bir süreçte bulunmaktadır. Teknolojik gelişimin yarattığı değişimler sonucu, ortaya çıkan sorunlara çözüm aranılan alanlar arasında GIS’in nasıl etkiler bıraktığı açıkça görülmektedir. GIS teknolojisindeki gelişmenin ana yönünün bilgisayar teknolojisi ve analitik metodlar üzerine olduğu gerçektir. Bilgisayar ve analitik metodlarda meydana gelen gelişmeler geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı durumlarda oldukça büyük fayda sağlamıştır. Özellikle GIS, mekânsal istatistik ve sayısal mekânsal modellemelerin bir arada kullanımı neticesinde gerçek dünyaya ait karmaşık problemlerin çözümlerinde oldukça etkili olmuştur.

GIS; araştırma, plânlama ve yönetimdeki karar verme yeteneklerini artırmak; zaman, para ve personel tasarrufu sağlamak amacıyla; coğrafya ile ilgili grafik (konum ve şekil) ve grafik olmayan (öznitelik) verilerin çeşitli kaynaklardan toplanması, bilgisayar ortamında depolanması, işlenmesi, analiz edilmesi, sunulması fonksiyonlarını bütünlük olarak yerine getiren

personel, coğrafi veri, bilgisayar yazılım ve donanım sistemlerinin tümüdür. Konumsal (mekânsal) verilerin toplandığı, görüntülendiği, analiz edildiği, grafik ve veri tabanı bilgilerinin ilişkisel olarak kullanılabildiği, istenen bilgiye sorgulama yoluyla erişimin sağlandığı bilgisayar destekli sistemdir. GIS, bir kişinin küresel pozisyonunun belirlenmesi gibi en basit problemten, mekânsal modelleme senaryoları gerektiren daha karmaşık problemlerin çözümüne kadar çeşitli jeo-mekânsal problemlerin çözümünde bir araç olarak kullanılabilmektedir (Coppock ve Rhind, 1991).

Yazılım, donanım sistemleri ve teknoloji ile ilişkilendirilen GIS'in başlangıcı Amerika Birleşik Devletleri Harvard Laboratuvarı'nda ortaya çıkmıştır (Schuurman, 2004:5). 1970'lerde GIS özel sektöre yayılmış, 1981'de California'da Environmental Research Systems Inc. (ESRI) adlı firmada ArcInfo® programının gelişmesi GIS için dönüm noktası olmuştur. 1990'larda donanım fiyatlarının düşüşü ile birlikte artan işlem kapasitesi ve masaüstü sistemlerde çalışabilen GIS yazılımları, GIS'i kullanılabilir hale getirmiştir. Bu olay şu anda da var olan GIS için birçok yolun açılmasına yol açmıştır. Coğrafi veri değerlendirme çalışmaları teknolojik gelişmeler, bilgisayar ve yazılım dünyasında yaşanan gelişmeler, kişisel bilgisayarların kullanım alanlarının gelişmesi ile farklı boyutlar kazanmıştır. Bugün sayısız katman, sanal olarak üst üste getirilmekte, bir biri ile entegre biçiminde kullanılabilmekte ve analiz edilebilmektedir. Mekânsal özelliği olan herhangi bir sorunsalın ortaya konmasında ve analiz edilmesinde, GIS vazgeçilmez bir

araç haline gelmiştir ve kullanım alanları oldukça genişlemiştir. Özellikle bilimsel çalışmalarda araştırma biçimleri GIS'in ortaya çıkmasıyla değişik bir yön kazanmıştır. GIS sadece farklı harita ölçeklerini, projeksiyonlarını, grid verilerini ve alansal tabakaları işleyebilecek kapasiteye sahip donanım ve yazılım sistemlerinin gelişmesi ve faydalanma olanaklarının artışı değil aynı zamanda, yeni sınırlamalar ve standardizasyonun oluşmasını, metodolojik ve konumsal pek çok konuda kesin ve doğru cevaplara erişim yollarını, karmaşık teoriler, üzerinde çalışılan sistemin veya fenomenin anlaşılması, yeni matematiksel yöntemler ile karmaşıklığın ölçülmesi ve gösterilmesine de imkân vermiştir. Çevresel çalışmalarda çeşitli zamansal ve mekânsal ölçeklerde pek çok çevresel değişkenin elde edilip analiz edilmesi GIS aracılığıyla gerçekleşebilir bir hal almıştır. Özellikle iklim ile ilgili çalışmalarda GIS'in kullanımı ve yaygınlığı önemli bir yere sahiptir. Bu sayede yağışlardaki değişimlerin analiz edilmesi sel, taşkın ve bunlara bağlı kütle hareketleri gibi kısa süreli gerçekleşmesi muhtemel afetlerin yanı sıra erozyon, kuraklık ve çölleşme gibi daha uzun bir zaman diliminde gerçekleşebilecek afetlere ilişkin planlama çalışmalarına bilimsel bilgi desteği sağlayabilmektedir.

2.2. Jeostatistik ve Coğrafya İlişkisi

Coğrafya ayrı ayrı yerlerdeki tüm fiziksel ve beşeri olguların etkileşimi ve yerler arasındaki bu karşılıklı etkilenmenin hangi kalıpları

yarattığı ve mekânı nasıl örgütlediğinin incelenmesi olarak tanımlanabilir (Tümertekin ve Özgüç, 2004:2). Tüm çevresel olgular coğrafi bir mekân içinde gerçekleşmektedir. Bir coğrafi mekânda meydana gelen bu çevresel olayların jeostatistik teknikleri yardımıyla araştırılması coğrafya çalışmalarında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Coğrafyanın diğer disiplinlerden ayırt edici belki de bir anlamda “eşsiz” kılan yanı, olaylara mekânsal yaklaşımıdır. Örneğin, sosyolog, ekonomist, biyolog ve coğrafyacının bir toplumda yer alan etnik gruplara olan ilgi ve gözlemleri değişkenlik göstermektedir. Sosyolog belirli bir sosyal uyum sürdüren bu etnik grupların ev sahibi toplumların yanı sıra diğer etnik grupları ile olan etkileşim süreçlerine odaklanırken, ekonomist bu grupların benzer sanayilerde işe alma veya kendi işyerini kurma eğilimlerini araştırır. Biyolog ise, genetik farklılıklarının fiziksel özelliklere olan katkısını açıklamaktadır. Diğer taraftan coğrafyacı konumsal ve mekânsal çerçeveden; iki veya daha fazla yerleşim alanında bulunan aynı etnik gruba sahip bireylerin neden toplandığını? Ev sahibi ülkede yeni nesil büyürken bireylerin mekânsal dağılımını göçmen grupların değiştirmiş olup olmadığını? Neden bazı alanların göçmen gruplar tarafından diğer alanlara göre daha çekici olduğu gibi belli sorular sorarak olayları analiz etmeye yönelmektedir. Bu sorular coğrafyada mekân ve lokasyonun ne kadar önemli iki kavram olduğunun bir göstergesidir (Walford, 1995:344-345). Coğrafi dağılım ise, mekân veya dünya üzerinde bir olgunun paterni ve dağılımıyla ilgilidir. Coğrafi dağılım, mekânsal toplanma, yayılma ve düzenlilik gibi kavramlar ile izah

edilmektedir. Örneğin beşeri coğrafyacılar belirli bir olgunun bazı alanlarda diğerlerinden daha fazla toplanıp toplanmadığı veya zamanla toplanmanın değişip değişmediği ile ilgilenirlerken, fiziki coğrafyacılar belirli bir olgunun dağılım gösterip göstermediğini araştırırlar. İşte bu noktada mekânsal istatistik gözlenen bu toplanmanın belirli bir patern gösterip göstermediğini araştırmak için kullanılmaktadır.

Mekânsal verilerin istatistiksel analizi, istatistikçiler tarafından mekânsal istatistik (Ripley, 1981), mekânsal veri istatistikleri olarak (Cressie, 1993) verilmektedir. Coğrafyada ise, mekânsal analiz teriminin kullanımı 1950'lere dayanmaktadır (Berry ve Marble, 1968). Coğrafyacılar bu terimi mekânsal veri analiz yöntemleri olarak ele almaktadırlar (Haining, 1993). Mekânsal veri analizi, mekânda var olan verilerin etkileşimini, yapısını ve süreçlerini açıklayacak yöntemler ile bunların diğer mekânsal olaylarla olası ilişkilerinin açıklandığı veri analizidir (Bailey ve Gatrell, 1995:7). Mekânsal veri analizinin amacı, değişken değerlerin mekânsal olarak dağılımının anlaşılması, paterninin tespit edilmesi ve değişkenler arasındaki ilişkinin test edilmesidir. Jeostatistik, mekânsal veri analizinin bir alt birimi olup çeşitli araçları ve modelleme tekniklerini içermektedir.

Geleneksel istatistik yöntemleri ile yapılan analizlerde herhangi bir değişkenin varyans ve ortalaması hesaplanırken, gözlemlerin yapıldığı yerin coğrafi konumu ve gözlemler arası mekânsal otokorelasyonu dikkate alınmamaktadır (Webster, 1985). Sözü geçen mekânsal otokorelasyon

kelimesinin coğrafi çalışmalar içerisinde oldukça önemli bir yeri vardır. Bir dağılımın mekânsal paterni, mekânın içerisindeki her bir varlığın düzeni ve bunlar arasındaki coğrafi ilişkileri tarafından belirlenir (Hansen, 1997). Mekânsal otokorelasyon *“her şey başka her şeyle ilişkilidir, yakın olan şeyler uzak olanlara göre daha çok ilişkilidir”* olduğunu ifade eden coğrafyanın ilk kanuna dayalıdır (Tobler, 1970:236). Böylece mekânsal otokorelasyon, bir alan içindeki benzer objeleri veya alandaki bir mekânsal fenomenin kendisiyle olan bağıllık derecesini ölçmektedir (Cliff ve Ord, 1973, 1981). Karşılıklı bağlantı/etkileşim coğrafyada o kadar önemlidir ki Gould (1991)’de bunu *“bağılantısız bir şeyin coğrafyasını yapamazsınız. Bağlantı yoksa coğrafya da yoktur”* sözleriyle ifade etmiştir (Aktaran: Tümertekin ve Özgüç, 2004:53). Gözlemlerarası korelasyonun önemli olduğu durumlarda, verilerin analizi, gözlemi bulunmayan noktalara ilişkin tahminler yapılması, değişkenin alansal ortalama değerinin tahmin edilmesi ve haritalanması geleneksel istatistik yöntemleri ile mümkün değildir (Olea, 1982). Bu sebeple, gözlemlerin yapıldığı noktaların konumlarını ve gözlemlerarası korelasyonu göz önüne alan yöntemler kullanılmaktadır. Bu amaçla, jeoistatistik yöntemler Bölgesel Değişkenler Teorisinin (Theory of Regionalized Variables) geliştirilmesini takiben, pek çok disiplinde hızlı bir şekilde uygulanmaya başlamıştır. Bir değişkenin değerlerini ilgili bütün alan boyunca tahmin etmek mekânsal tahmin veya mekânsal enterpolasyon olarak adlandırılmaktadır ki, bu jeoistatistiğin kullanım alanlarından birini oluşturmaktadır. Gözlem verilerinin deneysel yarıvariogram yapısının

belirlenmesi ve bu yarivariogram yapısına teorik bir modelin uydurulması jeostatistiksel çalışmaların temelidir. Alansal bir değişkenin doğru olarak tahmin edilmesi, gözlem noktalarının sıklığına, gözlem noktalarının mekânsal değişkenliğine ve bu değişkenin göstergesi olan yarivariogram modelinin doğru olarak belirlenmesine bağlıdır. Yarivariogram modelleri geleneksel istatistik yöntemleri gibi tek bir noktanın örneğin istasyonun gözlem değerleri ile ilgilenmemektedir. Jeostatistiksel analizler ile bir alan veya doğrultu üzerinde düzenli veya düzensiz bir şekilde dağılmış mevcut tüm gözlem noktalarının eş zamanlı gözlemleri kullanılmakta ve zaman boyutu yanında, alansal değişkenlik boyutu da araştırmaların içine dâhil edilebilmektedir. Mekânsal değişim ölçeğinin belirlenmesi ve tahmin edilmesi, bölge tanımlanması, çoklu veri analizi, olasılık haritaları gibi birçok mekânsal problemlerin çözümünde uygulanabilmektedir. Veri noktalarını almak ve *“tüm alanda verilerin nasıl bir dağılım gösterdiği ile ilgili kullanışlı ve ilgi çekici sonuçları anlatan bir model oluşturmak”* jeostatistik tekniklerin en önemli amaçlarından birini oluşturur (Hengl, 2009). Jeostatistik yönteminin esasları tüm değerlerin bir bağımlı değişken ile birlikte, tesadüfi bir sürecin sonucu olduğunu varsayar. Bundan kastedilen, örneğin 1 Türk Lirası (TL) bozuk parayı havaya üç kez atıp yazı mı tura mı gelecek diye tespit edelim. Diğer taraftan dördüncü 1 TL’yi ise, havaya atmayıp, yazı mı tura mı olacağı aşağıda verilen kurala göre belirleneceğini düşünelim: *Eğer ikinci ve üçüncü “yazı” gelmişse dördüncü birincinin tersi olacak, eğer ikinci ve üçüncü “yazı” gelmemişse dördüncü birinciyle aynı olacaktır* (Şekil 4).



Şekil 4. Bağımlılık kuralının gösterilmesi

Yazı-tura örneğinden de anlaşıldığı gibi dördüncü 1 TL bağımlılık kuralına göre belirlenmiştir. Ancak, gerçekte bağımlılık kuralı bilinmemektedir. Bu örnekten yola çıkarak jeostatistiğin iki anahtar işlevi olduğu söylenebilir. Bunlardan birincisi bağımlılık kuralının ortaya çıkarılmasıdır. Bu süreç için yarıvariogram ve kovaryans fonksiyonlarından yararlanılmaktadır. Bir diğeri ise, enterpolasyon ile tahminler yapmaktır. Tahminler ise, bağımlılık kuralının bilinmesiyle gerçekleştirilebilmektedir. Jeostatistiğin temel analiz aşamasını mekânsal modelin ortaya konulması oluşturmaktadır. Mekânsal modelin ortaya çıkarılmasıyla mekânda bulunan bağımlılık kuralının bulunması sağlanmaktadır. Bağımlılık kuralına göre, çalışma sahası içinde gözlem yapılmamış noktalardan tahminler oluşturulur. Son olarak tahminlerin doğrulukları test edilir. Böylece, jeostatistiğin üç temel amacı bu şekilde sıralanabilmektedir. Jeostatistik uygulamaları bilgisayar programı tarafından yapılıyormuş gibi gözükse de, bu konuyla ilgili çalışan uzmanların çalışma için çok sayıda değerlendirmesi gereken işlemleri (doğrusal veya doğrusal olmayan modellerin kullanımının seçimi,

mekânsal konumun olup olmadığını dikkate almak, orijinal verilerin dönüştürülüp dönüştürülmeyeceği veya kullanılıp kullanılmayacağı, çoklu bağlantıların olup olmadığını düşünmek vb. gibi) gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu sebeple jeoistatistiğe uzman tabanlı bir sistem demek yanlış olmaz.

2.3. Mekânsal Değişkenliğin Kaynakları

İncelenen bir doğa olayı zaman ve mekâna bağlı olarak bir değişim gösteriyorsa ve bu değişim belirli bir yapıya sahipse, bu değişken çevresel değişken olarak adlandırılır (Hengl, 2009). Çevresel değişkenlerin en dikkat çeken özelliklerinden biri, onların mekânsal-zamansal boyutunun varlığıdır. Bir çevresel değişkenin mekânsal-zamansal boyutu; değişkenin, coğrafi lokasyonu (enlem, boylam), yüksekliği, ölçüm zamanı (yıl, ay, gün, saat, dakika vb. gibi) ve mekânsal-zamansal destek boyutunu (çalışma alanının boyutu ve ölçüm zaman aralığı) kapsayan en az dört parametresiyle ifade edilmektedir (Hengl, 2009:1). Çevresel değişkenler; biyoloji (türlerin dağılımı ve bioçeşitlilik ölçümleri), toprak bilimi (toprak özellikleri), bitki bilimi (bitki türleri ve toplulukları, arazi kullanım tipleri), klimatoloji (yüzeyde, altında ve üstünde ki iklim değişimleri), hidroloji (su miktarı ve koşulları), gibi benzer bilimler arasında değişebilen nicel veya açıklayıcı ölçümlerdir (Hengl, 2009:4). Bunlar genellikle çalışma sahasının örneklenmesi ile elde edilir. Daha sonra bu örneklerin çalışma sahasındaki dağılımını gösteren haritalar

oluşturulur ki, çevresel özellikleri gösteren güncel ve doğru haritaların elde edilmesi oldukça önemli bir konudur. Mekânsal planlama, karar verme, arazi değerlendirme konularında çevresel değişkenlerin önemli bir yeri vardır. Bir alanda mevcut değişkene ait dağılım haritası oluşturmak değişken hakkında doğru ölçüm ve güvenilir analizler yapmayı gerektirmektedir. Çünkü çevresel değişkenler yalnızca mevsimsel olarak değil birkaç saniye içinde de değişim gösterebilmektedir. Örneğin, bitki ve hayvan türleri gibi çevresel değişkenlerin ölçümelerini yapabilmek oldukça zordur. Genellikle bu türler sık sık ölçülemezler ve özellikle hayvan türleri bulundukları lokasyonlarda tahmin edilemez yönlere ve tahmin edilemez mekânsal paternlere doğru değişim gösterirler. Mekânsal modeller yardımıyla bireylerin dağılımı haritalanabilir ve hayvan türleri yoğunluk ve kütle ölçümleri kullanılarak gösterilebilirler. Diğer taraftan bitki örtüsü haritalarında bitki oluşumunun en yaygın gözlemlenen alanları (0'dan %100 arası) kayıt edilerek gösterilebilmektedirler. Türlerin zamansal dağılımını haritalamak için biyoloji uzmanları, mutlak türler için ekolojik şartları tanımlamada istatistiksel modelleri geliştirmeyi amaçlamışlardır. Habitat haritalama olarak ifade edilen bu tür modeller jeostatistik yöntemlerle ele alınabilmektedir (Latimer, vd., 2004; Antoni'c, vd., 2005).

Çevresel değişkenlerin haritalamaları karmaşık ve pahalı haritalamayı gerektirmektedir. Bugüne kadar çevresel değişkenlerin haritaları zihinsel modeller kullanılarak oluşturulmaktaydı. Örneklenmiş veri üzerinden

istatistiksel ve/veya mantıksal modellerle tüm çalışma sahası hakkında bir önermede bulunulurdu. Bir araştırmada, veri toplama araştırmanın en pahalı parçası olduğundan araştırma ekibi sınırlı sayıda lokasyonlardan örnek alabilmekteydi. Yapılan çevresel değişkenlerin haritaları sınırlı, tutarsız ve hayali şekilde olmaktaydı. Bu sebeple, çeşitli mekânsal enterpolasyon metodları çevresel değişkenlerin değerlerini tahmin etmek ve haritalamak için geliştirilmiştir. Bir değişkenin değerlerini ilgili bütün alan boyunca tahmin etmek mekânsal tahmin veya mekânsal enterpolasyon olarak adlandırılmaktadır. Bu jeoistatistiğin temel kullanım alanlarından birini oluşturmaktadır. Jeoistatistik sadece çevresel bir değişkenin bulunduğu alan boyunca tahmin haritaları oluşturmayı değil, değişkenin niçin orada/o lokasyon da yer aldığını ve buna etki eden nedenleri de anlamayı amaçlamaktadır. Bu sebeple jeoistatistik teknikleri toprak haritalama, klimatoloji, ekoloji, oşinografi, jeokimya, epidemiyoloji, beşeri coğrafya gibi benzer pek çok alanda başarılı bir şekilde kullanım alanına sahiptir. Konu ile ilgili çalışan araştırmacılar (1) Bir değişken mekân-zamanda nasıl bir değişim gösterir? (2) Bu değişimi mekân-zamanda ne kontrol eder? (3) Mekânsal değişkenliği açıklamak için örnekler nerede konumlandırılmalıdır? (4) Mekânsal değişkenliği göstermek için ne kadar örneğe ihtiyaç vardır? (5) Yeni bir lokasyon/zamanda değişkenin değeri nedir? (6) Tahmin edilen değerlerin belirsizliği nedir? şeklinde mekânsal içerikli soruların cevabını aramaktadır. Jeoistatistik çalışmalarında çevresel değişkenlerin nerede yer aldığı, yani lokasyonu, değişkenlerin mekânda niçin birbiriyle bağlantılı

olduğu yani mekânsal etkileşimi ve değişkenlerin bulunduğu alanda dağılımlarını etkileyen diğer çevresel değişkenlerin etkileri incelenmektedir. Kısaca jeostatistik, ilgili olduğu çalışma konusuna ait sistemin mekânsal organizasyonu ile ilgilenmektedir.

2.4. Jeostatistiğin Tarihsel Gelişimi

Jeostatistik ilk olarak Güney Afrikalı maden mühendisi, D.G. Krige tarafından 1950'li yıllarda cevher rezervi alanlarının daha doğru tahmini için kullanılmış olan bir enterpolasyon yöntemidir (Kalkhan, 2011:85). Sonraki yıllarda Fransız maden mühendisi Matheron bu yöntemden yola çıkarak, jeostatistiğin temellerini oluşturan Bölgesel Değişkenler Teorisini geliştirmiştir. Matheron (1963) jeostatistik terimini doğal olayların keşfi ve tahmin edilmesi için rastgele bir fonksiyonun oluşturulması olarak tanımlamaktadır. Bu teoride bölgesel değişken, bir noktadan bir başka noktaya süreklilik göstererek değişen, fakat genellikle bir fonksiyonla ifade edilemeyen sayısal bir mekânsal fonksiyon olarak tarif edilmektedir (Olea, 1975; Webster, 1985). O dönemlerde Bölgesel Değişkenler Teorisi'nin uygulandığı alanın jeoloji ve maden olması jeostatistik terimini daha popüler kılmıştır. Jeoloji biliminde kullanımı yaygınlaşan jeostatistik yöntemleri, zamanla çok sayıda araştırmacının katkılarıyla geliştirilmiş, özellikle hidroloji olmak üzere, yeraltı suları hidroliği, toprak bilimi, klimatoloji, inşaat ve maden mühendisliği gibi farklı bilim alanlarında da

sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Kısa sürede jeoistatistik uygulamalarının faydaları pek çok disiplinde tartışılmaya başlamış ve çok sayıda araştırmacılar tarafından kullanım alanları, tekniklerin işleyişi, önemi çıkarmış oldukları yayınlar ile vurgulanmıştır. Jeostatistiğin tarihsel gelişimi açısından konunun önemini gösteren önemli kaynaklar şu şekilde verilebilmektedir. Agterberg'in (1974) matematiksel altyapıyı ve yerbilimleri uygulamalarını anlatan bir çalışması bulunmaktadır. Agterberg'in bu derlemesi uygulamalı jeolojide kullanılan matematik ve istatistiksel kavram ve teknik anlatımlarını içeren kapsamlı bir çalışmadır. Çok değişkenli bir sistemin mekânsal değişimi, Kriging, durağan rastgele değişken, trend analizi, matris cebir gibi pek çok konuyu içermektedir. Jeologlar için düzenlenmiş bu çalışma petroloji, ekonomik jeoloji, sedimantoloji ve yapısal jeoloji gibi pek çok konuyla ilişkili problemleri kapsayan uygulamalar içermektedir. Uygulamalar diğer fen bilimleri problemleri ile benzerlik gösterdiğinden dolayı, çalışma diğer alanlarda çalışanlar içinde oldukça faydalı bir kaynak olmuştur. Olea (1977), coğrafi dağılım gösteren ve bir doğa olayını ifade eden fonksiyonu bölgesel değişken olarak tanımlamıştır. Bununla birlikte, yarıvariogramların mekânsal bağımlılığın bir ölçüsü olduğunu, otokorelogramla sıkı ilişkisi olduğunu açıklamış, bölgesel değişkenlerin analizinde özellikle varyasyonun miktarı ve hızının sayısal olarak karakterize edilmesinde kullanılabileceğini vurgulamıştır. Olea çalışmasında, yarıvariogramlar kullanılarak değişkenin yapısal davranışı hakkında sonuç çıkarmaya yönelik jeolojiden çok sayıda örnekler vermiştir.

David (1977)'in cevher rezervi tahminlerini jeoistatistik yöntemleri ile anlatan kitabı jeoistatistik üzerine çalışanlar için önemli referanslardan biri olmuştur. David (1977) kitabında cevher rezervi tahmini, tenör kontrolü, örnekleme optimizasyonu ve maden sanayisindeki ilişkili problemlerde Bölgesel Değişkenler Teorisi yardımıyla çok sayıda soruya cevap vererek tartışmıştır. Kitap temel istatistiğe giriş ve cevher rezervi problemleri ve dağılımlarını anlatarak başlamakta olup, yarıvariogram, varyans tahmini, rastgele değişkenlerin mekânsal sürekliliği gibi konularla devam etmektedir. Ayrıca cevher kütlelerini modellemede kullanılan Kriging teknikleri kitabın içeriğini oluşturan diğer konulardan biridir. Maden sektöründeki gerçek sorunları bilgisayar programları yardımıyla açıklayan bu kitap uygulayıcılar için oldukça faydalı bir kaynak olmuştur. Journel ve Huijbregts (1978)'in maden jeoistatistiği üzerine yazdığı kitapları o yıllarda oldukça popüler kaynaklar arasında yer almıştır. Maden mühendisliği problemlerinin en basit teknikten en karmaşık tekniğe doğru nasıl çözümlenebileceğini içeren kitap geri kazanılabilen rezerv, yerinde kaynaklar tahmini, rastgele değişkenlerin yapısal analizi yarıvariogram ve varyans, Bölgesel Değişkenler Teorisi, madencilik uygulamaları ve jeoistatistik kavramları gibi konuları da içermektedir. Ayrıca, yarıvariogram tahmini, Kriging ve simülasyonlar üzerine bilgisayar programlarının yanı sıra yazarlar doğrusal olmayan jeoistatistik hakkında da kısaca bilgi vermişlerdir. Clark (1979) uygulamalı jeoistatistik üzerine basit bir kitap çıkarmıştır. Clark'ın kitabı maden ve hidrolojide bir, iki ve üç boyutlu örneklerle yarıvariogram ve Kriging

hesaplamalarını vermektedir. Hacim-varyans ilişkisi tahmin problemleriyle birlikte açıklanmaktadır. Basit bir şekilde Kriging tekniğini anlatan Clark, nokta ve Blok Kriging (BK), log-normal dönüşümden kaynaklanan bazı problemleri de kitabında tartışmıştır. Bu kitap özellikle madencilik açısından önemli olduğu kadar diğer fen bilimleri alanında da oldukça faydalı bir kaynak olmuştur. Henley (1981) "*Parametrik Olmayan Jeostatistik*" başlıklı kitabında jeostatistik de durağanlığın istatistiksel kısıtlaması, esas hipotez, normal varsayımları açıklamıştır. Bunun dışında bölgesel değişim ve yarıvariogramların bazı yeni kavramlarıyla birlikte Bölgesel Değişkenler Teorisi ve Kriging konularını tartışmıştır. Henley, parametrik olmayan jeostatistiğin gelecekteki problemleri çözmede iyi bir yaklaşım olabileceğini belirtmiştir. Myers vd. (1982) doğru mekânsal süreklilik modellerini geliştirmek için örnekleme ve doğru veri ölçümlerinin en önemli temel gereksinim olduğunu iddia etmişlerdir. Komşu alanlardan toplanan örneklerin uzak mesafelerden toplanan örneklere göre daha fazla bağımlılık gösterdiklerini belirtmişlerdir. Yani, değişkenliğin en az olması daha fazla bağımlılık gösterdiğini anlamına gelmektedir. Genellikle yer bilimlerindeki jeostatistik uygulamalarındaki temel problemin, ölçüm sayısının yetersiz ve veri lokasyonlarının düzensiz aralıkta olmasından kaynaklandığını söylemişlerdir. Araştırmacılar, bu problemlerin yarıvariogram modelleme sırasında bir takım zorlukların meydana gelmesine neden olduğunu da belirtmişlerdir. Şen (1989), Subyani ve Şen (1989) yarıvariograma alternatif olarak kümülatif yarıvariogram olarak adlandırılan bir metod

geliştirmişlerdir. Myers (1982 ve 1983) Co-kriging tahminleri üzerine bir matris formülasyonu geliştirmiştir. Durağan ve içsel rastgele fonksiyon durumları olduğunu varsayarak formülleri Universal Kriging (UK)'e benzer bir şekilde genişletmiştir. Journel (1983 ve 1987) ise, Indicator Kriging (IK) tekniğini geliştirmiştir. Ancak, IK'in Disjunctive Kriging (DK)'den daha az doğru bir yaklaşım sağladığını söylemiştir. Isaaks ve Srivastava (1989) uygulamalı jeostatistik tekniklerini anlatan anlaşılması kolay başlangıç seviyesinde bir kitap çıkarmışlardır. Yazarlar tek ve iki değişkenli veride tanımlayıcı araçların önemi üzerinde durmuşlardır. Farklı haritalama teknikleriyle veri seti mekânsal özelliklerini tanımlamak için farklı yöntemleri tartışmışlardır. Ayrıca, yarıvariogram, kovaryans, dizisel korelasyon tablosu ve aralarındaki karşılaştırma kullanılarak mekânsal süreklilik analizi kavramlarını anlatmışlardır. Isaaks ve Srivastava'nın bu kitabında Triangulation, Local Sample Mean (LSM), Inverse Distance (ID) ve Kriging teknikleri gibi nokta tahmin problemleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanında Ordinary Kriging (OK), BK, IK, Co-kriging gibi teknikler örnek çalışmalarla ele alınmıştır. Kitap, fen bilimlerinin hemen hemen bütün alanları için oldukça faydalı bir kaynak olmuştur. Christakos (1992) *"Yerbilimlerinde Rastgele Alan Modelleri"* başlıklı kitabı jeostatistik ve hidrojeolojiyle ilişkili jeostatistik uygulamalarından başka diğer stokastik süreçlerle ilişkili konuları da içermektedir. Christakos'un bu kitabı istatistik ve stokastik süreçlerdeki mekânsal rastgele alanları anlatmakta ve rastgele alan modelleri hakkında felsefi fikirler vermektedir.

Doğal süreçlerin simülasyonu bu kitap içerisinde hesaba alınmıştır. Örneğin dönen bantlar ve spektral metod gibi farklı simülasyon tekniklerinden bahsedilmiştir. Mekânsal ve zamansal modeller ve bu modellerin tahmin süreçleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Kitap, hidrolog ve çevre bilimcileri açısından önemli bir referans olmuştur. Cressie (1993) mekânsal veri istatistikleri üzerine yayınladığı kitabı jeostatistiksel veri, kafes veri ve mekânsal patern olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde Cressie klasik jeostatistik konuları ve yarıvariogramın sağlam tahmini, sağlam Kriging, medyan parlatma Kriging gibi yeni konular ele almıştır. Hidrojeoloji, toprak bilimi, epidemiyoloji alanlarını içeren örneklere kitabın ilk bölümünde yer verilmiştir. Ayrıca mekânsal-zamansal ve doğrusal olmayan jeostatistik konuları üzerinde de durulmuştur. Kitabın ikinci bölümünde ise, kafes verinin mekânsal çıkarımı üzerinde durulmuştur. Jeostatistiksel veri bölümünde kullanılan örnekler ve benzer teknikler bu bölümde de ayrıca incelenmiştir. Cressie, kitabının üçüncü bölümünde nokta analizlerinde kullanılan çok sayıda tekniklerden ve fractal, fuzzy set gibi modelleme tekniklerinden bahsetmiştir. Kitabın bu bölümünde örnek uygulamalara yer verilmemiş ancak, sayısal teorilere değinilmiştir. Cressie'nin kitabı araştırmacılara faydalı bir kaynak olmuştur.

Jeoistatistiğin fazlasıyla değer kazandığı günümüzde, konuyla ilgili çalışmalarda önemli bir artış olmuştur. Her disiplin için jeoistatistiğin temel kavram ve kuramlarının örneklerle anlatıldığı çok sayıda yayın mevcuttur

(Bivand, vd., 2008; Leuanqthong, vd., 2008; Thanqarajan, 2010; Gilgen, 2010; Gruijter, vd., 2010; Gelfand, vd., 2010; Wackernagel, 2010; Remy, vd., 2011; Cressie ve Wikle, 2011; Bjorlykke, 2011; Chilés ve Delfiner, 2012).

2.5. Jeostatistiğin Fiziki Coğrafya Çalışmalarındaki Önemi

Araştırmacılar, kafalarında bir araştırma problemi olduğunda araştırma yaparlar ve sorularını yanıtlamada istatistiksel yöntem ve tekniklerini kullanırlar. Araştırma problemi için toplanan verilerin düzenlenmesi, özetlenmesi, yorumlanması ve sonuç çıkarılmasında kullanılan istatistiksel yöntemler araştırmanın doğru ve güvenilir tasarlanması, yürütülmesi ve sonuçlandırılmasını sağlamaktadır. Bu her araştırma gibi coğrafya araştırmaları için de kaçınılmaz bir durumdur. Çünkü istatistiksel analiz, modeller kullanılarak bilimsel yöntemlerle toplanmış verilerin anlamlı hale getirilmesini, araştırma sorularının yanıtlanmasını sağlayan yegâne araçtır. Yeni bir bilgi üretmek, ancak bilginin doğruluğunun test edilmesi istatistiksel analiz ile mümkündür. İstatistiksel teknikler, araştırmaların sonuçlarını gösterebildiği gibi olayın ilişkili olduğu bilgiye katkı sağlaması açısından da büyük öneme sahiptir. Gözlemlerin karakteristikleri arasındaki ilişkilerinin gerçek olup olmadığını tayin etmede, olaylar arasındaki ilişkilerin sayısallaştırılması ve sözde gerçek bilginin güvenilirliğini tanımlama kabiliyeti açısından da oldukça önem arz etmektedir (Walford, 1995:3). Belirli bir bilgi veya gözlem dizisinin işlenmesi

ve yorumlanması veri analizi olarak tanımlanmaktadır (Walford, 1995:3). Veri analizi bilimsel araştırmalarda sayısal verilerde istatistiksel tekniklerin uygulanması olarak ifade edilmektedir. Veri analizi ve istatistiksel tekniklerin bu şekilde bir arada kullanımı istatistik veri analizi olarak değerlendirilir ve pek çok disiplinde olduğu gibi coğrafya bilimi içerisinde de yaygın bir kullanım ve uygulama alanına sahiptir. Mekânsal verilerin istatistiksel analizi, coğrafyacılar tarafından mekânsal veri analiz yöntemleri olarak ele alınmaktadır (Haining, 1993). Bu model ve tekniklerin birçoğu GIS (Goodchild ve Haining, 2004) ve Mekânsal Ekonometri'yi (Anselin, 1988) şekillendirmektedir. Mekânsal veri analizi içerisinde farklı bir metodoloji olan Jeostatistik de, çeşitli araçları ve modelleme tekniklerini içermektedir. Evrimi klasik eğitilmiş istatistikçiler yerine, uygulamalı bilim üzerine çalışan araştırmacılar ve matematikçiler tarafından gerçekleştirilmiştir. Verinin nokta veya küçük düzenli alanlar üzerine olduğu jeostatistiğin, çevre bilimleri, yer bilimleri ve bu gibi çeşitli bilimlerin çalışmalarında uygulanan uzun bir geçmişi vardır. Beşeri coğrafyadan çok fiziki coğrafya alanında yaygın bir kullanıma sahip olan jeostatistik, fiziki coğrafyacılar tarafından daha kabul edilebilir olmuştur. Çünkü jeostatistiğin yaygın olarak uygulandığı bilimlerinin sahip olduğu veri ve problemleriyle benzer özellikler göstermektedir. Öznitelik değerlerinin bir bölgede her yerde tanımlanmış olmaması ve veri değerleri düzensiz mekânsal birimler için tanımlanmış olmasından dolayı, beşeri coğrafyacılar tarafından jeostatistik yöntemlerine çok az ilgi duyulmuştur. Ancak, bugün büyük, düzenli veya

düzensiz olabilen alansal veriler üzerinde de uygulanabilmektedir. Haining vd. (2010) jeoistatistik üzerine Geobase ve Bilgi Bilimleri Enstitüsü Bilgi Ağı (Geobase and Information Sciences Institute Web of Knowledge, ISI)'da yapmış oldukları tarama sonucunda sırasıyla 4377 ve 1596 bulguya ulaşmışlardır. Çizelge 1'de jeoistatistik üzerine en çok makale yazan dergiler gösterilmektedir (Haining, vd., 2010:9). Buna göre, jeoistatistik üzerine üçten fazla makale yayınlayan 61 kurumdan sadece 9 tanesini coğrafya bölümleri oluşturmaktadır. Diğer taraftan coğrafyacılar tarafından 4000'den fazla makalenin sadece 50 tanesi yazılmıştır. Ayrıca, hangi derginin jeoistatistik üzerine en çok makaleyi yayınladığı görülmekte olup, bunların hiçbirisi beşeri coğrafya üzerine değildir. Çizelge 2 ise, bir önceki çizelge referans alınarak elde edilmiştir. Çizelge 2'ye göre, coğrafyanın ana dergilerinde bulunan jeoistatistik referansların %40'ının sıcaklık, yağışın erozyona etkisi, çeşitli atmosferik ve yer altı suyu kirleticileri, toprak özellikleri, bitki ve tür dağılım paternleri ve Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model, DEM) oluşturma ile ilişkili Kriging uygulamalarından oluştuğu görülmektedir (Haining, vd., 2010:21-22). Coğrafya dergilerindeki birkaç yayın yorumlayıcı bir araç olarak yarıvariogramın önemi üzerinde durmaktadır. Coğrafya çalışmaları içinde özellikle fiziki coğrafya alanında jeoistatistik yöntemlerle yapılan araştırmaların önemli bir paya sahip olduğu görülebilmektedir. Tahmin yapmak, mekânsal değişimin ölçeğini belirlemek, birincil veri toplanmasında örneğin tasarlanması, bölge tanımlama, çok değişkenli analiz, olasılık haritalandırma gibi birçok mekânsal probleme uygulanabilen geniş

bir araç ve modelleme tekniklerine sahip olan jeoistatistik bugün birçok disiplini içine alan bir araştırma literatürüne sahiptir.

Çizelge 1. Geobase ve ISI tarafından tanımlanan jeoistatistiğe ait genel ve coğrafya ile ilgili en fazla makaleyi yayımlayarak ilk 10'a giren dergilerdeki jeoistatistiğe ilişkin makalelerin sayısı

En fazla jeoistatistikle ilgili makale yayınlayarak ilk 10'a giren dergilerin sayısı					
Genel			Coğrafya		
Dergi Adı	Geobase	ISI	Dergi Adı	Geobase	ISI
Mathematical Geology	310	144	International Journal of GIS	23	10
Geoderma	161	51	Acta Geologica Sinica	13	0
Water Resources Research	138	47	Geographical and Environmental Modeling	9	0
Journal of Hydrology	105	30	Cartography and GIS	7	0
Soil Science Society of American Journal	78	16	Journal of Geographical Science	7	1
Environmetrics	66	22	Journal of Biogeography	6	1
International Journal of Remote Sensing	65	22	The Professional Geographer	6	2
Stochastic Environmental Research and Risk Assessment	47	17	Progress in Physical Geography	6	3
The Environmental Monitoring and Assessment	42	13	Physical Geography	4	2

Kaynak: Haining, vd., 2010:9

Çizelge 2. Jeoistatistik konu başlığında Geogra olan makalelerin bulunduğu dergilerde Geobase taramasının özeti

Jeoistatistiğin Araştırma Konusu	Fiziki Coğrafya (Alt Konular)						Toplam Referans Sayısı
	Biyocoğrafya	Klimatoloji	Jeomorfoloji	Hidroloji	Uzaktan Algılama	Beşeri Coğrafya	
Kriging for Interpolation (Comparative Interpolation Studies)	9 ref. (1ref)- Strand (1998) Hessl vd. (2007)	7 ref. (5ref)- Wright vd. (2002) Tatalovich, Wilson ve Cockburn (2006)	5 ref. (13ref)- Hock ve Jensen (1999) Lay ve Wang (1996)	3 ref.- Li, Song ve Xiao (2005)		4 ref.- De Cola (2002)	28 ref. (19 ref.)
Interpretive Value of the Variogram	8 ref.- Kent vd. (2006)		4 ref.- Gomersall ve Hinkel (2001)		1 ref.- Bian ve Xie (2004)	3 ref.- Ma, Ma ve Xu (2004)	16 ref.
Multivariate Geostatistics (KED, CK, SKIm)	7 ref.- Lin vd. (2008)	2 ref.- Hernandez Roberto (2001)					9 ref.
Factorial Kriging	2 ref.- Rodgers ve Oliver (2007)				1 ref.- Warr, Oliver ve White (2002)	1 ref.- Goovaerts, Jacquez ve Greiling (2005)	4 ref.
Indicator, Disjunctive Kriging	2 ref.- Wang (2007)				1 ref.- Goovaerts (2002a)		3 ref.
Binomial/Poisson Kriging						7 ref.- Goovaerts (2005)	7 ref.
Change of Support Issues/ AtoP, AtoA Kriging	1 ref.- Bellehumeur ve Legendre (1997)				1 ref.- Mason, O'Conaill ve McKendrick	3 ref.- Goovaets (2006b)	5 ref.

Çizelge 2. Devamı

Jeoistatistiğin Araştırma Konusu	Fiziki Coğrafya (Alt Konular)						Toplam Referans Sayısı
	Biyocoğrafya	Klimatoloji	Jeomorfoloji	Hidroloji	Uzaktan Algılama	Beşeri Coğrafya	
Space-Time Geostatistics		1 ref.- Finley vd. (2007)					2 ref.
Sampling Scheme Design	1 ref.- Lin vd. (2008)	1 ref.- Finley vd. (2007)					2 ref.
Data Compression					1 ref.- Atkinson, Curran ve Webster (1990)		1 ref.
Space-Time Geostatistics		1 ref.- Finley vd. (2007)					2 ref.
Sampling Scheme Design	1 ref.- Lin vd. (2008)	1 ref.- Finley vd. (2007)					2 ref.
Data Compression					1 ref.- Atkinson, Curran ve Webster (1990)		1 ref.
Spatial Weighting of Classification					1 re.- Goovaerts (2002a)		1 ref.
Geostatistical Simulation			4 ref.- Bishop, Minasny ve McBratney (2006)		1 ref.- Goovaerts (2002b)	2 ref.- Goovaerts (2006a)	7 ref.
Geostatistical Theory/Review Articles	1 ref.- Lark (2000)	1 ref.- Diggle ve Ribeiro (2002)	8 ref.- Cornford, Csato ve Oppen (2005)		3 ref.- Griffith (2002)		13 ref.

Kaynak: Haining, vd., 2010:21-22

2.6. Jeostatistiğin Klimatoloji Çalışmalarındaki Önemi

Zhou vd. (2007) bibliyografik araştırmalarına göre, jeostatistiğin en çok kullanılan on alanı (çok sayıda araştırma makalelerine göre) yerbilimi, su kaynakları ve klimatoloji, çevre bilimi, tarım/toprak bilimi, matematik ve istatistik, ekoloji, mühendislik, petrol mühendisliği, gökbilimi olduğunu belirtmişlerdir. Jeostatistik temelli çok sayıda araştırma bu disiplinlerde yaygın bir kullanıma sahiptir ki, özellikle klimatoloji çalışmaları gibi pek çok disiplinin çalışma sahasını etkisi altına alan araştırmalarda, bu tekniklerin kullanımına son derece önem verilmektedir. Jeostatistik teknikleri iklim haritalamalarında oldukça sık kullanılmaktadır (Goovaerts, 1997). Kayıtların yapıldığı farklı istasyon noktalarından elde edilmiş ölçüm değerleri arasındaki mekânsal korelasyon yapısını değerlendirmesi ve minimum varyans değeri ile birlikte tahmin sonuçları vermesi jeostatistik tekniklerinin en önemli avantajlarını oluşturmaktadır (Gambolati ve Volpi, 1979; Myers, 1982; Martinez-Cob, 1996; Holawe ve Dutter, 1999). Bu sebeple, bazı çalışmalar diğer istatistik tekniklerinden daha doğru tahmin sonuçları verdiğini göstermiştir (Phillips, vd., 1992; Goovaerts, 2000). Jeostatistik analizler ile ilgili alan için tahmin hata ölçümü gösteren neticeler vermesi ve enterpolasyon sonuçlarına yardımcı olabileceği düşünülen ikincil veya yardımcı değişkenlerin kullanılması daha doğru tahmin yüzeylerin oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu yönü, jeostatistik tekniklerini deterministik yöntemlere (Thiessen Poligon (TP), Inverse Distance Weight

(IDW), Spline vb. gibi) göre avantajlı kılmaktadır (Goovaerts, 2000; Tobin, vd., 2011). Yağış değişiminin tahmini üzerine, farklı jeostatistik teknikleri kullanılarak gösterilebilecek çok sayıda referans mevcuttur.

Chua ve Bras (1982), dağlık ve orografik etkiye sahip bölgelerde yıllık ortalama toplam yağışın alansal dağılışının belirlenmesi için Kriging yönteminin uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmalarında trendin durağan olmaması durumunda, genelleştirilmiş kovaryans fonksiyonlarını kullanarak trendin giderilmesi için izlenecek yol açıklanmış, orijinal verilerden trendin çıkarılmasıyla elde edilen kalan terimlerin yarıvariogramına en iyi global modellerin uyduğunu göstermişlerdir. Tabious III ve Salas (1985), farklı mekânsal enterpolasyon teknikleri kullanarak, mühendislik hidrolojisinde sıkça karşılaşılan problemlerden birinin eksik ya da ölçümü olmayan alanlarda veri tahmini üzerine olduğunu, böyle bir tahminin ise yakın alanlarda gözlenen verilerin mekânsal enterpolasyon yöntemleriyle yapılabileceğini belirtmişlerdir. Yıllık yağışın tahmininde yaygın olarak kullanılan TP, en küçük kareler yöntemiyle klasik polinomsal enterpolasyon (Lagrange Yaklaşımı), ters uzaklık, kuadratik enterpolasyon, optimal enterpolasyon ve Kriging tekniklerini incelemişlerdir. Optimal enterpolasyon ve Kriging tekniklerinin diğerlerine göre daha iyi tahminler verdiği sonucuna varmışlardır. Dingman vd. (1988), drenaj havzalarında su denge bilançosunun hazırlanabilmesi için öncelikle alan üzerindeki ortalama alansal yağışın belirlenmesi gerektiğine

işaret etmişlerdir. Bu amaçla, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 120 yağış gözlem istasyonunun yıllık yağış değerlerini kullanarak, Kriging yöntemiyle bir bölgedeki alansal yağışı tahmin etmeye çalışmışlar, orografik etkiden kaynaklanan trendin ortadan kaldırılmasına dayalı yağış ve haritalarını oluşturmuşlardır. Abtew vd. (1993) güney Florida'da 185*185 km genişliğindeki bir alanda, minimum 15 yıl gözlem değeri olan 25 adet yağış istasyonu verilerini kullanarak aylık yağış gözlemleri için mekânsal korelogram ve yarıvariogram modelleri geliştirmişlerdir. Ayrıca, altı değişik mekânsal enterpolasyon yöntemi ile çalışma alanında noktasal ve alansal aylık yağış tahminleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçların gözlem değerleri ile kıyaslanması sonucunda, en iyi uyumu optimal enterpolasyon ve Kriging metodlarının gösterdiğini belirterek, enterpolasyona ilişkin tahmin hatasını hesaplama olanağı verdiğinden dolayı da bu iki metodun diğerlerine göre daha avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır. Kravchenko vd. (1996), Wyoming'te yağışın mekânsal dağılımını belirlemek için topografik bilgiyi ele alarak Kriging with External Drift (KED) tekniğini kullanmışlardır. Çalışmalarında yağışın mekânsal dağılımını doğru tahmin edebilmek için yağış değişkeni ile ilişkili yükseklik, eğim, bakı, enlem ve boylam gibi farklı değişkenlerden de yararlanmışlardır. Çalışma alanını yağış ve topografik özelliklere göre dört alt bölgeye ayırmış olup, jeostatistik analizleri bu alt bölgeler için gerçekleştirmişlerdir. Uygulanan tekniğin özellikle dağlık alanlarda ve ölçüm istasyonlarının az olduğu bölgelerde oldukça kullanışlı bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Kriging varyasyonunun ortalama %54

azaltılması, gözlemlenen ile tahmin edilen değerler arasındaki korelasyon katsayısının 0.4'den 0.8'e artması, coğrafi koordinatların analizler sırasında kullanılmasıyla sağlanmıştır. Ayrıca, topografik bilgilerin tüm alt bölgelere ait daha doğru tahminler elde edilmesinde önemli katkısı olduğu ve KED sonuçlarının OK yöntemine göre daha doğru tahmin değerleri verdiği araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır. Atkinson ve Lloyd (1998) ölçüm yapılmamış lokasyonlardaki yağış değerlerini tahmin etmek için OK ve IK jeostatistik yöntemlerini kullanmışlardır. Yağış tahminlerinde kullanılan verinin log normal dağılımı, verinin durağan olmaması ve mekânsal devamlılığın anizotrop olması gibi sorunları aşmak için farklı yaklaşımları karşılaştırılmak istemişlerdir. IK kullanılarak yapılan tahminlerin doğruluğu OK tahmin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında OK'in daha doğru tahmin değerleri verdiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca, OK yönteminin daha kolay uygulanabilirliğini vurgulamışlardır. Boer vd. (2001) iklim değişkenlerinin haritalanması için OK, Regression Kriging (RK), Co-kriging, Trivariate Regression-Kriging (TRK), Bivariate Thin Plate Splines (BTPS), Trivariate Thin Plate Splines (TTPS), Partial Thin Plate Splines (PTPS) gibi teknikleri kullanarak, Meksika'nın Jalisco eyaletindeki ortalama aylık maksimum sıcaklık ve yağışı tahmin etmişlerdir. Bu amaç için, 1940-1990 yıllık uzun bir dönemi oluşturan aylık ortalama yağış ve sıcaklık ölçümlerinden oluşan iki farklı veri seti kullanmışlardır. Çalışmada nisan, mayıs, ağustos ve eylül aylarına ait değerler, yağış ve yükseklik arasındaki korelasyon katsayısının (Pearson Katsayısı) 0.5'den yüksek olmasından

dolayı seçilmiştir. Çalışmalarının esas amacı, iklim haritalarının tahmin doğruluğunu artırmak için çalışmada ikincil değişken olan yükseklik verisini kullanmak ve sonuçları karşılaştırmaktır. Bu sebeple, yükseklik verisi çalışmalarında kullandıkları tekniklerin bazılarında analizlere dâhil edilmişken, bazılarında yükseklik sadece ek bilgi olarak ele alınmıştır. Yükseklik değişkenini kullandıkları tekniklerin, tahmin sonuçlarında daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında TRK ve TTPS teknikleri en doğru sonuçlar veren iki yöntem olarak tespit edilmiştir. Johansson ve Chen (2003) çalışmalarında rüzgârın ve topografyanın İsveç'in yağış dağılımı üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, temel yağış paternini açıklayabilmek için bir istatistik model oluşturmuşlardır. Çalışmalarında 370 istasyondan elde edilen 15 yıllık yağış verilerini kullanmışlardır. Her bir istasyon yağış verisi, rüzgâr hızı ve yönüne göre 48 sınıfa bölünmüştür. Seçilen değişkenlerden en önemli değişkenin dağlık arazi istasyonunda bulunan lokasyon olduğu görülmüştür. Rüzgâra karşı olan tarafta yağışın, rüzgâr hızının artmasıyla arttığı, rüzgârla aynı istikamette olan tarafta ise, yağışta daha az varyasyon olduğu ve rüzgâr hızının yağış miktarını etkilemediğini bildirmişlerdir. Çalışmalarında bahsettikleri diğer önemli faktör ise, yükselen havayla eğimin, rüzgâr hızıyla katlanarak artmasıdır. Diadato (2005) güney İtalya'nın dağlık bir bölgesinde, 51 iklim istasyonundan elde ettiği yağış değerlerini kullanarak, yağışın mekânsal değişimine topografik yardımcı değişkenlerin etkisini ekleyerek araştırmasını gerçekleştirmiştir. Diadato çalışmasında OK, yağış ve

yüksekliği kullanarak Co-kriging ve yağış ile topografik indeks değişkenlerini kullanarak Co-kriging yöntemlerini uygulamıştır. Yöntemlerin sonuçlarını karşılaştırdığında, OK tekniğinin en yüksek tahmin hatasına sahip olduğunu göstermiştir. En düşük tahmin hatalarının ise, çoklu jeostatistik yöntemleri olan Co-kriging analizleri sonucunda bulunduğunu belirtmiştir. Clark ve Slater (2006), karmaşık arazide kantitatif yağış tahmini yaptıkları çalışmalarında günlük toplam yağışın nokta ölçümlerini enterpolasyon ve ekstrapolasyon ile incelemişlerdir. Çalışmalarında, yağışın mekânsal organizasyonu üzerine topografyanın etkisini dikkate alan, yüksek çözünürlüklü grid yağış tahminlerindeki hataları doğru olarak açıklayan ve günlük toplam yağışlarının birçok yıl için bir araya getirilmesine olanak sağlayan olasılıklı yağış tahmin yöntemi kullanmışlardır. Yağışın mekânsal değişkenliğini tahmin etmek için açıklayıcı değişken olarak istasyon lokasyonlarındaki mekânsal özelliklerin kullanıldığı Locally Weighted Regression (LWR) analizini temel almışlardır. Çalışmalarının sonucunda olasılıklı yağış tahmin yönteminin güvenilir sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Goudenhoofd ve Delobbe (2009), Belçika'nın Walloon bölgesinde kantitatif yağış tahminlerinin doğru yapılabilmesi için, hava radarları gözlemleriyle yağış istasyonları ölçümlerini Mean Field Bias (MFB) yöntemi ile jeostatistik birleştirme teknikleri gibi farklı yöntemleri kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında C-band Doppler radarlardan ve yüksek yoğunlukta istasyon ağından elde edilen verileri günlük yağış toplamını tahmin etmede kullanmışlardır. Farklı birleştirme yöntemlerinin performansı, bağımsız ölçü

ağından günlük ölçümlere karşı bir karşılaştırmayla değerlendirilmiştir. Çalışmalarında jeostatistik birleştirme yöntemlerinin en iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Aynı zamanda istasyonların sıklığının da yöntemlerin performansa olan etkisi karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, çalışmalarında bazı istasyonlar çıkarılmış ve farklı yoğunluktaki istasyonlarda jeostatistik birleştirme yöntemleri kullanılarak en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmacılar yağış istasyonlarının mekânsal enterpolasyonunu geliştirmek için radarın yardımcı değişken olarak kullanıldığı KED'i en iyi yöntem olarak bulmuşlardır. Zhang ve Srinivasan (2009), Nearest Neighborhood (NN), IDW, Simple Kriging (SK), OK, Simple Kriging with Local Means (SKlm) ve KED gibi jeostatistiksel enterpolasyon yöntemlerini Luohe Nehri havzası yağış haritalarını tahmin etmek için kullanmışlardır. Çalışmada 41 istasyondan elde ettikleri 10 yıllık bir döneme karşılık gelen yağış verilerini değerlendirmişlerdir. Çalışma sonuçları farklı enterpolasyon yöntemleriyle elde edilen tahmin haritalarının benzer ortalama yağış derinliğine sahip olduğunu ancak, maksimum, minimum yağış ve varyasyon katsayısında önemli derecede farklılıkların gözlemlendiği sonucuna varmışlardır. Farklı mekânsal enterpolasyon metodları kullanılarak elde edilen yağış tahmin haritaları korelasyon katsayısı, Nash-Sutcliffe katsayısı, Göreli Ortalama Mutlak Hata (Relative Mean Absolute Error, RMAE) kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırmacılar jeostatistik yöntemlerin, hidrolojik modelleme sistemlerinin dağılımında yaygın olarak kullanılan NN ve IDW yöntemler ile karşılaştırıldığında daha doğru

mekânsal yağış tahmini sağladığını belirtmişlerdir. Yükseklik ve mekânsal koordinat değişkenlerinin yardımcı veri olarak kullanıldığı SKlm ve KED tekniklerinden elde edilen enterpolasyon sonuçlarının daha yüksek korelasyon katsayısı ve Nash-Sutcliffe etkinliğine sahip olduğunu ve diğer metodlarla karşılaştırıldığında daha düşük göreceli ortalama mutlak hata değeri gösterdiklerini vurgulamışlardır. Moral (2010), İspanya'nın güney batısında bulunan Extremadura'da 136 meteoroloji istasyonundan elde edilen aylık ve yıllık yağış verilerini kullanarak, yağışın modellenmesi üzerine farklı jeostatistik tekniklerini karşılaştırmıştır. Bu amaç için, OK, SK ve UK yöntemleri Co-kriging, Simple Kriging with Varying Local Means (SKV) ve RK gibi yüksekliği değişken olarak kullanan çok değişkenli algoritma yöntemlerini kullanmıştır. Çapraz Geçerlilik sonucuna göre, en küçük tahmin hataları çok değişkenli algoritma tekniklerinden elde edilmiştir. Yüksekliğin hesaplamalarda dikkate alınmasının daha doğru aylık ve yıllık yağış haritaları oluşturmaya yardımcı olduğunu göstermiştir. Ly vd. (2011) Ourthe ve Ambleve (Belçika) çalışma sahası için günlük yağışın mekânsal enterpolasyonunu belirlemek üzere jeostatistik (OK, UK, KED ve Ordinary Co-kriging (OCK)) ve deterministik (TP, IDW) algoritmalar geliştirerek sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında 70 istasyondan elde edilmiş 1976-2005 yıllık döneme ait veri setini kullanarak yedi farklı (Logarithmic, Power, Exponential, Gaussian, Rational Quadratic, Spherical, Penta-Spherical) yarıvariogram modelleri oluşturmuşlar ve yardımcı değişken olarak da yükseklik verisini eklemişlerdir. Çalışmalarında

oluşturdukları yarivariogram modellerinden Gaussian modelinin en uygun model olduğunu bulmuşlardır. Sonuçlar değerlendirildiğinde jeostatistik enterpolasyon ve IDW algoritmalarının, TP'a göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yükseklik değişkeninin KED ve OCK'e dâhil edilmesinin günlük yağış enterpolasyonuna katkı sağlamadığını bildirmişlerdir. OK ve IDW en küçük RMSE değerleri sağladığı için çalışma şartları içinde en iyi yöntemler olduğunu tespit etmişlerdir. Düşük sayıda komşu ölçüm noktalarıyla UNK ve KED yöntemlerinin günlük yağış enterpolasyonunda güvenilir sonuçlar vermediğini ifade etmişlerdir. Sadece Spherical modeli kullanan ORK, UNK ve KED'in daha iyi sonuçlar verdiğini ancak, diğer yarivariogram modellerinde kullanılan OCK'nın daha iyi sonuçlara ulaştığını gözlemişlerdir. Di Piazza vd. (2011) yaptıkları çalışmada İtalya'nın Sicilya şehrinde aylık yağış harita serileri oluşturmak için farklı mekânsal enterpolasyon tekniklerini karşılaştırdıkları çalışmalarında 247 yağmur istasyonundan elde edilen ortalama aylık ve yıllık yağış verisini kullanmışlardır. Geçmişteki verilerle arasındaki boşluğu doldurabilecek düzeyde kabul edilebilir ve süreklilik arz eden bir veri seti üretmek için çeşitli mekânsal enterpolasyon algoritmaları oluşturmuşlardır. Bu algoritmaların bazıları IDW, Basit Doğrusal Regresyon, Çoklu Regresyon, Geographical Weighted Regression (GWR) ve Artificial Neural Network (ANN) gibi deterministik yöntemler, bazıları da OK ve Residual OK gibi jeostatistik yöntemlerdir. Tahmin doğruluğunu arttırmak için sayısal yükseklik modelini hesaplamaların bazılarını dâhil etmişlerdir.

Enterpolasyon yöntemlerin sonuçlarını Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error, MSE), Ortalama Yanlı Hata (Mean Bias Error, MBE), MAE, Ölçekli Ortalama Karesel Hata (Scaled Mean Square Error, MSE) ve Doğrusal Korelasyon Katsayısı (Linear Correlation Coefficient, CC) yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Tek değişkenli yöntemlerde, doğrulama sonuçları en büyük hata değerlerini verirken, yükseklik verisinin hesaplamalara dâhil edildiğinde azaldığını gözlemişlerdir. Yağış ve yükseklik arasındaki doğrusal regresyonun OK hata değerleri, yıllık ve aylık yağış için en iyi sonuçları verdiğini belirtmişlerdir. Bhowmik ve Costa (2012), Bangladeş'teki yağış paterninin mekânsal, zamansal değişiminin Boro pirinç üretimi üzerine etkisini araştırmak için jeoistatistik yöntemlerinden yararlandıkları çalışmalarında 31 meteoroloji istasyonundan elde ettikleri 2006 ve 2007 yılları için mevsimsel yağış değerlerini kullanmışlardır. Daha sonra, Bangladeş'teki sulama ve yüksek hasat üzerine yağışın mevsimsel varyasyonunun etkisi özellikle de yağış değişimi ile Boro pirinç üretimi arasındaki korelasyon ve Boro pirinç üretimindeki değişimleri Geo-Band Collection istatistikleri ile incelemişlerdir. Araştırmalarında TPS, IDW, OK gibi enterpolasyon tekniklerinden faydalanmışlar ve Jack-Knife veya Leave-One-Out Çapraz Geçerlilik yöntemleri ile enterpolasyon yöntemlerinin performanslarını değerlendirmişlerdir. TPS yönteminin diğer yöntemlere göre daha düzgün yüzeyler oluştururken, IDW yönteminden elde edilen yüzeylerin TPS yöntemine göre daha çeşitlilik gösterdiğini izlemişlerdir. OK ile elde edilen toplam yağışın mekânsal paterni ise, TPS veya IDW yöntemlerine göre daha

çok değişkenlik içermektedir. Çalışmada kullanılan yöntemlerden, OK sonuçlarının en iyi enterpolasyon tekniği ve en az istatistik hatasına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bundan başka, yağışın Boro verimi üzerine oldukça fazla etkisi olduğunu ve geliştirilmiş hasat çeşitlilikleri ve bunların Bangladeş'teki mevsimsel yağış ile ilişkilerinin mekânsal zamansal paternini anlamaya katkı sağladığını not etmişlerdir.

2.7. Türkiye’de Yağış Çalışmaları ve Jeostatistik

Bulunduğu konum, üç tarafının denizlere çevrili olması, deniz seviyesine göre yüksek olması, kıylara paralel dağ sıralarının bulunması, denize yakınlık ve uzaklık, yer şekillerinin kısa mesafelerde değişmesi ve çeşitlilik göstermesi gibi faktörler Türkiye’nin iklimi üzerinde etkilidir. Türkiye Akdeniz Havzasında bulunmasından dolayı iklim değişiminden etkilenecek ülkeler arasında yer almaktadır. İklim değişiminin yağışlar üzerine yaptığı etki göz ardı edilemez. Yukarıda sayılan özelliklerinden dolayı, Türkiye’de yağışın mevsimlere ve bölgelere göre biçimi, tutarı, süresi değişiklikler göstermektedir. Örneğin, Türkiye’nin Karadeniz kıyısındaki kuzey bölgeleri aşırı yağışların gözleendiği yerlerdir. Bu alanlarda sel-taşkın, heyelan gibi doğal afetlerin olması kaçınılmazdır. Diğer taraftan ülkenin Akdeniz ve Ege bölgeleri kuraklık eğilimi olan alanlar içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle, Türkiye’de yağış değişimine ilişkin çalışmaların güncel olarak sürekli tekrarlanması ve modern yöntemler kullanılarak doğru

bilgilere ulaşılması gerekmektedir. Türkiye ölçeğinde yağışla ilişkili yapılan çalışmalar incelendiğinde, iklim değişimine bağlı olarak yağış dağılışı gözlenen değişimlerin ortaya konulması ve izlenmesi üzerine yapılan araştırmalara son derece önem verildiği ortadadır (Koçman, 1993a ve 1993b; Türkeş, 1995; Koçman, vd., 1996; Türkeş, 1996; Erinç, 1996; Kadioğlu, 1997; Türkeş, 1998a ve 1998b; Türkeş, 1999; Erhat, 1999; Türkeş, 2000; Kadioğlu, 2001; Koç, 2001; Çiçek, 2001a ve 2001b; Türkeş, vd., 2002; Türkeş, 2003; Türkeş ve Erhat, 2003; Tatlı, vd., 2004; İrdem, 2005; Kutiel ve Türkeş, 2005; Türkeş ve Erhat, 2005; Türkeş ve Erhat, 2006; Erbekçi, 2006; Sarış, 2006; Koç ve İrdem, 2007; Türkeş vd., 2007; Demir, vd., 2008).

Türkeş (1995) Türkiye'deki yıllık ve mevsimlik yağış verilerindeki eğilim ve dalgalanmalarını analiz ettiği çalışmasında düşük frekanslı bir dalgalanma ile birlikte yıllık yağış anomalilerinin ortalamada önemli bir azalma eğilimi gösterdiğini belirtmiştir. Özellikle Akdeniz Bölgesi'nde belirgin olarak gözlenen bu durumun kış yağışlarındaki azalmadan kaynaklandığını vurgulamıştır. Koçman vd. (1996) Ege Ovaları'nın bulunduğu bölge üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında, gözlem süresi eşit 6 istasyon verisini değerlendirerek, 1941-1988 yılları arasında yağışın değişimini ve yıl içindeki yağış dağılışı ortaya koymaya çalışmışlardır. Çalışmalarının sonucunda 48 yıllık bir dönemde yağış değerlerinde bir artış ya da azalış olmadığını belirterek, Ege Ovaları'nda süreleri birbirine eşit olmayan kurak ve nemli dönemlerin peşi sıra geldiğinin altını çizmişlerdir.

Türkeş (1996) Türkiye'nin yıllık yağış verilerinin alansal ve zamansal özelliklerini araştırdığı çalışmasında, ortalama yağış anomalilerinin rejim bölgelerine göre değişme eğiliminde olduğunu söylemiştir. 1940 yılların başları ile 1960 yılların ortalarında Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde ilkbahar yağışlarında bir artış gözlemiştir. Daha sonraki yıllarda bu artış eğiliminde bir azalma olduğunu belirten Türkeş, Akdeniz Bölgesinin yağışın azaldığı bölgeler arasında olduğunu belirtmiştir. Kadioğlu (1997) 1970'li yılların Türkiye yağışlarındaki değişimin başlangıcı olduğu tarihlere denk geldiğini ve bu tarihlerden sonra yağış eğiliminde bir düşüşün başladığını ifade etmiştir. Aynı şekilde Kadioğlu (2001) ilkbahar yağışlarının düzenli olmadığına ve arttığına, buna karşın kış yağışlarının da azaldığına değinmiştir. Bu durumun Türkiye'de erozyon, sel ve taşkın gibi afet olayların oluşmasında etkili olabileceği görüşünü vurgulamıştır. Kadioğlu'nun çalışmaları Türkeş'in (1996) çalışmasıyla örtüşmektedir. Türkeş (1998a) yıllık mevsimlik yağışların ve yıllık kuraklık indisinin ortalama koşulları ile bunlara ilişkin dizilerdeki değişimleri dikkate alarak, Türkiye'de çölleşmeye eğilimli olabilecek alanları çıkarmaya çalışmıştır. Türkeş çalışmasında Türkiye'de karasal iç bölgelerin ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin çölleşmeye eğilimli kurak alanlar olduklarını, Akdeniz ve Ege bölgelerinin ise, çölleşme sürecini gelecekte daha fazla yaşayacak alanlar içinde olduğu sonucuna varmıştır. Türkeş (1999 ve 2003) yağışın ve kuraklığın alansal ve zamansal değişimlerini ele alarak yaptığı çalışmasında, Türkiye'nin kuraklaşma koşulları üzerinde durmuş ve son 20 yıllık süreçte

daha fazla etkinleşmiş olduğunu vurgulamıştır. Çiçek (2001a) çalışmasında 77 il merkezine ait 1960-1995 arasındaki 36 yıllık bir döneme ait günlük yağış değerlerini beş şiddet basamağına ve beş şiddet sınıfına ayırarak mevsimlik analiz yapmıştır. Çalışma sonucuna göre, mevsimler arasında yağış şiddetleri ve sıklıklarının büyük farklılıklar gösterdiğini belirli şiddet sınıfındaki yağışların sadece bir mevsimde toplandığının altını çizmiştir. Denizel etki altındaki yörelerde yağış şiddetleri ve sıklıklarının yüksek olduğunu, iç kesimlerde ise, yağış şiddetinin düştüğü ve yağışların % 80'den daha büyük bir kısmının 10.0 mm'den daha düşük günlük yağışlar şeklinde gerçekleştiğini belirtmiştir. Diğer taraftan, Çiçek (2001b) Türkiye'de günlük yağış şiddetleri ve sıklıkları üzerine yaptığı çalışmasında yine 1960-1995 dönemine ait 36 yıllık günlük yağış değerlerini beş şiddet basamağına ve beş şiddet sınıfına ayırarak değerlendirmiştir. Çalışmasının sonucunda ülkenin güneyden kuzeye doğru yağışlı gün sayılarının arttığını, denizel etki altındaki yörelerde yağış şiddeti ve sıklıklarının yüksek olduğunu ve iç kesimlerde ise yağış şiddetinin düştüğü ve günlük yağışların %80'den daha büyük bir kısmının 10.0 mm'den düşük gerçekleştiğini saptamıştır. Türkeş vd. (2002) çalışmalarında Türkiye'deki 91 istasyonun yıllık ve mevsimlik normalleştirilmiş yağış anomalisi dizilerindeki ısrar ve dönemsellik bileşenlerini incelemişlerdir. Araştırmacılar 31 istasyonda pozitif dizisel ilişki gözlendiğini belirterek, 17 istasyonun yıllar arası değişebilirliğinde pozitif bir ilişkinin varlığından da söz etmişlerdir. İlkbahar yağışlarında istasyonların önemli bir bölümünde negatif ilişki, yaz yağışlarında yine istasyonların bir

bölümünde pozitif, diğer bölümünde negatif ilişkinin olduğunu belirtmişlerdir. Sonbahar yağışları için ise, 4 istasyon dışında diğer istasyonların büyük çoğunluğunda dizisel bağımlılığa karşı rastgele bir durumun varlığından bahsetmişlerdir. Tatlı vd. (2004) yapmış oldukları çalışmalarında küçük ölçekli bölgesel iklim süreçleri için yeni bir model denemişlerdir. Model sonuçlarına göre, Akdeniz, Ege, Marmara ve Batı Karadeniz yağış rejiminin geniş ölçekli sistemlerinin ve yüksek-atmosfer sirkülasyonlarının etkisi altında kalmaktadır. Karadeniz Bölgesi'nde geniş ölçekli süreçlerin yanı sıra topografya, yağmur duldası gibi yerel özelliklerinde yağış şiddeti olasılığını belirlediğini söylemişlerdir. Ülkenin iç kesimlerinde, yerel süreçler geniş ölçekli süreçlerden daha etkilidir. Diğer taraftan ülkenin güneybatı bölümü özellikle Diyarbakır hem Akdeniz hem de Muson alçağından etkilenmektedir. İrdem (2005) çalışmasında Türkiye'de 112 istasyondan elde ettiği günlük yağış şiddetini zamansal ve alansal açıdan incelemiştir. Türkiye'de görülen yağışları beş farklı şiddet basamağına göre sınıflandırarak sonuçları tartışmıştır. İrdem'e göre, kış aylarında özellikle Karadeniz Bölgesi için hafif yağışlarda (0-10 mm) bir artış bulunmaktadır. Normal (10.1-25 mm) ve orta şiddetli yağışlarda (25.1-50 mm) ise, bir azalma görülmektedir. Ayrıca, Marmara Geçiş yağış rejimi bölgesi ile Karasal Akdeniz yağış rejimi bölgelerinde orta şiddetteki yağışlarda artış olduğu vurgulamıştır. Sarış (2006) Türkiye'de yağış yoğunluğunun zamansal ve alansal değişimini ele aldığı çalışmasında 111 istasyonun 1930-2002 dönemi yağış verilerini kullanmıştır. Sarış mevsimin toplam yağış tutarını yine aynı

mevsimin yağışlı gün sayısına oranlayarak mevsimlik yağış yoğunluğunu hesaplamıştır. Kış mevsimi ve yıllık yağış yoğunluğunda genel bir azalma eğiliminin olduğunu belirtmiştir. Yağış yoğunluğunda gözlenen bu azalma eğilimin özellikle yağış tutarlarının en yüksek olduğu Akdeniz ve Karadeniz yağış rejimi bölgelerinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Erbekçi (2006) Türkiye’de yağış olasılığının alansal ve zamansal değişimini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmasında, yağışlı gün sayılarındaki mevsimlik ve yıllık değişimleri incelemiştir. Bu amaç için 40 yıl ile 73 yıl arasında değişen 111 istasyon üzerinde yapmış olduğu analiz sonucuna göre, Türkiye genelinde yağış olasılıklarında artış olduğunu saptamıştır. Ancak, kış mevsiminde yağışların önemli bir bölümünün gerçekleştiği Akdeniz Bölgesi’nde bir azalmanın olduğuna dikkat çekmiştir. Özellikle kış mevsiminde Akdeniz Bölgesi’nde gözlenen bu azalmanın önemli olduğunu vurgulamıştır. Erbekçi’nin bu çalışması Kadioğlu (1997 ve 2001) ile Türkes (1996)’in çalışmalarıyla benzer sonuç vermiştir. Türkes vd. (2007) Türkiye’deki 111 meteoroloji istasyonundan elde ettikleri yıllık ve mevsimlik yağış toplamı ve yağış yoğunluğu değerlerini incelenmişlerdir. Yıllık ve mevsimlik yağış toplamı ve yağış yoğunluğu dizilerindeki uzun süreli değişiklikler ve eğilimler, zaman ve alandaki özellikleri dikkate alarak çözümlemişlerdir. Yıllık toplam yağışlarda ve yağış yoğunluğu tutarlarında belirgin olan azalma eğilimleri, Akdeniz ve Karadeniz yağış rejimi bölgelerinde daha kuvvetlidir. Kış mevsimi toplam yağışlarında belirgin bir azalma eğilimi olmasına karşın, ilkbahar, yaz ve sonbahar toplam yağışlarında genel bir

artış eğilimi göstermektedir. Yağış yoğunluğu tutarları, tüm mevsimlerde bir azalma gösterme eğilimindedir ve bu azalma, toplam yağışlarda bulunan azalmadan hem alansal dağılışın tutarlılığı hem de istatistiksel anlamlılığın büyüklüğü açılarından daha kuvvetlidir. Kış toplam yağışlarında gözlenen azalma eğilimi Akdeniz’de, yağış yoğunluğu tutarlarındaki azalma eğilimi ise, Karadeniz yağış rejimi bölgesinde kuvvetli olduğu belirtilmiştir. Yaklaşık 1950 yılından sonra yağış yoğunluğundaki azalma eğiliminin arttığı çalışmalarının sonuçlarını oluşturmaktadır. Koç ve İrdem (2007) Türkiye’de 111 meteoroloji istasyonundan elde etmiş oldukları yağış şiddeti değerleri ile yağış şiddeti basamaklarını esas alarak günlük yağışların şiddetindeki zamansal ve alansal iklimsel değişikliğinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Yazarların analiz sonuçlarına göre, Karadeniz Bölgesi’nde özellikle kış mevsiminde hafif (<10.0 mm) yağışlarda istatistiksel olarak hafif bir artış eğilimi olduğu belirtilmiştir. Türkiye genelinde, normal ($10.1-25.0$ mm) ve orta şiddette ($25.1-50.0$ mm) yağışlarda bir azalma eğilimi tespit etmişlerdir. Marmara Geçiş ve Karasal İç Anadolu gibi yağış rejimi bölgelerinde orta şiddetli yağışlarda ise bir artışın varlığını gözlemlemişlerdir. Şiddetli ($50.1-100.0$ mm) ve çok şiddetli (>100.0 mm) yağışların yüksek değişkenli izlenmesi değerlendirme yapmayı güçleştirmiştir. Ayrıca yazarlar, Marmara Geçiş ve Karasal İç Anadolu yağış rejimi bölgelerinde yıllık şiddetli yağışların artış eğilimi gösterdiğini, çok şiddetli yağışların pozitif eğilimlere sadece kıyı bölgelerde rastlanıldığını, yağış rejimi bölgelerinin hiç birinde de çok şiddetli yağışlarda baskın anlamda bir

eğilim görülmediğini vurgulamışlardır. Demir vd. (2008) Türkiye'nin ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ve yağış dizileri, uzun süreli değişikliklerin ve eğilimlerin belirlenmesi üzerine gerçekleştirmiş oldukları araştırmalarında, yağış dizilerinin uzun süreli değişimleri ve eğilimlerini araştırmak için 1940-2006 dönemine ait 88 meteoroloji istasyondan elde edilen aylık yağış toplamaları (mm) verisinden faydalanmışlardır. Veri seti 1961-1990 yılı ortalamalarına göre standardize edilmiştir. Çalışmanın yağış çıktılarına göre, kış yağışlarında azalma eğilimi gösteren 78 istasyondan 24 tanesi istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Akdeniz, Akdeniz Geçiş, Karasal İç Anadolu ve Karasal Akdeniz bölgeleri kış yağışlarında düşüş gösteren bölgelerdir. Buna karşın, Karadeniz ve Marmara bölgelerinde herhangi bir eğilim görülmemektedir. İlkbahar yağışlarında çok az sayıda anlamlı artışlar gözlenirse de genel olarak anlamlı olmayan zayıf artış eğilimlerine rastlanılmıştır. İlkbahar yağışları için, Karasal Doğu Anadolu, Karasal İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde artış, Karadeniz ve Marmara bölgelerinde düşüş gösterdiği belirtilmiştir. Sonbahar mevsiminde ise, Türkiye'nin büyük bölümünde artış eğilimi gösteren yağış değerlerinin 75 istasyonun 10 tanesinde anlamlı pozitif dizesel ilişki katsayısı saptamışlardır. Yazarlar, Türkiye'de yağış azlığına bağlı olarak son 20-30 yıldır yaşanan uzun süreli kuraklıklarında, dolaşım sistemlerindeki değişikliklerin ve kaymaların etkili olabileceğini belirtmişlerdir.

Türkiye’de yağış değişkenliği, yağışlardaki eğilim ve dalgalanmaları üzerine yapılan çalışmaların yanında, yağış olasılığı kavramı üzerine de araştırmalar mevcuttur. Koçman (1993a) çalışmasında ölçüm süresi 25 yılı geçen 20 adet istasyonun verilerinden yararlanarak Ege Ovaları’nın iklim unsurlarını incelemiştir. Yağışlı günlerin sayısını hesap ederek, Ege Ovaları iklimi üzerine genel bir değerlendirme yapmıştır. Koçman (1993b) bir diğer çalışmasında Türkiye’nin yağışlı günlerini gösteren bir harita hazırlamıştır. Yıllık yağış olasılığı değerlendirmelerinde çıkan sonuçların bütün bir yıl için doğru neticeler vermeyeceğini belirtmiştir. Çünkü Türkiye’de yağışların belirli dönemlerde toplandığını vurgulamıştır. Türkiye’de yağış olasılığının kış aylarında arttığını, buna karşın yaz aylarında azaldığını söylemiştir. Erinç (1996) yapmış olduğu çalışmasında yağışlı gün sayıları üzerine bir değerlendirme yapmıştır. Yağışlı gün sayılarına bağlı olarak istasyonların alana dağılışlarını sorguladığı çalışmasında Türkiye’nin kuzey ve kuzeydoğu kesimlerinde yağışlı gün sayılarının ve yağış olasılığının fazla olduğu sonucuna varmıştır. Türkiye’nin güney kesimlerinde ise, yağışlı gün sayısının azaldığını ve bu bölgelerde yağış olasılığının da kuzey kesimlerine göre daha az olduğunu belirtmiştir. Malatya havzasının doğu kıyısındaki Fırat istasyonunda en az yağışlı gün sayısı değerine ulaşmıştır. Erinç’in çalışmasında yer verdiği diğer bir konu, yağışlı gün sayısı ve yağış olasılıklarında oluşan farklılıkların sadece mevsimden mevsime değil, yıldan yıla da olabileceğidir. Ayrıca, yıllar arası yağış değişkenliğinin en fazla olduğu yerlerin iç bölgeler olduğunu belirtmekte ve değişkenliğin büyük

olduğu bu bölgelerde tarımsal üretim bakımından doğabilecek tehlikeler olabileceğini söylemiştir. Koç (2001) Türkiye'nin kuzeybatı kesiminde bulunan 9 istasyonu kullanarak yaptığı çalışmada, alanın iklim özelliklerini incelemiştir. Çalışmasında Güney Marmara ve iç kesimlere doğru yağış olasılıklarının arttığını, kıyı kesimlerde azaldığı sonucuna varmıştır. Ege kıyılarında yaz dönemi yağış olasılığı azalırken, kış dönemini kapsayan Kasım-Aralık aylarında arttığını belirtmiştir. Buna karşın, Güney Marmara ve iç kesimlerde yine kış aylarını kapsayan Kasım-Aralık aylarında yağış olasılık değerlerinin en yüksek seviyeye çıktığını söylemiştir. Ancak, bu bölgelerde yağış olasılığının yıl içinde daha düzenli dağıldığının altını çizmiştir.

Türkiye geneli yağış değişkenliği üzerine atmosferik salınım desenleri ve dolaşım tipleri üzerine de araştırmalar mevcuttur. Türkes (1998b) Türkiye'deki 1890-1990 yılları arasındaki yıllık ve mevsimlik yağış dizileri için gerçekleştirmiş olduğu çalışmada 49 istasyondan elde etmiş olduğu verileri kullanmıştır. Yıllık yağışların, El Nino olaylarından bir önceki yıllarda artış, El Nino olaylarının başladığı yıllarda azalış, El Nino olaylarından bir sonraki yıllarda yine bir artış eğilimi olduğu sonuçlarına varmıştır. Türkes çalışmasında La Nina olayları hakkında da bilgi vermiştir. La Nina olaylarından bir önceki yıllarda artış, La Nino olaylarından bir sonraki yıllarda azalış eğilimi olduğunu belirtmiştir. Erhat (1999) El Nino Güneyli Salınımı (El Nino Southern Oscillation, ENSO) olayının sıcak ve

soğuk dönemlerinde Türkiye’de yağış koşullarındaki değişimlerini belirlemek için 30 istasyondan elde ettiği 1931-1932 ve 1993-1994 yılları arasına ait kış yağışlarını 7 yağış rejim bölgesini göz önünde bulundurarak incelemiştir. Kış yağışlarının El Nino yıllarından bir önceki yılda artış, El Nino yıllarında ve bir sonraki yıllarda azalış eğiliminde olduğunu söylemiştir. Ayrıca çalışmasında, Türkiye’de yaşanan en önemli kurak yıllarının El Nino yıllarına rastladığının da altına çizmiştir. Türkeş (2000) ENSO sıcak ve soğuk olaylarının Türkiye’nin özellikle kış yağışları üzerindeki etkileri ve Türkiye’deki 1970 sonrası şiddetli ve yaygın kış kuraklıklarının ENSO olayı ve atmosfer koşulları ile ilişkisini araştırmak üzere bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmasında sonucunda 1970 yılı sonrasında meydana gelen El Nino yılları ya da El Nino yılları sonrası Türkiye ve Doğu Akdeniz Havzası’nda genel olarak yüksek basınç koşullarının egemen olduğunun altına çizmiştir. Bununla ilişkili olarak alçak basınçların sıklığından ve yağış tutarlarında bir azalmanın olduğunu da ayrıca çalışmasında belirtmiştir. Türkeş ve Erat (2003) Türkiye’nin 78 istasyonundan elde etmiş oldukları yıllık ve mevsimlik yağış dizilerini kullanarak, yıllık ve mevsimlik yağış dizileri ile Kuzey Atlantik Salınım İndisleri (North Atlantic Oscillation Indices, NAOI) arasındaki ilişkiyi, ekstrem NAO indisi evrelerinin ve NAO’daki tek yıllar ile daha uzun süreli değişimlerin Türkiye’deki yağış koşulları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonunda, yıllık ve yaz dışında mevsimlik yağış dizilerinin geneli ile NAO indisleri arasında negatif bir ilişkinin

olduğunu ve yağışların yıl içinde NAO'ya verdikleri tepkinin önemli mevsimsel farklılıklar gösterdiğini belirtmişlerdir. Kutiel ve Türkeş (2005) Kapadokya alt bölgesine ait altı istasyonun aylık sıcaklık ve yağış verilerinden yararlanarak, Türkiye'nin karasal iç bölgelerinde Kuzey Denizi-Hazar Deseninin (North Sea-Caspian Pattern, NCP) rolünü göstermeye çalışmışlardır. Toplam yağışlarda NCP'nin pozitif ve negatif evrelerinin her ikisinde de anlamlı farklılıkların olmadığı ancak, alansal olarak farklılık gösterdikleri sonucuna varmışlardır. Türkeş ve Erlat (2005) Türkiye'de kış yağışlarının NAO değişkenliğine karşı klimatolojik tepkilerini araştırmışlardır. Bu amaç için, 78 istasyondan elde etmiş oldukları kış yağış verilerini analizlerde kullanmışlar, Yağışlar ile üç farklı NAO indisi arasındaki ilişkiyi göstermeye çalışmışlardır. Bunlar, NAOI'nın ekstrem evrelerine bağlı karmaşık değişikliklerini ve NAOI olaylarına bağlı özel nemli koşullar ve kuraklık olaylarıdır. Ponta Delgada-Reykjavik NAOI'yı diğer NAOI'lar ile karşılaştırdıklarında, Delgada-Reykjavik NAOI'nın en etkili indis olduğu, kış yağışlarının yıllar arası değişkenliğini kontrol edebildiği ve Türkiye'de karmaşık yağış koşullarının NAOI'nın ekstrem evrelerine uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Kış yağışlarının üç NAOI değişimleriyle anlamlı bir ilişki içerisinde olduklarını ve negatif ilişkilerin ise, Marmara, Akdeniz Geçiş, İç Anadolu, Akdeniz'in Ege bölümünde güçlü olduklarını söylemişlerdir. Türkeş ve Erlat (2006) yapmış oldukları başka bir çalışmalarında ise, NAO'nun Türkiye'deki yağış değişiklikleri ve değişimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Çalışmalar incelendiğinde genellikle geleneksel istatistik teknikleri kullanılarak gerek Türkiye geneli gerekse bölgesel olarak yağışın şiddeti, yoğunluğu ve dağılışı mevsimsel ve yıllık olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Ancak, jeostatistik teknikleri kullanılarak yağış üzerine yapılan çalışmalar yok denecek kadar azdır. Çetin ve Tülücü (1998) çalışmalarında, Doğu Akdeniz Bölgesi ve geçiş kuşağında yer alan yağış gözlem istasyonlarından uzun yıllık, aylık yağış gözlem değerlerini kullanmışlardır. Bölge yağışları yersel değişimlerinin jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmesi için, gözlemi bulunmayan nokta ve alanlar için Kriging yönteminden faydalanmışlardır. Aylık yağış serilerinin türetilmesi, optimum haritalama tekniği ile bölgenin yağış ve hata haritalarını çizerek yağış gözlem ağı yoğunluğunun yeterli olup olmadığını ortaya koymuşlardır. Bostan ve Akyürek (2007) Türkiye’de 225 meteoroloji istasyonunda ölçülen 1970-2003 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değerlerini kullanarak yağışın mekânsal dağılımını, sayısal yükseklik modelinden ve sayısal akarsu ağından elde ettikleri ikincil veriler yardımıyla belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında Co-kriging ve GWR tekniklerini kullanmışlardır. Model performansı için Çapraz Geçerlilik yönteminden faydalanmışlardır. İkincil değişkenlerden akarsuya yakınlık, yükseklik ve bakı derecesi yağışın mekânsal dağılımında belirleyici faktörler olarak kabul edilmiştir. Ölçülen ve model sonucunda tahmin edilen değerler arasında GWR yöntemi ile 0.826, Co-kriging ile 0.425 regresyon katsayıları elde etmişlerdir. Öztürk ve Batuk (2010), Çanakkale ve Balıkesir illerindeki bazı istasyonları kapsayan ve Marmara Havzasının güneyinde kalan alanda

gerçekleştirdikleri çalışmalarında jeostatistik yöntemlerinden OK ve OCK tekniklerini kullanmışlardır. Çalışmalarında yağış dağılımını oluşturmak için yükseklik verisini yardımcı değişken olarak seçmişlerdir. Apaydin vd. (2011) İç Anadolu Bölgesi'nde 1976-2005 dönemine ait aylık ortalama global güneş radyasyonu, güneşlenme süresi, yüzey hava sıcaklığı, nisbi nem, rüzgar hızı ve yağış gibi iklim parametreleri üzerine topografyanın ve coğrafi etmenlerin etkilerini araştıran bir çalışma yürütmüşlerdir. Geleneksel istatistik yöntemleri ile enterpolasyon tekniklerinden faydalanarak iki aşamadan oluşan bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında iklim parametreleri üzerine yükseklik etkisini değerlendirmek için Kriging ve Co-kriging teknikleri karşılaştırılmıştır. Yükseklik yardımcı değişkenin ilave edilmesi hesaplama hatalarını en az düzeye indirmiştir. Çalışma sonuçlarına göre yükseklik ile güneşlenme süresi, sıcaklık ve rüzgâr hızı arasında bir ilişki olduğu bulunmuştur. İkinci aşamada ise, topografyanın yıllık ortalama iklim faktörleri değerleri üzerine etkisini değerlendirmek için çoklu regresyon denklemi geliştirilmiştir. En yüksek korelasyon solar radyasyon ve boylam arasında bulunmuştur. Çalışmada en etkili faktörlerin yükseklik ve boylam olduğu belirtilmiştir. Regresyon sonuçlarının, meteoroloji parametrelerin mekânsal paternlerindeki değişkenliğinin sadece bir kısmını açıklayabildiği vurgulanmıştır. Bostan vd. (2012) yükseklik, bakı, yüzey pürüzlülüğü, kıyıya uzaklık, arazi kullanımı ve ekolojik bölgeler gibi çok sayıda değişken kullanarak Türkiye'de 1970-2006 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değişiminin mekânsal dağılımını haritalamaya çalışmışlardır.

225 istasyondan elde edilen yıllık ortalama toplam yağış verileri ve diğer yardımcı değişkenler yardımıyla gerçekleştirdikleri analizlerinde Çoklu Doğrusal Regresyon (Multiple Linear Regression, MLR), OK, RK, UK, GWR tekniklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada MLR analizleri ile elde edilen sonuçlarda, yağışın değişkeni dışında kullanılan kıyıya uzaklık, arazi kullanımı ve kıyıya uzaklık ile yükseklik arasındaki etkileşim gibi yardımcı değişkenlerin yıllık ortalama toplam yağış tahmininde istatistiksel olarak önemli olduğu gösterilmiştir. Yine çalışmanın sonuçlarına göre, UK Türkiye'deki yağışın mekânsal enterpolasyonunda en güvenilir yöntem olarak bulunmuştur. Bu yöntemi sırasıyla RK, OK, GWR ve yükseklikle birlikte UK ve son olarak MLR takip etmiştir. Çalışmada UK, RK, GWR ve MLR ile oluşturulan tahmin haritaları birbirine benzer özelliklerde çıkmıştır. OK haritaları mekânsal detayı göstermemesine rağmen, Çapraz Geçerlilik sonuçları OK'nın MLR ve GWR'ye göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Yükseklik ile birlikte UK da MLR'ye göre, daha iyi bir performans göstermiştir. Genel olarak Kriging yöntemlerinin MLR analiz sonuçlarına göre, daha üstün bir enterpolasyon sağladığı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. İlker ve Terzi (2012) Akdeniz Bölgesi'nde yağışın alansal dağılımını inceledikleri çalışmalarında IDW, Spline ve Kriging enterpolasyon yöntemlerini kullanmışlardır. Dağılım haritalarının doğruluk analizleri R^2 ve RMSE değerlerine göre yapılmıştır. Çalışmalarının sonuçlarına göre, Akdeniz Bölgesi'nde yağışın alansal dağılımında IDW enterpolasyon yönteminin kullanılabilir olduğunu tespit etmişlerdir. R^2

değerlerinin bazı istasyonlarda Kriging yönteminde IDW yönteminden daha yüksek sonuçlar vermiş olduğunu belirtmişlerdir. Aydın ve Çiçek (2013) 1975-2010 dönemine ait 36 meteoroloji istasyonunun verileri kullanılarak, Ege Bölgesi'nin yıllık ortalama toplam yağışın mekânsal paternini ortaya koymuşlardır. Yağış değişiminin modellenmesinde mekânsal enterpolasyon tekniklerinden OK ve IDW tekniklerinden faydalanmışlardır. Tahmin haritalarının doğruluğunu Çapraz Geçerlilik yöntemiyle test etmişlerdir. ME, MAE, RMSE ve R^2 değerlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında OK'nın IDW'ye göre daha doğru tahmin haritaları oluşturduğunu belirtmişlerdir. IDW ve OK yöntemlerinde Asıl Ege Bölümü'nde daha doğru tahmin sonuçlarına rastlamışlardır. Buna karşılık yüksek dağlık alanların yaygın olduğu İç Batı Anadolu'da hata oranının artmış olduğunu ifade etmişlerdir. Yağışın yüksek olduğu Muğla ve çevresinde yağış her iki modelde de fazla tahmin edilirken, yağışın düşük olduğu Afyonkarahisar ve çevresinde yağışın ölçülen değerlerden az tahmin değerleri verdiğini saptamışlardır.

3. YAĞIŞ VE YAĞIŞLA İLGİLİ KAVRAMLAR

3.1. Yağış Kavramı ve Biçimleri

Sis ve bulutları oluşturan, 0.001-0.040 mm çaplı, çok küçük su tanecikleri birleşerek veya üstlerine ilave olan yeni yoğunlaşmalarla irileşerek, 0.5 mm'den daha büyük olup ağırlaşınca, bulutlarda mevcut dikey hava hareketlerine üstün gelebildikleri için yere doğru düşmeye başlarlar. İşte atmosfer içinde kısa veya uzun bir yol izleyerek yere düşen bu tanelere yağış denir (Erol, 2004:231). Katı veya sıvı olarak düşen bu yağış taneleri yükselen hava akımları sonucu gerçekleşmektedir. Bunun neticesinde, yükselim (konveksiyon) yağışları, yer şekli (orografya) yağışları, alçak basınç (siklon) yağışları oluşmaktadır. Alttan ısınan nemli hava kütesinin dikey yönde hızla yükselmesi sonucu soğuyup yoğunlaşmasıyla oluşan yağışlara yükselim yağışları denir. Bu tür yağışlar genellikle dağlarla çevrili iç kısımlarda görülür ve sağanak biçimindedir. Yer şekli yağışları, yamaçlar boyunca yükselen havanın, giderek soğuması ve içlerindeki nemi yağış olarak bırakmasıyla ilişkilidir. Yamaçlar boyunca yükselen hava kütlelerinin bıraktıkları yağış miktarı; hava içindeki neme, dağların yüksekliğine ve yer şekillerine bağlıdır. Dünyadaki en yağışlı yerler, yer şekli yağışlarını alan yerlerdir. En kurak bölgelerde bile, yüksek dağ ve tepelerin, çevrelerine oranla daha fazla yağış aldığı bir gerçektir (Erol, 2004:236). Sıcak ve soğuk hava kütleleri karşılaştınca soğuk hava, sıcak havanın altına girer ve onun sıcaklığını düşürür. Sıcak havanın yoğunluğu az olduğundan karşılaşma bölgesinde soğuk havanın üzerine doğru yükselir. Hem yükselme

hem de soğuk havayla karşılaşmanın etkisiyle soğuyan sıcak hava kütlesi, yeterince nem taşıyorsa yağış bırakır. Böylece cephe yağışı meydana gelmiş olur. Cephe yağışları, hava kütlelerinin hareketlerine bağlı olarak değişik yer ve zamanda görülmektedir. Yeryüzündeki yağışların önemli bir bölümünü bu tip yağışlar oluşturmaktadır.

3.2. Yağış Dağılışı Etkileyen Faktörler

Havadaki nemin doyma noktasını aşır, su damlacıkları, buz kristalleri veya buz parçacıkları şeklinde yoğunlaşması ile oluşan yağışın alanda ve zamanda gösterdiği değişimlerin birçok nedeni bulunmaktadır. Küresel faktörler ve coğrafi faktörler yağış değişimini etkileyen etmenlerin en başında gelmektedir.

3.2.1. Küresel Faktörler

Yağış üzerine önemli etkisi olduğu bilinen küresel faktörler şu şekilde sıralanabilir. Yeryüzünün herhangi bir yerinde, hava kütlelerinin nemlilik ve kararlılık özelliği, genel atmosfer dolaşımı açısından konveksiyon ve konverjans ya da sübsidans ve diverjans alanlarına ve hava kütleleri ile basınç merkezlerinin mevsimlik hareketlerine göre konumu, yükselici hareketlerin kuvveti ve sürekliliği, bu hareketlerin zonal basınç dağılışı, sıradağlar veya tek

dağlar gibi yerşekillerini oluşturan topografik engeller, siklonik fırtınalar ve diğer atmosferik karışıklıklardır (Türkeş, 2010).

3.2.2. Coğrafi Faktörler

Coğrafi faktörler yükselti, bakı, yer şekilleri (rölyef), denize yakınlık-uzaklık (karasallık derecesi), orografik özellikler gibi fiziki coğrafya faktörlerini oluşturmaktadır. Yüksekliğin yağış miktarı üzerine etkisi önemlidir. Orografik yükselmenin etkili olduğu dağlık alanlarda yağış miktarı fazladır. Dağlık bir alanda yağış miktarı, coğrafi konumu ve fizik coğrafya faktörlerinin özelliklerine göre belirli bir yükseltiye kadar artış göstermektedir. Yükselti ile yağış arasındaki bu ilişki, yükselti arttıkça sıcaklığın düşmesi nedeniyle doyma noktasına daha kolay ulaşıldığı ve yoğunlaşmanın gerçekleşmesiyle açıklanır (Koçman, 1993b; Erol, 2004; Türkeş, 2010). Yükseklik ile yağış artışının belirli bir yükseklik düzeyine kadar orantılı artışı bir düzeye ulaştığında azalma eğilimi göstermektedir. Bu düzey en çok yağış düzeyi olarak bilinmektedir. En çok yağış düzeyi hava kütlesinin nemine, sıcaklığa ve dağın yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir (Erol, 2004:253-254). Dağların, hava akımlarının ve orta enlem siklonlarının geldiği yöne bakan bölümleri ile kuytu yamaçları arasında yağış miktarı dağılışı farklılık göstermektedir (Türkeş, 2010). Bu durum, yağış miktarı dağılışı ile bakı koşulları arasındaki var olan ilişkinin sonucudur. Diğer taraftan yağışın kıyı kuşağından iç bölgelere doğru gidildikçe azalması yağışın denize yakınlık-uzaklık ile olan ilişkisiyle açıklanmaktadır. Ancak, yağış dağılışı

üzerinde topografya da etkili olduğunda, bu genel ilke bozulabilir ve daha iç bölgelerde bulunan yüksek dağlık bir arazi kıyıdan daha bol yağış alabilir (Türkeş, 2010:379). Kıyı akıntıları, termik özelliklerine göre, bir kıyı bölgesindeki yağış miktarı üzerinde olumlu veya olumsuz etkiye sahip olabilmektedir. Sıcak kıyı açığı akıntıları, üzerlerinden geçen hava kütlelerinin nemini (su buharı içeriğini) ve kararsızlığını arttırarak, özellikle orta enlem siklonları gibi yağış üreten dinamik basınç hücreleri ile birlikte, komşu karalar üzerine daha bol yağış düşmesine neden olmaktadır (Türkeş, 2010:379). Bitki toplulukları hava akımlarının düzenini bozarak onları yükselmeye ve türbülans hareketler yapmaya sevk ederler. Bu durum yağış miktarlarında az da olsa bir artışa neden olur. Ormanların yağışı %3-6 oranında arttırdığı bilinir (Erol, 2004:256). Diğer taraftan buharlaşmanın azalması, yağış suyunun zemine daha hızlı sızması, toprakta depolanan suyun artması ve bazı bölgelerde yağış oluşumu koşullarının desteklenmesi ve yağışların artması, ormanların sağladığı katkıların başta gelenleridir (Türkeş, 2010:379). Basınç rejiminin de yağışlar üzerinde etkisi bulunmaktadır. Uygun koşullarda adyabatik olarak soğuyan yükselici hava yağışı arttırırken, alçalıcı hava hareketleri adyabatik olarak ısınmaya neden olarak yağış olasılığını azaltmaktadır. Yağışın dağılışı ve miktarını tayin ederken bu faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bir bölgenin yağış dağılışını göstermek bakımından, yağışın zamana bağlı değerlerini yani günlük, aylık ve yıllık ortalama toplam yağış miktarlarını

bilmek gerekmektedir. Yağışın bir bölgedeki dağılışı ifade etmede en çok yıllık ortalama toplam yağış değerleri kullanılmaktadır. Bundan başka, yağış rejimini belirtmek için yıllık ve mevsimlik yağış değerlerinden de faydalanılmaktadır.

3.3. Yağış Rejimi ve Yağış Rejimi Bölgeleri

Bir bölgede yağışın yıl içindeki aylara-mevsimlere dağılışına yağış rejimi denir (Erol, 2004:258). Yağış rejimleri, aylık yağış miktarları ve mevsimlik yağışlar şeklinde de ifade edilir (Erol, 2004:258). Yağışların yıl içindeki dağılışı, atmosferde yoğunlaşma ve yağış oluşumu koşullarının yıl içindeki gidişine bağlıdır (Türkeş, 2010:379). Yoğunlaşma koşulları ise, sinoptik ölçekli basınç ve rüzgâr sistemleri, hava kütleleri ve cephelerin yanı sıra geniş ölçekli (gezegensel ya da yarım küresel) sübsidans ve diverjans ile konverjans ve konveksiyon alanlarının genel atmosfer dolaşımı açısından yıl içindeki konumları ve etkinlikleriyle belirlenmektedir (Türkeş, 2010:379-380). Yağış rejimleri belli koşullar altında belirdiği için her yıl hemen hemen aynı tip bir gidiş gösterir ve kendine has yağış rejimleri olan bölgeler belirir (Erol, 2004:258). Yeryüzünde altı yağış rejim tipi vardır. Yeryüzündeki bu yağış rejimi bölgeleri: (1) ekvatorial yağış rejimi ve bölgesi; (2) tropikal yağış rejimi ve bölgeleri; (3) subtropikal çöl rejimi ve bölgeleri; (4) subtropikal Akdeniz yağış rejimi ve bölgeleri; (5) orta enlem yağış rejimleri ve bölgeleri; (6) polar yağış rejimi ve bölgesi; (7) tropikal

muson yağış rejimi ve bölgeleri (yazın yağışlı, kışın kurak) olarak ayrılmaktadır (Türkeş, 2010:380-381).

3.4. Türkiye’de Yağış Rejimi Bölgeleri

Türkiye, subtropikal kuşağın Akdeniz büyük iklim bölgesinde yer almaktadır. Gezici orta enlem ve Akdeniz depresyonlarının etkisi altında bulunmaktadır. Gezici depresyonların sıklığı ve etkinliği, yüksek atmosfer batı rüzgârları ve polar jet akımı ile bağlantılı Akdeniz cephesi ve Polar cephe konumları yağış koşullarını denetlemektedir (Türkeş, 1998c). Genel olarak Türkiye’de yaz mevsimi kurak, kış ve bahar mevsimleri yağışlı geçmektedir. Ancak, bölgesel koşulların etkisi altında oluşan değişimler, mevsimlerin yağış durumu bakımından bazı farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Ölgen, 2010:88). Bundan dolayı farklı yağış rejimleri ortaya çıkar. Türkiye’nin yağış rejim bölgelerini gösteren çalışmalar mevcuttur (Koçman, 1993b; Türkeş, 2010; Sariş, vd., 2010). Genel olarak Türkiye’nin yağış rejimi bölgeleri ve temel özellikleri bakımından yedi rejim tipi ayırt edilebilir. Buna göre: (1) Karadeniz (KARD), en yüksek yağışı sonbaharda olan, her mevsim yağışlı, ılıman; (2) Marmara (Akdeniz’den Karadeniz’e) geçiş (MARG), sıcak ve az yağışlı bir yaz mevsimi ile birlikte; (3) Akdeniz (AKD), çok yağışlı ılık bir kış ve sıcak kurak bir yaz mevsimi ile birlikte, gerçek mevsimsel, nemli ve yarınemli subtropikal; (4) Karasal Akdeniz (KAKD), orta yağışlı bir kış/ilkbahar ve çok sıcak kurak bir yaz mevsimi ile birlikte, oldukça mevsimsel, yarıkurak ve kuru-yarınemli

subtropikal; (5) Akdeniz (Akdeniz'den İç Anadolu'ya) geçiş (AKDG), orta yağışlı bir kış ve ilkbahar; (6) Karasal İç Anadolu (KİAN), orta yağışlı soğuk bir ilkbahar/kış ve az yağışlı sıcak bir yaz mevsimi ile birlikte, yarıkurak ve kuruyarınemli bozkır, (7) Karasal Doğu Anadolu (KDAN), orta yağışlı bir ilkbahar/ilkyaz ve kar yağışlı çok soğuk bir kış mevsimi ile birlikte, kuruyarınemli bozkır ve yüksek arazi rejim tipleridir (Türkeş, 2010:385).

Karadeniz yağış rejiminin hüküm sürdüğü alan, Karadeniz kıyı kuşağı boyunca Hopa çevresinden başlar ve Zonguldak'ın batısına kadar devam eder (Koçman, 1993b:57). Bu yağış rejimi tipi her mevsim yağışlı orta enlem yağış rejimine karşılık gelmektedir. Aylık yağış miktarları arasındaki farklar azdır. Kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinin yıllık yağışa katkısı, ilkbaharda biraz az ve sonbaharda daha fazladır (Türkeş, 2010:387). Karadeniz yağış rejimi bölgesinde günlük yağışların şiddetini belirleyen esas faktör kuzey ve batı Avrupa üzerinden gelen depresyonlar ve bu depresyonların etkisini arttıran orografik koşullardır. Özellikle kuzeyden gelen kararlı hava kütlelerinin alttan nem kazanmasıyla koşullu kararsız duruma gelmesi, şiddetleri fazla olan orografik sağanakların oluşumunda etkili olmaktadır (Erlat, 1996:161). Marmara geçiş rejiminin en büyük özelliği sıcak ve az yağışlı bir yaz mevsimi ile birlikte her mevsiminin yağışlı olmasıdır (Ölgen, 2010:88). Bu rejim tipinde yaz kuraklığı Akdeniz rejiminde olduğu kadar şiddetli değildir (Koçman, 1993b:61). Diğer taraftan yaz yağışları Karadeniz yağış rejim bölgesine göre daha azdır (Erlat, 1996:162). Cephe etkinliğinin arttığı kış mevsimi yağışlı dönemi

oluşturur. Depresyonlarının geçiş sayısının azaldığı ilkbahar aylarında yağış da azalmakla birlikte, oran itibariyle sonbahar aylarından daha yüksektir (Koçman, 1993b:61). Akdeniz Bölgesi'nin kıyı kuşağı ile Ege Bölümü'nde görülen Akdeniz yağış rejimi, kış aylarının çok yağışlı, yaz aylarının kurak geçmesiyle belirgindir. Karasal Akdeniz rejimi, batıda Gaziantep platolarından başlamakta Güneydoğu Toroslar'ın yamaçları önünde devam ederek doğuda Bitlis dağları ile Cizre arasında kalan kesimlere kadar ulaşmaktadır (Koçman, 1993b:56). En yağışlı mevsim kıştır ve karasal etkiye sahip bir ilkbahar artışı ile karakterize olmaktadır. Bölgede batı ve güney-batıdan gelen depresyonlar özellikle kıyı kesiminde orografik etki ile şiddetli sağanaklara yol açmaktadır (Erlat, 1996:163). Akdeniz geçiş rejimi, İç Batı Anadolu Bölümü'nün kuzeyinde kalan Domaniç-Orhaneli platolarından batıda Bigadiç yakınlarına kadar uzanan ve güneye doğru Uşak-Sandıklı'dan sonra Göller Yöresi'ni de içine alan bölgeyi oluşturmaktadır (Koçman, 1993b:58). Bu bölgede yer şekiller, yükselti, artan karasallığın etkisiyle yağış rejiminde, İç Anadolu yağış rejimini yansıtan özelliklere rastlanılmaktadır. Akdeniz üzerinden gelen depresyonların etkisiyle özellikle Mardin dağlarında, Diyarbakır havzasında ve güney-doğu Toroslar'da şiddetli yağışlar oluşmaktadır. Ayrıca Diyarbakır ve Dicle havzasında konvektif sağanaklara rastlanmaktadır (Erlat, 1996:164). Orta yağışlı bir kış ve ilkbahar mevsimleriyle birlikte çok sıcak kurak bir yaz mevsiminin yaşandığı yarıkurak bozkır, Karasal İç Anadolu yağış rejimi olarak bilinmektedir. Denizlerin etkisini engelleyen yüksek kenar dağları ve artan karasallığın etkisiyle bu bölgede, güneyde ve batıda Akdeniz yağış rejiminin, kuzeyde Karadeniz yağış rejiminin

ve doğuda karasal rejimin özellikleri değişmekte ve buraya özgü bir geçiş tipi ortaya çıkmaktadır (Koçman, 1993b:58). Karasal Doğu Anadolu yağış rejimi Kuzeydoğu Anadolu platolarında ilkbahar ve yaz aylarının başlarında en fazla yağışı almasıyla diğer rejim tiplerinden farklı olarak ayrıldığı görülmektedir. Kuzeydoğu'da Erzurum-Kars platoları ile Erzincan-Malatya yörelerini içine alarak Güneydoğu Toroslar'ın çevrelediği alanlardan Hakkâri dağlık yöresine kadar uzanan bu geniş bölgede, ekim ayından itibaren karaların soğuması ile birlikte doğudan Anadolu içlerine uzanan bir termik antisiklon yerleşir. Bölge üzerinde kış boyunca egemen olan bu antisiklonal koşullar nedeniyle bölgeye cephesel depresyonların ulaşması zorlaşır ve yağışlar azalmaktadır (Koçman, 1993b:57).

4. VERİ VE YÖNTEM

4.1. Çalışma Alanının İklim ve Genel Özellikleri

Türkiye matematik konum olarak 36°-42° kuzey enlemleri ile 26°-45° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Birbirine paralel uzanan dağlar, volkanik dağlar veya eski göl ve deniz tortulları ile kaplı, akarsu vadileriyle derince yarılmış plato düzlükleri, büyük akarsuların ağızlarında genişleyen delta ovaları, tabanları alüvyonlarla kaplı tektonik havzalar Türkiye'nin yer şekillerinin ana birimlerini oluşturmaktadır (Koçman, 1993b:8). Ülke engebeli, yüksek ve ortalama yükseltisi yaklaşık 1132 m olan dağlık bir alandır ve yüksek alanların yüzölçümü yaklaşık %55'den daha fazladır (Şekil 5). Ülkenin bulunduğu konum, deniz seviyesine göre yüksek olması, kıyılara paralel dağ sıralarının bulunması, denize yakınlık ve uzaklık gibi faktörlerin varlığı farklı iklim özelliklerinin meydana gelmesini sağlar. Kuzeyde Kuzey Anadolu dağları, güneyde Toroslar ülkenin kuzey ve güney kıyıları boyunca uzanan dağ sıralarını oluşturmaktadır. Bu durum deniz etkisinin iç bölgelere girmesine imkân vermez. Bu dağ sıralarının birbirine yaklaşarak sıkışması ile Doğu Anadolu Bölgesi daha dağlık bir yapıya sahip olmuştur. İç Anadolu Bölgesi ise, dağ sıralarının arasında geniş ve yüksek düzlüklerin bulunduğu bir alanı oluştururken, Ege ve Marmara denizlerine doğru olan uzantıları bu kıyılara dik ve birbirlerinden çöküntü ovaları ile ayrılmış olarak bulunmaktadır. Dağ sıralarının denize bakan yamaçları bol, uzun süreli ve şiddetli yağış almaktadır. Buna karşın dağ sıralarının iç yamaçlarına bakan kısmında yağışlar azalmakta

ve yıllık sıcaklık farkı artmaktadır. Bu durum, Türkiye’de karasallık üzerine denizden uzaklığın birinci derecede etkili rol oynadığını ortaya koymaktadır (Koçman, 1993b:9). Karasallığın hâkim olduğu ülkenin iç bölgelerinde izlenen yıllık sıcaklık farkı yüksek değerlere sahiptir ki, bu değer ülkenin doğusuna doğru gidildikçe artış göstermektedir. Kısaca, karasal ve denizel etkilerin derecesi yıllık sıcaklık farkı ile değerlendirilmektedir. Yağış miktarı ise, Kuzey Anadolu dağlarının kuzeybatıya bakan yamaçlarında artmakta, kuzeydoğuya bakan yamaçlarında ise azalmaktadır. Güneyde uzanan Torosların, güneybatıya bakan yamaçlarında artan yağış miktarı aynı dağ sırasının doğu ve güneydoğu yamaçlarında azalmaktadır.

Ülkenin kış ve bahar mevsimlerinin ilk aylarında yani yaklaşık olarak kasım’dan nisan ayı sonuna kadar basınç değişimleri yıllık ortalamalara göre yüksektir. Bu durum bu mevsimler atmosferik aktivitenin fazla olduğunu göstermektedir. Mayıs ayından ekim’e kadar süren yaz aylarını içine alan dönemde ise, basınç değişimleri yıllık ortalamalara göre daha küçük değerler göstermektedir. Bu dönemde Türkiye üzerinde daha kararlı basınç koşullarına rastlanmaktadır. Türkiye’de kış dönemi basınç dağılışının düzensiz olması rüzgârların yaz dönemine göre daha baskın olmasını sağlar. Yaz rüzgârları tek egemen yönden eserken kış rüzgârlarının yönleri değişkendir. Kışın Trakya, Marmara Denizi, Antalya Körfezi ile Adana ve Hatay ovalarında kuzeyden esen rüzgârlar daha baskındır. Karadeniz kıyılarında güney rüzgârları, Ege ovalarında doğu rüzgârlarının estiği görülmektedir. Ülkede rüzgâr frekansları

ve esiş yönleri arasında var olan bağılığa ek olarak kara ve denizlerin etkileri ile topografik şartlarında önemli rol oynadığı bilinmektedir. Dolayısıyla, rüzgârların esiş sıklığı ve sektörel dağılış çevre koşullarına göre bazı yerel değişikliklere uğramaktadır (Koçman, 1993b:16).

Türkiye’de sıcaklık dağılışını ve bölgesel farklılıklarını ortaya koyan etmenlerden biri, çok farklı olan hava kütlelerinin yıl içindeki etkileridir. Kış aylarında Türkiye üzerinde egemen olan soğuk polar hava kütleleri ile Akdeniz üzerinden gelen hava kütleleri sıcaklık koşullarını tayin etmektedir. Ülkenin batı ve güney kıyılarında batıdan ve güneyden sokulan hava kütleleri ılık sıcaklık koşullarını Akdeniz termik rejimi doğrultusunda yönlendirirken, kuzey ve kuzeybatıdan veya iç bölgelerde olduğu gibi, doğrudan sokulan hava kütleleri sıcaklığın çok düşmesine yol açar (Koçman, 1993b:22). Yaz aylarında Basra alçak basıncının güneyde varlığı dolayısıyla Türkiye’ye ulaşan tropikal hava kütleleri, sıcaklığın aşırı derecede yükselmesine neden olur (Koçman, 1993b:22). Bunun dışında ülkenin coğrafi konumu, yükselti ve denizden uzaklık gibi fiziki coğrafya özellikleri de yıllık ortalama sıcaklık derecelerini etkilemektedir. Kıyı bölgeleri ile iç kısımlar, yüksek plato ve ovalar arasındaki sıcaklık farklılıklarında meydana gelen değişimler bu faktörlerin etkisini ifade eder. Sıcaklık koşullarındaki bu değişimin buharlaşmanın yıllık ortalama değeri üzerine büyük etkisi olduğunu göstermektedir.

Geniş buharlaşma yüzeyleri olan denizlere yakın kıyı bölgelerinde bitki örtüsü, atmosferin ve zeminin nemlilik derecesi buharlaşma miktarını

sınırlayan başlıca faktörlerdir (Koçman, 1993b:35). Ülkenin Doğu ve Batı Karadeniz bölümlerinde gözlenen buharlaşma tutarlarının az olması bu sebepten kaynaklanmaktadır. Buna karşılık, kıyılardan uzak iç kısımlarda buharlaşma tutarları yüksektir. Sıcaklığın yüksek olduğu yerlerde buharlaşma artarken, bitki örtüsünün çok seyrek olması, yağışın az olması, zeminin nem bakımından fakir olması potansiyel buharlaşma miktarını karşılayamayacak engeller oluşturmaktadır. Sıcaklık değerlerindeki yükselme havanın subuharı basınç kapasitesini arttırır. Bu sebepten ötürü Türkiye’de sıcak aylarda havadaki su buharı basıncı artar. Sıcaklığın düşüş gösterdiği kış aylarında ise, havadaki su buharı basıncı azalır. Su buharı basıncı ve değişimleri sıcaklık koşullarının yanı sıra buharlaşma imkânlarına ve hava kütlelerinin özelliklerine de bağlı olarak değişim göstermektedir.

Ülkede bulutluluğun yüksek olduğu dönem frontal faaliyetlerin arttığı, yağışların fazlaştığı, bağıl nem oranlarının yüksek olduğu kış aylarına rastlamaktadır. Bulutluluğun en az olduğu dönem yaz aylarına gelmektedir. Ülke üzerinde hava dolaşımı koşullarının değişmesi, yağışların ve bağıl nemliliğin düşmesi bulutluluğun azalması üzerinde etkili rol oynamaktadır. Türkiye’de sislerin oluşumu ve süresi bölgeden bölgeye farklılık gösterir. Sisli günlerin en fazla olduğu İç Anadolu, Trakya’nın iç kesimleri ve Doğu Anadolu’nun doğu bölümleridir. Buna karşılık sisli günlerin en az olduğu yerleri ise, Akdeniz ve Ege kıyıları oluşturmaktadır. Sis oluşumuna en az etkili

olan dönem yaz mevsimi iken, sis sayısı kış mevsiminde en yüksek sayıya çıkmaktadır.

Yağış ise, yukarıda da bahsedildiği gibi ülkede görülen iklim değişkenlerinin en önemli parametrelerinden birini oluşturmaktadır. Ülkenin yağış dağılışını etkileyen coğrafi faktörlerin başında yükseklik gelmektedir. Ülkede yüksek dağlar ve platolar en fazla yağış alan yerleri İç Anadolu ve havzalar yağışı daha az alan yerleri oluşturmaktadır. Bu durum yükselti faktörünün yağış üzerine olan etkisini göstermektedir. Alt yamaçlar ve alçak alanların yağmur şeklinde yağışlar, yüksek yamaçlar ve dorukların kar şeklinde yağışlar alması ise, yükseklik faktörünün yağış şekli tayininde de oldukça belirleyici bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle birbirine yakın yerler arasında büyük yükselti farklarının varlığı, yerel farkların ortaya çıkmasına yağış ve sıcaklık koşullarının yatay ve düşey yönde hızla değişmeler göstermesine neden olmaktadır (Koçman, 1993b:7). Diğer taraftan engebelilik yağış miktarını artırıcı yönde etkiye sahiptir. Ülkede yüksek dağlarla çevrili sahalar az yağış alır. Örneğin kuzey ve güneyden sıra dağlar ile çevrili olan İç Anadolu Bölgesi veya Kızılırmak, Yeşilırmak, Çoruh Nehirlerinin derin vadileri arasında kalan sahalar az yağış alan alanları oluşturmaktadır. Cephesel depresyonların geçiş yollarına karşı yamaçların konumu yani bakı özellikleri yağışı etkileyen coğrafi faktörler arasında önemli role sahiptir. Ülkenin güneyindeki Toros dağları, özellikle Batı Toroslar fazla yağış alan yerler arasında yer alır. Ancak bu alan özellikle yükselti ve bakı koşullarına bağlı

olarak daha az yağışlı alanlarla kesintiye uğramaktadır. Dik yamaçlar daha kuvvetli ve sürekli yükselmelere sebep olarak daha bol ve şiddetli yağış sağlar ki, bu durum eğimin yağış üzerine etkisini göstermektedir. Diğer taraftan bitki örtüsü, özellikle ormanlık alanlar gibi bitki topluluklarının yoğun olduğu bölgeler yağış miktarları üzerine etkilidir. Bu alanlar hava akımlarının düzenini bozarak onları yükselmeye ve türbülans hareketler yapmaya sevk eder. Bu durum yağış miktarlarında az da olsa bir artışa sebep olmaktadır. Denize olan yakınlık uzaklık etkisi yine yağışı etkileyen diğer önemli coğrafya faktörleri arasında yer alır. Uygun koşullarda adyabatik olarak soğuyan yükselici hava yağışı arttırır. Buna karşın alçalıcı hava hareketleri adyabatik olarak ısınmaya neden olarak yağış olasılığını azaltır. Bu durum yağış üzerine basınç rejiminin etkisini göstermektedir. Kısaca, yükselti, bakı, engebелilik, eğim, denize yakınlık uzaklık, basınç rejimi gibi coğrafi faktörlerin etkisi yağış dağılışını önemli ölçüde etkilemektedir.

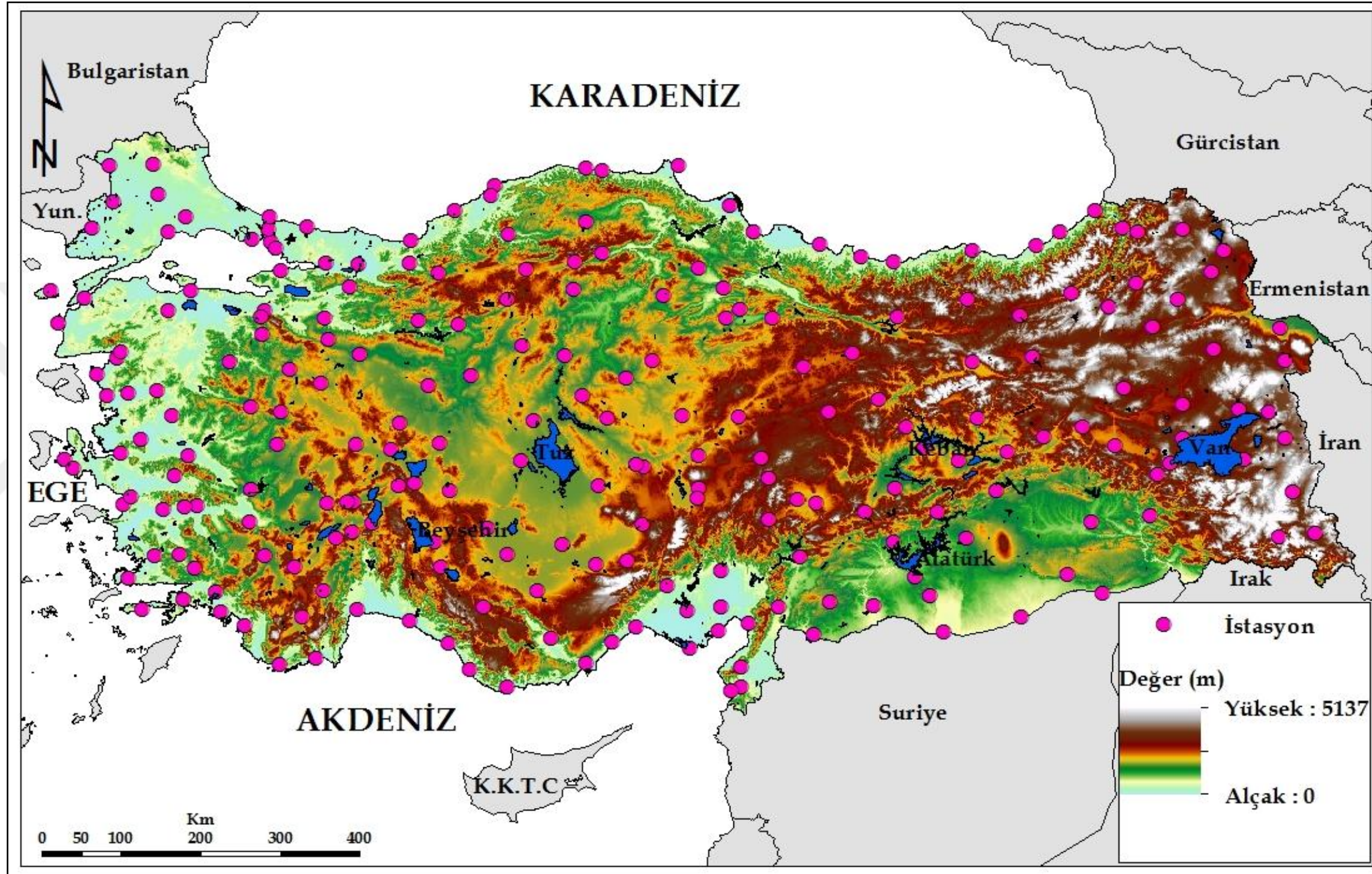
Türkiye bu faktörlerin ortak etkisi altında özellikleri ve alanları değişen farklı yağış tiplerinin gözlendiği bir ülkedir. Bu nedenle yağışın, mekânsal enterpolasyon gibi modern istatistik teknikler ile araştırılması ve doğru yağış modellerin oluşturulması gerekmektedir. Belirli örneklem noktalarından elde edilmiş meteoroloji değişkenlerin mekânsal enterpolasyonu ve bu enterpolasyonun doğruluk ve hassasiyetini arttıracak yaklaşımların belirlenmesi önemli bir konuyu oluşturmaktadır (Marquinez, vd., 2003).

4.2. Çalışmada Kullanılan Veri Seti

Çalışmada Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın dağılışını belirleyebilmek için uzun süreli yağış gözlemi yapan 228 meteoroloji istasyonundan elde edilen 1975-2010 dönemine ait yıllık ortalama toplam yağış verileri kullanılmıştır. Veriler MGM'den elde edilmiştir. Türkiye'de çok sayıda aktif meteoroloji istasyonu bulunmasına rağmen, 35 yıllık bir dönem için ölçüm yapan istasyonlar seçilmiş ve yıllık ortalama toplam yağış değerleri hesap edilmiştir. Dünya Meteoroloji Örgütü (The World Meteorological Organization, WMO) tahminler yaparken güvenilir iklim değerleri elde etmek için kullanılması gereken en uygun uzunluğa sahip sürenin 30 yıllık bir dönemi kapsamı gerektiğini belirtmiştir (Jagannathan, vd., 1967). İstasyonlardan Batı Akdeniz Havzası'nda yer alan Muğla istasyonu, Sakarya Havzası'nda yer alan Ankara istasyonu ve Meriç Havzası'nda yer alan Edirne istasyonu 1921 tarihinde ölçüme başlayan en eski istasyonlardır. İstasyonların büyük çoğunluğu Sinoptik (SNP) ve Büyük Klima (BK) özelliğine sahiptir. Az sayıda Küçük Klima (KK) istasyonu bulunmaktadır. BK istasyonları, bir yerin iklimini tespit etmek amacıyla kurulmuş olan ve günde 3 (günün 07:00, 14:00 ve 21:00 saatlerinde) defa rasat yapan birimlerdir. Bu istasyonlarda basınç, sıcaklık, nem, toprak sıcaklıkları, güneşlenme, yağış miktarı, rüzgâr, buharlaşma, kar rasatı, görüş mesafesi, bulutluluk rasatı ve müşahade gözlemleri yapılır (Türkeş, 2010:10-11). SNP istasyonlarda yerden yukarı 30 km kadar olan yükseklikteki çeşitli basınç seviyesi yükseklikleri, sıcaklık, nem, rüzgâr ölçümleri

yapılmaktadır. SNP istasyonlarda günde iki defa (günün 00:00 ve 12:00 saatlerinde) radyosonde de (yüksek atmosfer rasatları) yapılmaktadır (Türkeş, 2010:10-11). KK istasyonları ise, bir yerin iklim etüdünü gerçekleştirmek için kurulmuş istasyonlardır. Bu istasyonlar (günün 07:00, 14:00 ve 21:00 saatlerinde) günde üç defa sıcaklık, yağış, rüzgar, kar, rüyet, bulutluluk rasatı ve müşahade gözlemleri gerçekleştirmektedir (Türkeş, 2010:10-11). İstasyonlar Lambert Conformal Conic projeksiyon sistemi, Datum European 1950 (ED50) olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının bulunduğu lokasyonlar Şekil 5’de gösterilmektedir. İstasyona ait özellikler Çizelge 3’de verilmiştir. İstasyonların dağılışıda önemli mekânsal farklılıklar göze çarpmaktadır. İstasyonlar, Ege Bölgesi’nde nispeten yoğun olup, Güney Marmara, İç Anadolu, Güney Doğu Anadolu gibi yörelerde daha seyrek. Yüksek dağlık alanlarda ise, istasyon ağının çok seyrek olduğu görülür (Şekil 5). Bu durum yağışın dikey dağılım tahmininde önemli bir problem oluşturmaktadır.

Türkiye, engebeli, yüksek ve ortalama yükseltisi yaklaşık 1132 m olan dağlık bir alandır. Yüksek alanlar yüzölçümünün yaklaşık %55’den daha fazla bir alanı kaplamaktadır. Yükselti faktörünün yağış üzerine olan etkisi düşünüldüğünde DEM çalışmada kullanılan bir diğer önemli değişkendir. DEM, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) uydu verisinden elde edilmiş ve bölge sınırlarının belirlenmesinde önemli bir altlık görevi görmüştür.



Şekil 5. Çalışmada kullanılan istasyonlar

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan istasyonların özellikleri

	İstasyon adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Bölge yeri
1	Acıpayam	37.42	29.33	941	Bölge 1
2	Adana	36.98	35.35	20	Bölge 4
3	Adıyaman	37.75	38.28	672	Bölge 4
4	Afşin	38.25	36.92	1180	Bölge 3
5	Afyon	38.75	30.53	1034	Bölge 5
6	Ağrı	39.73	43.05	1631	Bölge 3
7	Ahlat	38.77	42.50	1722	Bölge 3
8	Akçaabat	41.02	39.57	3	Bölge 2
9	Akçakale	36.72	38.95	375	Bölge 4
10	Akçakoca	41.08	31.17	10	Bölge 2
11	Akhisar	38.92	27.85	93	Bölge 1
12	Aksaray	38.38	34.05	965	Bölge 5
13	Akşehir	38.35	31.42	1002	Bölge 5
14	Alanya	36.55	32.00	7	Bölge 4
15	Alata Erdemli	36.62	34.30	9	Bölge 4
16	Amasra	41.75	32.38	73	Bölge 2
17	Amasya	40.65	35.85	412	Bölge 6
18	Anamur	36.08	32.83	5	Bölge 4
19	Ankara	39.95	32.88	891	Bölge 6
20	Antakya	36.12	36.10	100	Bölge 4
21	Antalya	36.89	30.68	51	Bölge 4
22	Arapgir	39.05	38.50	1200	Bölge 3
23	Ardahan	41.12	42.72	1829	Bölge 3
24	Ardanuç	41.13	42.05	900	Bölge 3
25	Arpaçay	40.85	43.32	1688	Bölge 3
26	Artvin	41.18	41.82	628	Bölge 3
27	Aydın	37.85	27.85	56	Bölge 1
28	Ayvalık	39.30	26.70	4	Bölge 1
29	Bafra	41.58	35.93	20	Bölge 2
30	Bandırma	40.35	27.97	58	Bölge 1
31	Bartın	41.63	32.33	30	Bölge 2
32	Başkale	38.05	44.02	2400	Bölge 3
33	Batman	37.88	41.12	540	Bölge 4
34	Bayburt	40.25	40.23	1584	Bölge 3
35	Bergama	39.12	27.18	53	Bölge 1
36	Beypazarı	40.17	31.93	682	Bölge 6
37	Beyşehir	37.68	31.73	1129	Bölge 5
38	Bilecik	40.15	29.97	539	Bölge 4
39	Bingöl	38.87	40.50	1177	Bölge 3
40	Birecik	37.03	37.98	347	Bölge 6
41	Bitlis	38.37	42.10	1573	Bölge 3
42	Bodrum	37.03	27.43	27	Bölge 1
43	Boğazlıyan	39.20	35.25	1066	Bölge 5
44	Bolu	40.73	31.60	742	Bölge 6
45	Bolvadin	38.72	31.05	1018	Bölge 5
46	Bozcaada	39.83	26.07	28	Bölge 1
47	Bozkurt	41.95	34.02	167	Bölge 2
48	Bozüyük	39.92	30.03	754	Bölge 6
49	Burdur	37.67	30.33	967	Bölge 5
50	Burhaniye	39.50	26.97	10	Bölge 1

Çizelge 3. Devam

	İstasyon adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Bölge yeri
51	Bursa	40.18	29.07	100	Bölge 6
52	Ceyhan	37.03	35.82	30	Bölge 4
53	Ceylanpınar	36.85	40.05	398	Bölge 4
54	Cihanbeyli	38.65	32.93	969	Bölge 5
55	Çanakkale	40.14	26.40	6	Bölge 1
56	Çankırı	40.60	33.62	751	Bölge 6
57	Çemişgezek	38.07	38.92	953	Bölge 3
58	Çerkez	40.82	32.90	1126	Bölge 6
59	Çeşme	38.30	26.37	5	Bölge 1
60	Çiçekdağı	39.62	34.42	900	Bölge 6
61	Çorlu	41.17	27.78	183	Bölge 1
62	Çorum	40.55	34.97	776	Bölge 6
63	Çumra	37.58	32.78	1013	Bölge 5
64	Dalaman	36.75	28.78	13	Bölge 1
65	Datça	36.70	27.67	30	Bölge 1
66	Denizli	37.78	29.08	426	Bölge 1
67	Develi	38.38	35.50	1180	Bölge 5
68	Dikili	39.07	26.88	3	Bölge 1
69	Dinar	38.07	30.17	864	Bölge 5
70	Divriği	39.37	38.12	1225	Bölge 6
71	Doğanşehir	38.10	37.88	1280	Bölge 3
72	Doğubeyazıt	39.55	44.08	1725	Bölge 3
73	Dört Yol	36.85	36.22	28	Bölge 4
74	Dursunbey	39.58	28.62	639	Bölge 6
75	Düzce	40.83	31.17	146	Bölge 2
76	Edirne	41.67	26.57	51	Bölge 1
77	Edremit	39.58	27.02	21	Bölge 1
78	Eğirdir	37.87	30.83	920	Bölge 5
79	Elazığ	38.65	39.25	991	Bölge 3
80	Elbistan	38.20	37.18	1137	Bölge 3
81	Elmalı	36.75	29.92	1095	Bölge 5
82	Emirdağ	39.02	31.15	983	Bölge 5
83	Erciş	39.03	43.35	1678	Bölge 3
84	Ereğli	37.50	34.05	1044	Bölge 5
85	Ergani	38.28	39.77	1000	Bölge 4
86	Erzincan	39.75	39.50	1218	Bölge 3
87	Eskişehir	39.77	30.52	802	Bölge 6
88	Fethiye	36.62	29.12	3	Bölge 1
89	Finike	36.30	30.15	2	Bölge 4
90	Florya	40.98	28.80	36	Bölge 2
91	Gaziantep	37.08	37.37	855	Bölge 4
92	Gazipaşa	36.27	32.32	21	Bölge 4
93	Gediz	39.05	29.42	736	Bölge 6
94	Gemerek	39.18	36.07	1173	Bölge 5
95	Geyve	40.52	30.30	100	Bölge 2
96	Giresun	40.92	38.38	38	Bölge 2
97	Gökçeada	40.18	25.90	72	Bölge 1
98	Göksun	38.02	36.50	1344	Bölge 3
99	Gönen	40.10	27.65	37	Bölge 1
100	Göztepe	40.97	29.08	33	Bölge 2

Çizelge 3. Devam

	İstasyon adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Bölge yeri
101	Gümüşhane	40.47	39.47	1219	Bölge 3
102	Güney	38.15	29.07	805	Bölge 1
103	Hadim	36.98	32.47	1552	Bölge 4
104	Hakkâri	37.57	43.77	1728	Bölge 3
105	Hınıs	39.37	41.70	1715	Bölge 3
106	Hilvan	37.35	38.57	585	Bölge 4
107	Hopa	41.40	41.43	33	Bölge 2
108	Horasan	40.05	42.17	1540	Bölge 3
109	İğdır	39.92	44.05	858	Bölge 3
110	İlgaz	40.92	33.63	885	Bölge 6
111	İlgın	38.28	31.92	1034	Bölge 5
112	İsparta	37.75	30.55	997	Bölge 5
113	İnebolu	41.98	33.76	64	Bölge 2
114	İpsala	40.93	26.40	10	Bölge 1
115	İskenderun	36.35	36.10	35	Bölge 4
116	İslahiye	37.03	36.63	518	Bölge 4
117	İspir	40.48	41.00	1222	Bölge 3
118	İzmir	38.43	27.17	25	Bölge 1
119	Kahramanmaraş	37.60	36.93	572	Bölge 4
120	Kaman	39.40	33.78	1075	Bölge 6
121	Kangal	39.23	37.38	1545	Bölge 6
122	Karabük	41.20	32.63	400	Bölge 6
123	Karasalı	37.27	35.07	230	Bölge 4
124	Karaman	37.18	33.22	1025	Bölge 4
125	Karapınar	37.72	33.55	1004	Bölge 5
126	Karataş	36.57	35.38	22	Bölge 4
127	Kars	40.62	43.10	1775	Bölge 3
128	Kartal	40.90	29.16	28	Bölge 2
129	Kaş	36.20	29.65	5	Bölge 4
130	Kastamonu	41.37	33.78	800	Bölge 6
131	Kayseri	38.75	35.48	1093	Bölge 5
132	Keban	38.80	38.75	808	Bölge 3
133	Keleş	39.92	29.07	1063	Bölge 6
134	Kırıkkale	39.85	33.52	747	Bölge 6
135	Kırklareli	41.73	27.23	232	Bölge 1
136	Kırşehir	39.15	34.17	1007	Bölge 5
137	Kızılcahamam	40.47	32.65	1033	Bölge 6
138	Kilis	36.72	37.12	638	Bölge 4
139	Kireçburnu	41.10	29.03	58	Bölge 2
140	Kocaeli	40.77	29.93	76	Bölge 2
141	Konya	37.87	32.48	1031	Bölge 5
142	Korkuteli	37.07	30.20	1014	Bölge 5
143	Kozan	37.45	35.82	11	Bölge 4
144	Köyceğiz	36.97	28.68	24	Bölge 1
145	Kulu	39.10	33.08	1010	Bölge 5
146	Kumköy	41.25	29.04	30	Bölge 2
147	Kuşadası	37.86	27.27	22	Bölge 1
148	Kütahya	39.42	29.97	969	Bölge 6
149	Lüleburgaz	41.40	27.35	46	Bölge 1

Çizelge 3. Devam

	İstasyon adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Bölge yeri
150	Malatya	38.35	38.32	948	Bölge 3
151	Malazgirt	39.15	42.53	1565	Bölge 3
152	Manavgat	36.78	31.43	38	Bölge 4
153	Manisa	38.62	27.43	71	Bölge 1
154	Mardin	37.30	40.73	1050	Bölge 4
155	Marmaris	36.85	28.23	16	Bölge 1
156	Mersin	36.80	34.63	3	Bölge 4
157	Merzifon	40.87	35.47	759	Bölge 6
158	Milas	37.32	27.78	52	Bölge 1
159	Muğla	37.22	28.37	646	Bölge 1
160	Muradiye	38.98	43.77	1706	Bölge 3
161	Muş	38.73	41.52	1284	Bölge 3
162	Mut	36.65	33.43	275	Bölge 4
163	Nallıhan	40.18	31.35	650	Bölge 6
164	Nazilli	37.92	28.32	60	Bölge 1
165	Nevşehir	38.62	34.70	1260	Bölge 5
166	Niğde	37.97	34.68	1211	Bölge 5
167	Nusaybin	37.07	41.22	500	Bölge 4
168	Oltu	40.55	41.98	1322	Bölge 3
169	Ordu	40.98	37.89	4	Bölge 2
170	Ödemiş	38.23	27.97	118	Bölge 1
171	Özalp	38.67	43.98	2100	Bölge 3
172	Palu	38.72	39.97	1000	Bölge 3
173	Pazar	41.18	40.90	79	Bölge 2
174	Pınarbaşı	38.72	36.40	1500	Bölge 3
175	Polatlı	39.58	32.15	886	Bölge 6
176	Rize	41.04	40.50	4	Bölge 2
177	Sakarya	40.78	30.42	31	Bölge 2
178	Salihli	38.48	28.13	111	Bölge 1
179	Samandağ	36.08	35.97	4	Bölge 4
180	Samsun	41.28	36.30	4	Bölge 2
181	Sarıkamuş	40.33	42.57	2102	Bölge 3
182	Sarız	38.48	36.50	1500	Bölge 3
183	Seferihisar	38.21	26.50	21	Bölge 1
184	Selçuk	37.95	27.37	17	Bölge 1
185	Senirkent	38.10	30.55	959	Bölge 5
186	Seydişehir	37.42	31.83	1131	Bölge 5
187	Siirt	37.92	41.95	896	Bölge 4
188	Silifke	36.38	33.93	15	Bölge 4
189	Simav	39.08	28.98	809	Bölge 6
190	Sinop	42.03	35.15	32	Bölge 2
191	Sivas	39.75	37.02	1285	Bölge 6
192	Siverek	37.77	39.32	801	Bölge 4
193	Sivrihisar	39.45	31.53	1070	Bölge 6
194	Solhan	38.97	41.07	1365	Bölge 3
195	Soma	39.18	27.60	200	Bölge 1
196	Sultanhisar	37.90	28.15	73	Bölge 1

Çizelge 3. Devam

	İstasyon adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Bölge yeri
197	Şanlıurfa	40.30	38.42	1300	Bölge 3
198	Şebinkarahisar	40.30	38.42	1300	Bölge 3
199	Şile	41.17	29.60	83	Bölge 2
200	Tatvan	38.48	42.30	1665	Bölge 3
201	Tavşanlı	39.55	29.50	833	Bölge 6
202	Tefenni	37.32	29.77	1142	Bölge 5
203	Tekirdağ	40.98	27.55	4	Bölge 1
204	Tercan	39.78	40.38	1425	Bölge 3
205	Tokat	40.30	36.57	608	Bölge 6
206	Tomarza	38.27	35.48	1347	Bölge 5
207	Tortum	40.30	41.55	1572	Bölge 3
208	Tosya	41.02	34.03	820	Bölge 6
209	Tunceli	39.12	39.55	980	Bölge 3
210	Turhal	40.40	36.08	500	Bölge 6
211	Uluborlu	38.08	30.45	1160	Bölge 5
212	Uludağ-Zirve	40.12	29.02	1877	Bölge 6
213	Ulukışla	37.55	34.48	1453	Bölge 5
214	Uşak	38.68	29.40	919	Bölge 1
215	Uzunköprü	41.27	26.68	52	Bölge 1
216	Ünye	41.13	37.28	20	Bölge 2
217	Ürgüp	38.63	34.58	1060	Bölge 5
218	Van	38.47	43.35	1671	Bölge 3
219	Yalova	40.65	29.27	4	Bölge 2
220	Yalvaç	38.30	31.18	1096	Bölge 5
221	Yatağan	37.35	28.13	365	Bölge 1
222	Yozgat	39.82	34.80	1298	Bölge 6
223	Yumurtalık	36.77	35.79	27	Bölge 4
224	Yunak	38.82	31.73	1120	Bölge 5
225	Yüksekova	37.57	44.28	1900	Bölge 3
226	Zara	39.90	37.75	1348	Bölge 6
227	Zile	40.30	35.88	700	Bölge 6
228	Zonguldak	41.45	31.80	137	Bölge 2

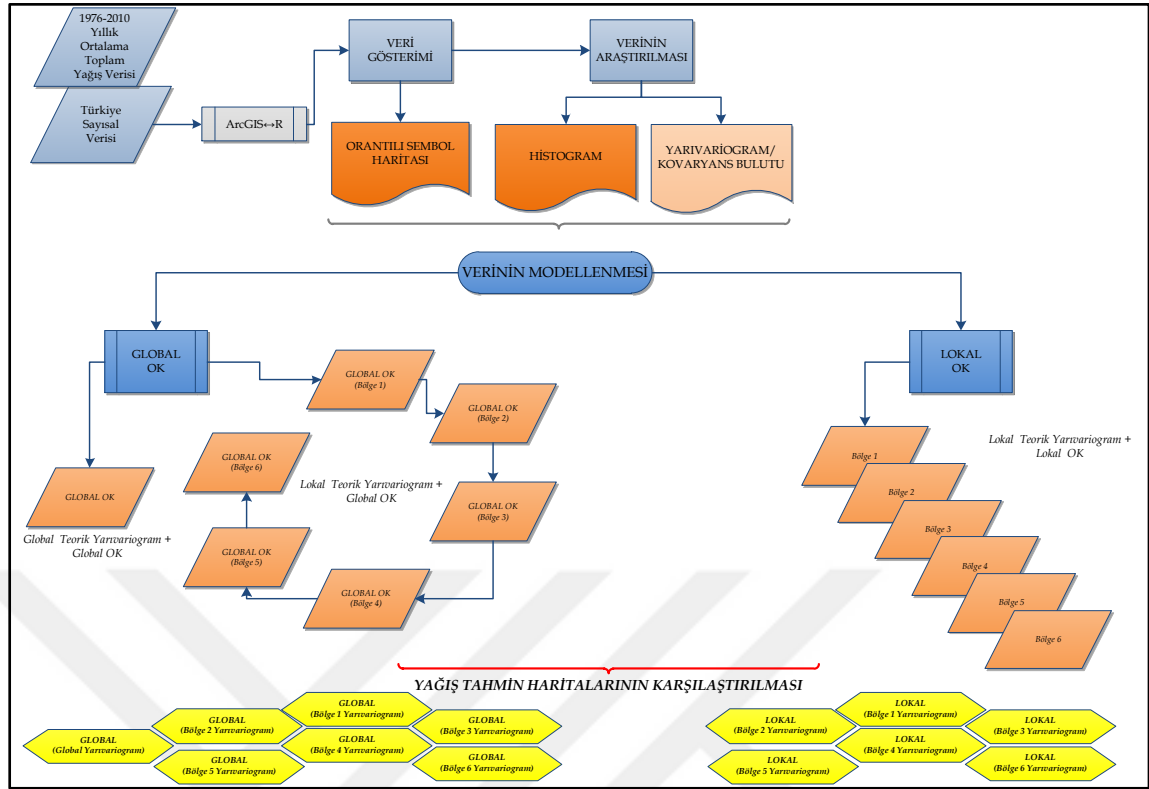
4.3. Çalışmada Kullanılan Programlar

Bu çalışmada veri tabanının oluşturulması ve verinin gösterilmesinde ArcGIS 10.1 (ESRI, Redlands, CA) programı; verinin açıklanması ve jeoistatistik analizlerinde ise, R 3.1.0 (Ihaka ve Gentleman, Auckland, New Zealand) programı ve içindeki gstat, sp, rgdal, maptools, geo-R paketleri kullanılmıştır (Pebesma ve Wesseling, 1998; Pebesma, 2004; Bivand, vd., 2008). Çalışmada R 3.1.0 programının seçilmesinin en temel nedeni, analizin her aşamasının komut satırına yazılıyor olmasıdır. Bu kullanıcıya analizin aşamalarını güvenilir bir şekilde dökümanite etme kolaylığı sağlamaktadır. Birçok kullanıcı R'ı bir istatistik programı olarak düşünmektedir. Aslında R, içinde çeşitli istatistik tekniklerinin uygulanabildiği bir ortamdır. R, internet üzerinden çeşitli paketlerin (gstat, rgdal, sp, spatstat, maptools, geo-R) indirilmesiyle genişletilmekte ve kullanılmaktadır. R, S programlama diline benzer. Ancak, S programlama dilinin farklı bir uygulamasıdır. S programlama dili, istatistiksel araştırma için bir araçken, açık kaynak kodlu R programı bu aktivite içinde kullanıcının da yer almasına olanak sağlayan bir yazılımdır. R programlama dili çok çeşitli istatistiksel (doğrusal ve doğrusal olmayan modelleme, klasik istatistiksel testler, zaman serisi analizi, sınıflandırma, kümeleme, vb. gibi) ve grafiksel tekniklerin kullanılmasına olanak sağlar. Tüm bu işlemler dünya çapında araştırmacıların geliştirdiği kodların paylaşımı ile mümkündür. Bu sebeple, istenildiğinde amaca yönelik olarak programın genişletilebilmesi mümkündür. Bundan kastedilen R kodu yazılarak, R programının fonksiyonları

geliştirilebilmektedir. Bu durum kullanıcıya araştırma amacına yönelik çeşitli işlemlerin yapılmasında sınırsız bir imkân sunmaktadır. Ücretsiz ve özgür yazılımlı bir program olup birçok işletim sistemiyle uyumlu çalışmaktadır (Hengl, 2009:72-73, 90-91).

4.4. Çalışmanın Aşamaları

Şekil 6 çalışmanın akış şemasını göstermektedir. Buna göre, çalışma dört aşamada gerçekleştirilmiştir: (1) mekânsal verinin gösterimi ve araştırılması; (2) mekânsal modelin oluşturulması için mekânda bulunan bağımlılık kuralının bulunması (teorik yarıvariogram); (3) bu bağımlılık kuralına göre çalışma sahası içinde gözlem yapılmamış noktaların tahmin edilmesi (Kriging); (4) yapılan bu tahminler için doğruluk testinin uygulanması ve tahmin yöntemlerinin karşılaştırılmasıdır (Çapraz Geçerlilik).



Şekil 6. Çalışmanın akış diyagramı

4.4.1. Verinin Gösterilmesi ve Araştırılması

Jeoistatistik analizlerin en önemli gerekliliklerden birisi, analiz edilecek verinin gösterilmesidir. Bu amaçla GIS, mekânsal veriler için haritalar oluşturulmasında ve mekânsal paternlerin ve ilişkilerin tespit edilmesinde kolaylıklar sağlayarak, karmaşık coğrafi problemlerin çözümüne yardımcı olmaktadır (Krivoruchko, vd., 2003; Anselin, 2003; Wong ve Lee, 2005). Mekânsal verinin araştırılması, değişkenin iyi anlaşılmasını, oluşturulacak tahmin yüzeylerini etkileyen hataların bulunmasını, nasıl bir dağılım gösterdiği hakkında bilgilerin edinilmesini sağlamaktadır. Coğrafi konumun ve mekânsal etkileşimin önemini vurgulamaktadır. Mekânsal verinin araştırılması işlemi

modelleme tekniklerine geçmeden önce jeoistatistik uygulamalarında gerçekleştirilmesi gereken önemli aşamalarından biridir. Histogram, Normal Q-Q Plot, Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu vb. gibi tanımlayıcı istatistik yöntemlerinin uygulanması ile gerçekleştirilebilmektedir. Normal dağılım gösteren verinin enterpolasyon sonuçları daha iyi çıktılar vermektedir. Eğer çarpık bir durum söz konusu ise, veriye dönüşüm uygulamak gerekmektedir. Dönüşüm, değişkenler arasındaki ilişkiyi değiştirmeden, değişkenler arasındaki farklılıkları yani, ölçme birimini değiştirerek gerçekleşen bir uygulamadır. İşlem, analiz edilecek verinin tümüne uygulandığı için, verinin değerinde bir değişiklik olmamaktadır.

4.4.2. Yarıvariogram

Çevresel değişkenlerin tanımladığı noktalar arasındaki uzaklık ile bu noktalardaki gözlenen değerler arasındaki olası ilişki, uzaklık azaldıkça değerlerin birbirine benzemesi, arttıkça benzerliğin azalması şeklinde beklenir. Jeostatistikte, değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri yarıvariogram ile ortaya konur. Yarıvariogram, birbirleri arasındaki uzaklığı h olan iki rastgele değişken arasındaki uzaklığa bağlı ilişkiyi karakterize etmek için kullanılır (Bivand, vd., 2008:195).

$2\gamma(h) = Var(Z(X) - Z(X + h))$ olarak tanımlanan yarıvariogram, rastgele değişkenlerin arasındaki farkın varyansı olarak ifade edilir (Bivand, vd., 2008:196).

$$2\gamma(h) = Var(Z(X) - Z(X + h))$$

$$= E[Z(X) - Z(X + h)]^2 - \{E[Z(X) - Z(X + h)]\}^2$$

$$= E[Z(X) - Z(X + h)]^2 - \{E[Z(X)] - E[Z(X + h)]\}^2$$

olarak yazılabilir (Bailey ve Gatrell, 1995; Hengl, 2009). İkinci dereceden durağanlık varsayımına göre, $Z(X)$ ve $Z(X + h)$ rastgele değişkenlerinin beklenen değerleri eşit olduğundan yarıvariogram beklenen değer cinsinden,

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E(Z(X) - Z(X + h))^2$$

olur (Bivand, vd., 2008:196).

Yarıvariogram modelinin üç özelliği vardır. Birincisi, yarıvariogramın $h = 0$ uzaklığındaki değeri sifıra eşit olur ($2\gamma(0) = 0$). İkincisi, yarıvariogram negatif değerler alamaz ($2\gamma(h) \geq 0$, $\forall h$ için). Son olarak yarıvariogram simetriktir ($2\gamma(h) = 2\gamma(-h)$, $\forall h$).

Örnek sayısı artıkça, $X + h$ uzaklığı ve $\gamma(h)$ değerinin grafik üzerinde gösterimi ve yorumu güçleşmektedir. Bu nedenle, uygulamada uygun adım mesafeleri belirlenerek deneysel yarıvariogramın oluşturulması yoluna gidilir.

4.4.3. Deneysel ve Teorik Yarıvariogram

Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu'nun yarıvaryans değerlerinin belirli adım mesafesine (lag distance) ayrılıp, o mesafeye düşen yarıvaryans değerlerinin ortalamasının alınmasıyla “deneysel yarıvariogram” elde edilir (Şekil 7). Yarıvariogramın örneklemden elde edilen tahmini,

$$\hat{\gamma}(\tilde{h}_j) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} (Z(X_i) - Z(X_i + h))^2$$

eşitliği ile hesaplanır (Bivand, vd., 2008:196). Bu eşitlikte $N(h)$ birbirleri arasındaki uzaklık mesafesi h olan örnek çifti sayısını, $Z(X_i)$ ve $Z(X_i + h)$ ise değişkenlerin X_i ve $X_i + h$ noktalarında almış oldukları değerleri göstermektedir (Isaaks ve Srivastava, 1989; Bailey ve Gatrell, 1995; Bivand, vd., 2008; Hengl, 2009). Her bir h uzaklığına karşı yarıvariogram değerleri elde edildikten sonra grafiğe geçirilmektedir. Uzaklığın belirlenmesi, veri setindeki en uzak iki nokta arasındaki mesafenin yarısının sınıf sayısı ile adım mesafesi çarpımına eşit olacak şekilde hesap edilmesidir.

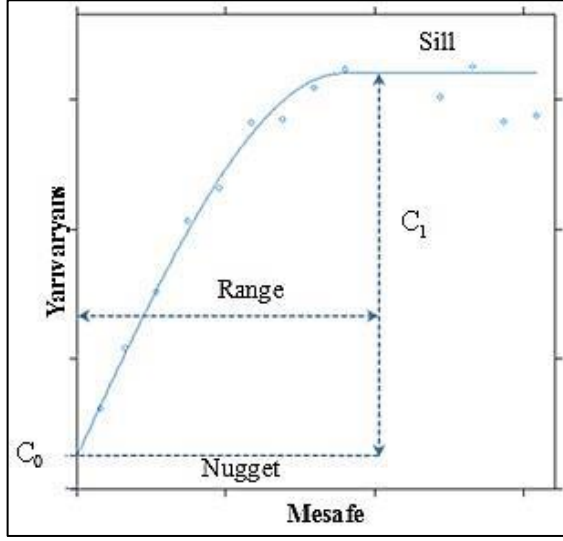
Deneysel yarıvariogram ile çevresel değişkenin mekânsal değişimi hakkında önemli bilgiler elde edilebilir. Ancak, bunlar tahmin analizlerinde doğrudan kullanılamaz. Bundan dolayı, tahmin sürecinde ikinci tip yarıvariogram gerekmektedir. Deneysel yarıvariogram belirli uzaklıklar için hesaplanmakta ve bu uzaklıklar dışındaki uzaklıklarda yarıvariogram değerleri bilinmemektedir. Mekânsal değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde ve

örneklenmemiş noktalardaki değerlerinin kestiriminde yarıvariogramı bütün uzaklıklarda bilmek gerekmektedir. Bu durum yarıvariogramı modellemeyi yani “*teorik yarıvariogram*” değerlerine bir fonksiyon uyarlamayı gerektirir (Isaaks ve Srivastava, 1989; Bailey ve Gatrell, 1995; Bivand, vd., 2008; Hengl, 2009). Teorik yarıvariogramın belirlenmesi, mekânsal modelin oluşturulması için mekânda bulunan bağımlılık kuralının bulunması anlamına gelmektedir. Teorik yarıvariogram modeli jeostatistik çalışmalarının en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Bu yarıvariogram matematik modeli temel alır ve deneysel yarıvariograma oturtularak (fit edilerek) elde edilir (Şekil 7). Kısaca, gözlem değerlerinden yararlanılarak oluşturulan yarıvariograma deneysel yarıvariogram, deneysel yarıvariograma matematiksel bir fonksiyon oturtularak elde edilen yarıvariogram modeline de teorik yarıvariogram denir (Bailey ve Gatrell, 1995; Hengl, 2009; Fotheringham, vd., 2000; Kalkhan, 2011; Chun ve Griffith, 2013). Bir yarıvariogram grafiği “*eşik değer veya tepe varyans (sill), etki uzaklığı (range), kontrolsüz etki (nugget)*” parametreleri ile tanımlanmaktadır (Şekil 7).

Eşik değer (Sill): Yarıvariogramda örnekler arasındaki adım mesafesi arttıkça, yarıvariogram değerleri de artar. Sonunda yarıvariogramın maksimum değerlerine ulaştığı değer yarıvariogramın “*tepe varyans, $c_0 + c_1$* ” değerini vermektedir ve gözlem noktaları bu değer etrafında değişim gösterir (Bailey ve Gatrell, 1995; Hengl, 2009; Fotheringham, vd., 2000; Kalkhan, 2011; Chun ve Griffith, 2013).

Etki uzaklığı (Range): Yarıvariogramın eşik değerine ulaştığı mesafe ise, “*etki uzaklığı, R* ” olarak bilinmektedir. Etki uzaklığından büyük uzaklıklarda değişkenler birbirleriyle ilişkisizdirler. Yarıvariogram değerleri bu mesafeden sonra sabit kalır. Diğer bir ifadeyle, gözlem arası uzaklık $h > R$ olduğu durumda korelasyon sıfırdır (Bailey ve Gatrell, 1995; Hengl, 2009; Fotheringham, vd., 2000; Kalkhan, 2011; Chun ve Griffith, 2013).

Kontrolsüz etki (Nugget): Örnekler arası mesafe sıfır değerine sahip olduğunda yarıvariogram sifıra eşit olmaktadır. Veride mesafe ile meydana gelen değişim sınır bir uzaklık ile belirlenebilir. Bu sınır uzaklık, bütün gözlem noktaları içinde birbirine en yakın bulunan iki gözlem noktası arasındaki uzaklığı ifade etmektedir. Bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda, gözlem noktalarının değerleri arasındaki farkın değişimi veri olmadığından dolayı belirlenmemektedir. Bu durum yarıvariogramın orijininde bir süreksizliğe (sıfırdan farklı pozitif bir değer almasına) neden olmaktadır. Orijindeki süreksizliğin örnekleme ve analiz hatalarından kaynaklanan bir nedeni daha bulunmaktadır. Aynı bir gözlem noktasından iki ölçüm değeri alınırsa, bu örneklerin değerleri arasında, örnekleme ve analiz hatalarından dolayı bir fark oluşmaktadır. Süreksizliğe neden olan bu iki etmeni birbirinden ayırt etmek mümkün değildir. Teorik olarak $h = 0$ olduğunda sıfır olması gereken yarıvariogramın, bu nedenlerden dolayı aldığı sıfırdan farklı pozitif değer “*kontROLSÜZ etki, c_0* ” olarak adlandırılmaktadır (Bailey ve Gatrell, 1995; Hengl, 2009; Fotheringham, vd., 2000; Kalkhan, 2011; Chun ve Griffith, 2013).

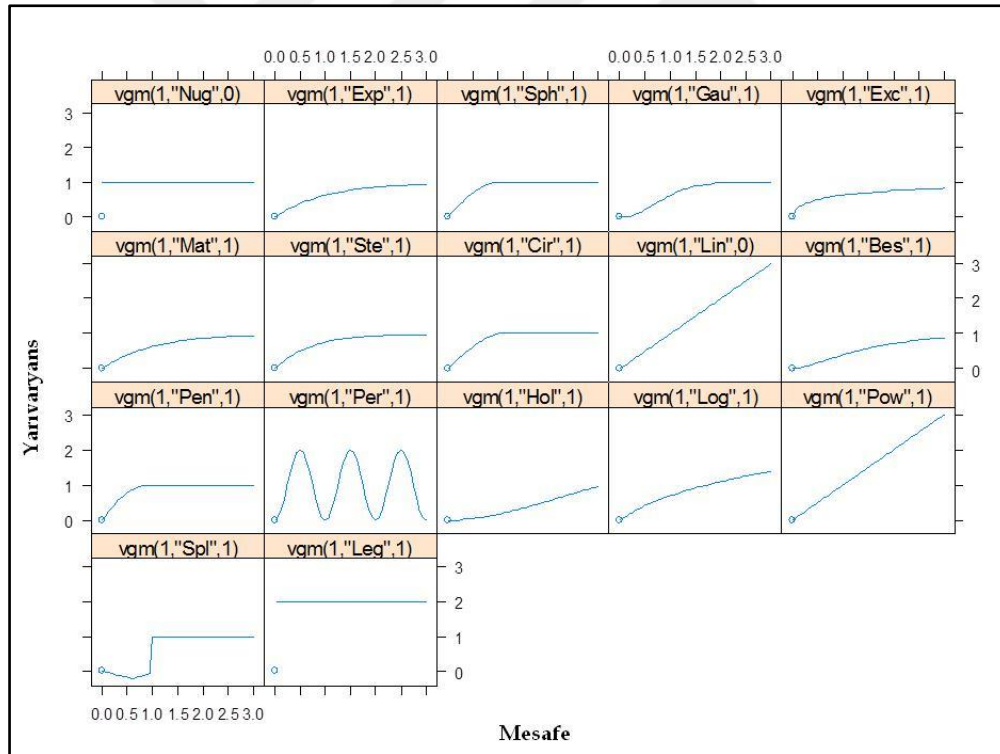


Şekil 7. Deneyisel ve teorik yarıvariogram modeli

Not: Grafik R 3.1.0 programında çizilerek elde edildi. Grafikte R , gözlemlerin birbirinden bağımsız olduğu kabul edilen, etki uzaklığı; c_0 , kontrolsüz etki (nugget); $c_0 + c_1$, eşik değeri veya tepe varyansı (sill); c_1 , yapısal veya stokastik varyansı (partial sill) ifade etmektedir.

Jeoistatistikte, Exponential, Spherical, Gaussian, Circular, Linear yaygın olarak kullanılan teorik yarıvariogram modelleridir (Isaaks ve Srivastava, 1989). Diğer mevcut modeller arasında Nugget, Exclass (Exponential Class), Mátern, Mátern, M.Stein's Parameterrisation, Bessel, Pentaspherical, Periodic, Hole, Logarithmic, Power, Spline, Legendre gibi modeller sayılabilmektedir (Bivand, vd., 2008). Bu modellere ait grafikler Şekil 8 gösterilmiştir. Uzaklığa bağlı ilişkinin yöne göre değişmediği yarıvariogramlar izotropik olarak tanımlanır. Mekânsal değişkenin yapısının yöne bağlı olarak değiştiği örnekler ise anizotropiktir. Anizotropi yönleri ve anizotropinin derecesi, teorik yarıvariogramın çeşitli yönlerde hesaplanmasıyla belirlenir. Teorik yarıvariogramları dört ana yönde hesaplamak yeterlidir. Bu yarıvariogramlarda etki uzaklık, yönün bir fonksiyonu olarak değişiyorsa incelenen değişkenin

geometrik anizotrop olduğu, etki uzaklık aynı olup eşik değerleri değişiyorsa yarivariogram zonal anizotropik olarak adlandırılır. Yarivariogram hesaplamalarının doğruluğu mevcut olan gözlem noktalarının sayısı ile orantılıdır. Hohn (1999) ve Olea (1994) uygun bir yarivariogram tahmini yapmak için üç kuraldan bahsetmiştir: i) yarivariogramın her bir hesaplanan değeri için örnek çiftlerinin sayısı 30'dan büyük olmalıdır; ii) yarivariogramın ilgilenilen kısmı, genellikle göreceli olarak küçük mesafelerde artış, üç ya da dört değerle gösterilmelidir; iii) maksimum adım mesafesinin sınıf sayısı ile çarpımı, çalışma sahasındaki en uzun mesafenin yarısına eşit olmalıdır.



Şekil 8. Teorik yarivariogram modellerine ait grafiklerin gösterimi

Not: Grafik R 3.1.0 programında çizilerek elde edildi. Grafikte yarivariogram, vgm ve yarivariogram modellerinden Nugget, (Nug); Exponential, (Exp); Spherical, (Sph); Gaussian, (Gau); Exclass (Exponential Class), (Exc); Mátern, (Mát); Mátern, M.Stein's Parameterrisation, (Ste); Circular, (Cir); Linear, (Lin); Bessel, (Bes); Pentaspherical, (Pen); Periodic, (Per); Hole, (Hol); Logarithmic, (Log); Power, (Pow); Spline, (Spl); Legendre, (Leg) olarak kısaltılarak gösterilmiştir.

Yarıvariogram modellerinden en yaygın kullanılan Exponential model,

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right)\right] h \geq 0$$

şeklinde verilir. Bu model için çizilen yarıvariogram bir etki uzaklığına sahip değildir, fakat eğri asimtotik olarak eşik değerine ulaşır (Şekil 8).

Spherical model,

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \begin{cases} 1.5 \cdot \frac{h}{a} - 0.5 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^3 & \text{eğer } h \leq a \\ C_0 + C_1 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

ifade edilir. Bu tip modellerde yarıvariogram artan h uzaklığı ile düzenli olarak artar ve etki uzaklığına gelindiğinde belirli bir eşik değerinde sabit kalmaktadır (Şekil 8).

Gaussian model,

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-3h^2}{a^2}\right)\right] h \geq 0$$

şeklinde verilir. Modelde yarıvariogram kısa uzaklıklar için parabolik davranış gösterirken, uzaklık arttıkça eşik değere asimtotik olarak yaklaşır (Şekil 8).

Circular model,

$$\frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \left(\frac{h}{a}\right)^2} + \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{h}{a} \quad 0 \leq h \leq a$$

olarak ifade edilir.

Linear model ise,

$$h \geq 0$$

biçiminde verilmektedir (Isaaks ve Srivastava, 1989).

Çalışmada yukarıda denklemleri verilen Spherical, Exponential yarıvariogram modellerinin dışında Mátern, Hole ve birden fazla yarıvariogram modellerinin kullanıldığı Nested modeller de kullanılmıştır.

Mátern model,

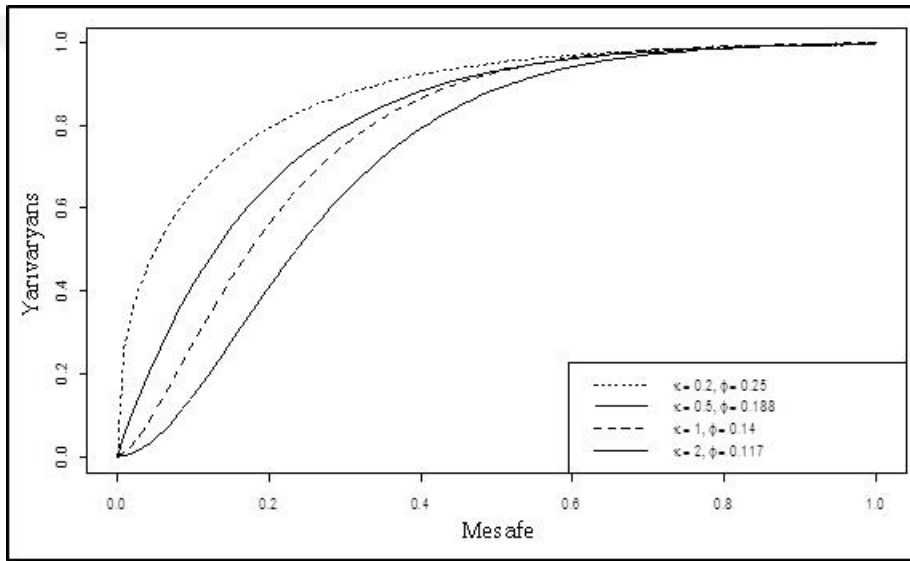
Mátern model adını, İsveçli istatistikçi Bertil Mátern'den almaktadır. Bu model, mekânsal kovaryansın modellenmesinde oldukça fazla bir esnekliğe ve birçok lokal süreci modelleyebilme yeteneğine sahiptir. Bu yöntem, lokal variogramların otomatik olarak modellenmesinde oldukça kullanışlıdır (Haas, 1990a; Walter, vd., 2001).

Mátern, isotropik kovaryans fonksiyonudur. Rastgele bir alanın düzgünlüğünün şekil parametresiyle kontrol edildiği Mátern yarıvariogramı şu şekilde ifade edilir (Handcock ve Stein, 1993; Stein, 1999),

$$\gamma(\mathbf{h}) = \sigma^2 \left\{ 1 - \frac{2^{1-v}}{\Gamma(v)} \left(\frac{|\mathbf{h}|}{\alpha} \right)^v K_v \left(\frac{|\mathbf{h}|}{\alpha} \right) \right\}$$

$\sigma^2 > 0$, varyansı, $\alpha > 0$ etki uzaklığı parametresini, $v > 0$ ise, şekil parametresini, $\Gamma(.)$ gamma fonksiyonunu, $K_v(.)$ modifiye Bessel fonksiyonunu, v ve $|\mathbf{h}|$ ise $\mathbf{h}$ vektörünün normunu ifade eder. $v = 0.5$ olduğu durumda Mátern

model, Exponential model olur ve ν değeri sonsuza yaklaştığında model Gaussian modeli olur (Şekil 9). Mátern modeli hidroloji, toprak bilimi, topografya ve jeofizik gibi birçok alanda uygulanmıştır. Spherical model gibi belli bir eşik değerine ulaşır. Şekil 9 örnek Mátern modellerini göstermektedir. Modele kontrolsüz etki değeri de eklenebilir.



Şekil 1. Mátern teorik yarıvariogram modellerine ait grafiklerin gösterimi

Not: Grafik R 3.1.0 programında çizilerek elde edildi. Farklı şekil parametreleri ile oluşturulan Mátern yarıvariogramları karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

Hole model,

$$\gamma(h) = A \left[1 - \left(1 - \frac{h}{B} \right) e^{-h/B} \right]$$

şeklinde ifade edilir.

Nested (Hole&Mátern) model ise, deneysel bir yarıvariograma tek teorik modelin tam olarak oturtulamadığı durumlarda birden fazla teorik modellerin ard arda kullanılmasıyla oluşan teorik yarıvariogramların genel adıdır. Böylece deneysel yarıvariogramı açıklayan daha iyi bir teorik yarıvariogram modeli elde edilmiş olur. Bu modeller oluşturulurken, verideki kontrolsüz etki tüm Nested yapıya dâhil edilebilmektedir. Tesadüfi alanlardaki toplam yarıvariogramlar, Nested yapıdaki her bir ölçeğin yarıvariogramların toplamıyla gösterilebilmektedir.

4.4.4. Fit Method (Oturtma Metod)

Kriging analizlerinde en doğru tahminleri oluşturabilmek için teorik yarıvariogramların oluşturulmasında farklı Oturtma Method tekniklerinden faydalanılmaktadır. “Gözle Oturtma (Eye Fit)” yönteminde deneysel yarıvariograma en iyi şekilde oturtulacak teorik yarıvariogramın nereden geçeceği kullanıcı tarafından model ve/veya model parametreleri değiştirilerek belirlenir.

Eye Fit dışındaki yöntemler, katsayıları oturtmak için doğrusal olmayan regresyonu kullanmaktadır. Bu işlem için hata karelerinin toplam ağırlığı $\sum_{j=1}^p W_j (\gamma(h) - \hat{\gamma}(h))^2$ ile parametrik modelden elde edilen $\lambda(h)$ değeri küçükleştirilir (Bivand, vd., 2008:203). Optimizasyon süreci uyum sağlanana kadar iki adımda devam ettirilir: (1) yapısal varyans üzerine doğrudan oturtma

işlemi; (2) yapısal varyansın son oturtmasında elde edilen etki uzaklığı parametrelerin doğrusal olmayan optimizasyonu (Bivand, vd., 2008:203). R 3.1.0 programında W_j ağırlığı için yedi farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden “Fit Method 3” ve “Fit Method 4” gstat paketinde çalışmadığı için uygulanmamıştır. Çalışmada kullanılan diğer yöntemlere ait bilgiler Çizelge 4’de verilmiştir. h_j adım mesafesini, N_j , örnek sayısını, γ ise, yarıvaryans değerlerini ifade etmektedir. Gstat paketinde yaygın olarak kullanılan “Fit Method 7” yöntemidir. Diğer yöntemlerden “Fit Method 2” için ağırlıklar her tekrarlama da değişmektedir. Kontrolsüz etki olmadan doğrusal yarıvariogram durumlarında Fit Method 7, Fit Method 2’ye eşittir (Bivand, vd., 2008:204).

Çizelge 4. R 3.1.0 programının gstat paketinde yer alan Fit Method yöntemleri

Fit Method	Uygulandığı yer	Ağırlık
0	-	-
1	gstat	N_j
2	gstat	$N_j / \{\gamma(h_j)\}^2$
6	gstat	Ağırlık yok (OLS)
7	gstat	N_j / h_j^2

Kaynak: Bivand, vd., 2008:203

4.4.5. Kriging Tekniği

Deneysel yarıvariogram yapısına en uygun teorik yarıvariogram modeli seçilerek, alanı temsil eden ortalama yarıvariogram modeli fonksiyonel olarak belirlenmiş olur. Belirlenen bağımlılık kuralından sonra, çalışma sahası içinde gözlem yapılmamış noktaların değerleri tahmin edilebilir. Bu amaç için kullanılan Kriging, ölçümü yapılmış lokasyonlardan, ölçüm yapılmamış olan

lokasyonlardaki değişkenlerin değerini tahmin etmek için kullanılan tekniklerin genel ismi olarak ifade edilmektedir. Genel olarak tahmin işlemi, bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması ile yapılmaktadır. Temel eşitlik,

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

biçiminde gösterilir. Bu eşitlikte $\hat{Z}(X_0)$, X_0 noktasına ilişkin Kriging değerini; $Z(X_i)$ değişkenlerin her bir X_i noktasında gözlenen değerleri; W_i , her bir $Z(X_i)$ 'ye karşılık gelen değerlerini; N ise, $\hat{Z}(X_0)$ 'ın Kriging tahmininde kullanılacak nokta sayısını ifade etmektedir. Son yıllarda, Kriging tekniği jeostatistik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Caruso ve Quarta, 1998; Kalkhan, 2011). En küçük hata kareler ortalaması yöntemine dayanan Kriging yöntemi en iyi doğrusal yansız tahmin edici olarak bilinmektedir. Kriging yöntemi ile belirlenen ağırlıklar yarivariograma ve verinin mekânsal konumuna bağlı olup, Kriging hatalarının ortalaması sıfır ve varyansı en küçük olacak şekilde hesaplanır. Tahmin hatalarının ortalamasının sıfır olması koşuluna göre,

$$E[Z(X_0) - \hat{Z}(X_0)] = 0$$

dır. Buradan,

$$E[Z(X_0) - \hat{Z}(X_0)] = E\left[Z\left(X_0 - \sum_{i=1}^N W_i Z(X_i)\right)\right] = E[Z(X_0)] - \sum_{i=1}^N W_i E[Z(X_i)] = 0$$

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

$$\mu = \sum_{i=1}^N W_i \mu$$

$$\sum_{i=1}^N W_i = 1$$

elde edilir. Bu eşitlik yansızlık koşulu olarak bilinir.

Hata varyansı,

$$Var \left[Z \left(X_0 - \hat{Z}(X_0) \right) \right] = E \left[Z \left(X_0 - \hat{Z}(X_0) \right) \right]^2$$

olmak üzere, hata varyansının en küçük olması koşuluna göre yansızlık koşulu altında,

$$\begin{aligned} E \left[Z(X_0) - \sum_{i=1}^N W_i Z(X_i) \right]^2 \\ = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_i W_j \frac{1}{2} E[Z(X_i) - Z(X_j)]^2 + 2 \sum_{j=1}^N W_j \frac{1}{2} E[Z(X_0) - Z(X_j)]^2 \end{aligned}$$

eşitliği elde edilir. Burada $E[Z(X_0)] = E[\hat{Z}(X_0)]$ 'dir.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E(Z(X) - Z(X+h))^2$$

eşitliği göz önüne alınırsa,

$$E \left[Z(X_0) - \sum_{i=1}^N W_i Z(X_i) \right]^2 = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_i W_j \gamma(X_i - X_j) + 2 \sum_{j=1}^N W_j \gamma(X_0 - X_j)$$

elde edilir. Bu eşitliğin,

$$\sum_{i=1}^N W_i = 1$$

koşulu altında küçüklenmesi bir optimizasyon problemi olarak değerlendirilir.

Bu problem Lagrange çarpanları yönteminin kullanılmasıyla çözülür. Bu durumda $(N + 1)$ bilinmeyen ve $(N + 1)$ denklemden oluşan Kriging denklem sistemi elde edilir. Bu sistem,

$$\sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_i - X_j) + \lambda = \gamma(X_0 - X_j), \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^N W_i = 1$$

biçimindedir. Eşitlikte, λ Langrange çarpanıdır. $\gamma(X_i - X_j) = \gamma_{ji}$, X_i ile X_j noktaları arasındaki uzaklığa bağlı yarıvariogram değeri olmak üzere, denklem sistemi daha açık bir biçimde,

$$\begin{array}{ccccccc} W_1 \gamma_{11} + & W_2 \gamma_{12} + & \cdots + & W_n \gamma_{1N} & \lambda & \gamma_{10} \\ W_1 \gamma_{21} + & W_2 \gamma_{22} + & \cdots + & W_n \gamma_{2N} & \lambda & \gamma_{20} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ W_1 \gamma_{N1} & W_2 \gamma_{N2} & \cdots & W_n \gamma_{NN} & \lambda & \gamma_{N0} \\ W_1 & W_2 & \cdots & W_n & = & 1 \end{array}$$

olarak yazılır.

$$\gamma = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1N} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2N} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{N1} & \gamma_{N2} & \cdots & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{W} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_N \\ \lambda \end{bmatrix} \text{ ve } \gamma_0 = \begin{bmatrix} \gamma_{10} \\ \gamma_{20} \\ \vdots \\ \gamma_{N0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

olmak üzere denklem sistemi matris formunda,

$\gamma W = \gamma_0$ eşitliğindeki gibi yazılabilir. Bu sistemde bilinmeyen W vektörü, $\hat{W} = \gamma^{-1}\gamma_0$ eşitliğinden tahmin edilir.

Ağırlıklar belirlendikten sonra çalışma alanındaki değeri bilinmeyen herhangi bir nokta için tahmin değeri,

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

eşitliğinden belirlenir. Herhangi bir X_0 noktasında tahmin değerine ulaşmak için kullanılan nokta sayısı, hesaplanacak ağırlıkların sayısını etkilemektedir. Her bir nokta için bir ağırlık hesaplanmaktadır. Bu durum Kriging algoritmasında her bir yeni nokta için ağırlık hesabının tekrarlı olarak bulunması anlamına gelir (Isaaks ve Srivastava, 1989). Tahmin ile elde edilen hatanın varyansı Kriging varyansı olarak adlandırılır ve Kriging varyansı,

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

ile ifade edilir. Kriging varyansı, verilerin gerçek değerlerine bağlı değildir, veri sayısının ve verilerin konumları arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur. Bu nedenle Kriging varyansı verilerin gerçek değerlerinin elde edilmesinden önce olası noktaları test edip, bu noktalar arasında optimum olanları belirlemek amacıyla da kullanılabilir.

Kriging analizi tahminlerinde verinin normal dağılım göstermesi için genellikle logaritmik dönüşüm yapmak gerekmektedir. Bu şekilde dönüşümü yapılmış veri seti ile yapılan OK'ya Lognormal Kriging de denir. Bu yöntemde deneysel ve teorik yarıvariogramlar dönüşüm yapılmış değerlerden hesaplanır ve dönüşüm yapılmış değişkenin tahminleri elde edilir. İşlem sonunda elde edilen tahminlere yansız geri dönüşüm fonksiyonu uygulanarak orijinal tahmin ve varyans değerleri elde edilir.

Kriging yöntemlerinin çalışma alanı ve verilerin yapısına göre uygun kullanılan OK, SK, UK, BK, IK, Co-kriging gibi farklı türleri mevcuttur. OK bunlardan en yaygın kullanılanıdır.

4.4.6. Ordinary Kriging

OK yönteminde bilinmeyen değerlerin tahmini, değişkenlerin durağan ve ortalamasının sabit olduğu varsayımına göre gerçekleştirilir. Tahmin ağırlıkları yarıvariogram modellerine dayanır. Bu yöntem yansızdır. Çünkü tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ortalama farkın sıfıra eşit olmasını amaçlar. Aynı zamanda tahmin hatalarının varyansını en düşük seviyede tutmaya çalışarak işlemi gerçekleştirir ve sonuçta en iyi tahmini oluşturur. OK yönteminin özellikleri aşağıda verilmiştir.

- OK, yansız tahminler oluşturur. Yansız olduğundan emin olmak için Kriging ağırlıkları toplamı 1'dir.

- OK, tahmin hata varyansının minimum seviyede olmasını sağlar.
- OK ağırlıkları, gözlem noktasından tahmin edilecek olan noktaya olan mesafeyi (ne kadar uzaksa, o kadar az ağırlık vererek) ve gözlem noktalarının kümelenmesini (kümelenmiş gözlem noktaları için daha az ağırlık vererek) dikkate alır.
- OK, tam bir enterpolasyon yapar. Gözlem noktasındaki tahmin ile o noktadaki veri değeri birbirinin aynısıdır. Gözlem noktalarında belirsizlik yoktur.
- OK, Kriging ağırlıkları 0 veya 1'den daha büyük değerden daha küçük olduğundan (ağırlıkların toplamı yine de 1'dir), en küçük veya en büyük gözlem değerinden daha küçük veya büyük tahminler verir.
- Mekânsal korelasyonun anisotropik paternleri, yönlü yarıvariogramlar kullanılarak hesaba alınır.
- OK tahminlerinin doğruluğu, büyük oranda yarıvariogram modelinin deneysel yarıvariogramı ne kadar iyi açıkladığına bağlıdır. Kriging'in esas olarak en yakın gözlem noktasını kullanmasından dolayı, orijinin yakınındaki yarıvariogramın şekli özellikle önemlidir. Örneğin, artan bir kontrolsüz etki Kriging tahminlerini daha çok gözlem verilerinin basit bir ortalaması haline getirebilir.
- OK'nın yumuşatma etkisi vardır. Bu etki birçok gözlem verisinin bir tahmin yapmak için bir araya gelmesinin sonucudur ve böylece tahmin değerlerinin varyasyonunu azaltır. Bu özellik sadece Kriging değil, diğer enterpolasyon yöntemleri için de geçerlidir.

- OK, negatif Kriging ağırlıklarının oluşmasıyla sonuçlanarak, negatif Kriging tahminlerine yol açabilir. Ancak, birçok yer bilimi uygulamalarında ilgili değişken pozitifdir. Bu durumda negatif Kriging tahminleri bu gibi değişkenler için sıfır olarak belirlenmelidir.

4.4.7. Çapraz Geçerlilik (Cross Validation)

Yarıvariogram model parametrelerin tahmin edilmesine yönelik sık kullanılan yöntemlerden biri Çapraz Geçerlilik tekniğidir. Çapraz Geçerlilik tekniği, örnek veri setindeki mevcut bilgileri kullanarak, tahmin edilen ve gerçek değerleri (istasyon ölçüm değerleri) arasındaki ilişkiyi inceler (Isaaks and Srivastava, 1989). Teknikte, bir lokasyondaki değer, veri setinden geçici olarak çıkarılır ve geriye kalan diğer değerler kullanılarak çıkartılan bu lokasyon için tahmin yapılır (One Leave Out). Bu işlem aynı şekilde geride kalan tüm örnekler için tekrarlanır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Böylece, gözlemlenen değerler Kriging yöntemiyle tahmin edilir ve aradaki fark hata değeri (residual) olarak kaydedilir. Tahmin haritalarının değerlendirilmesinde çeşitli hata ölçüm yöntemlerinden yararlanılmaktadır. ME, MAE, RMSE ve R^2 bu ölçümlerden bazılarıdır.

ME eşitliği,

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{Z}(X_i) - Z(X_i)]$$

MAE eşitliği,

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\hat{Z}(X_i) - Z(X_i)|$$

RMSE eşitliği,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{Z}(X_i) - Z(X_i))^2}$$

R² ise,

$$r_{xy}^2 = 1 - \frac{\sigma_{y|x}^2}{\sigma_y^2} \text{ olup burada,}$$

$$\sigma_{y|x}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

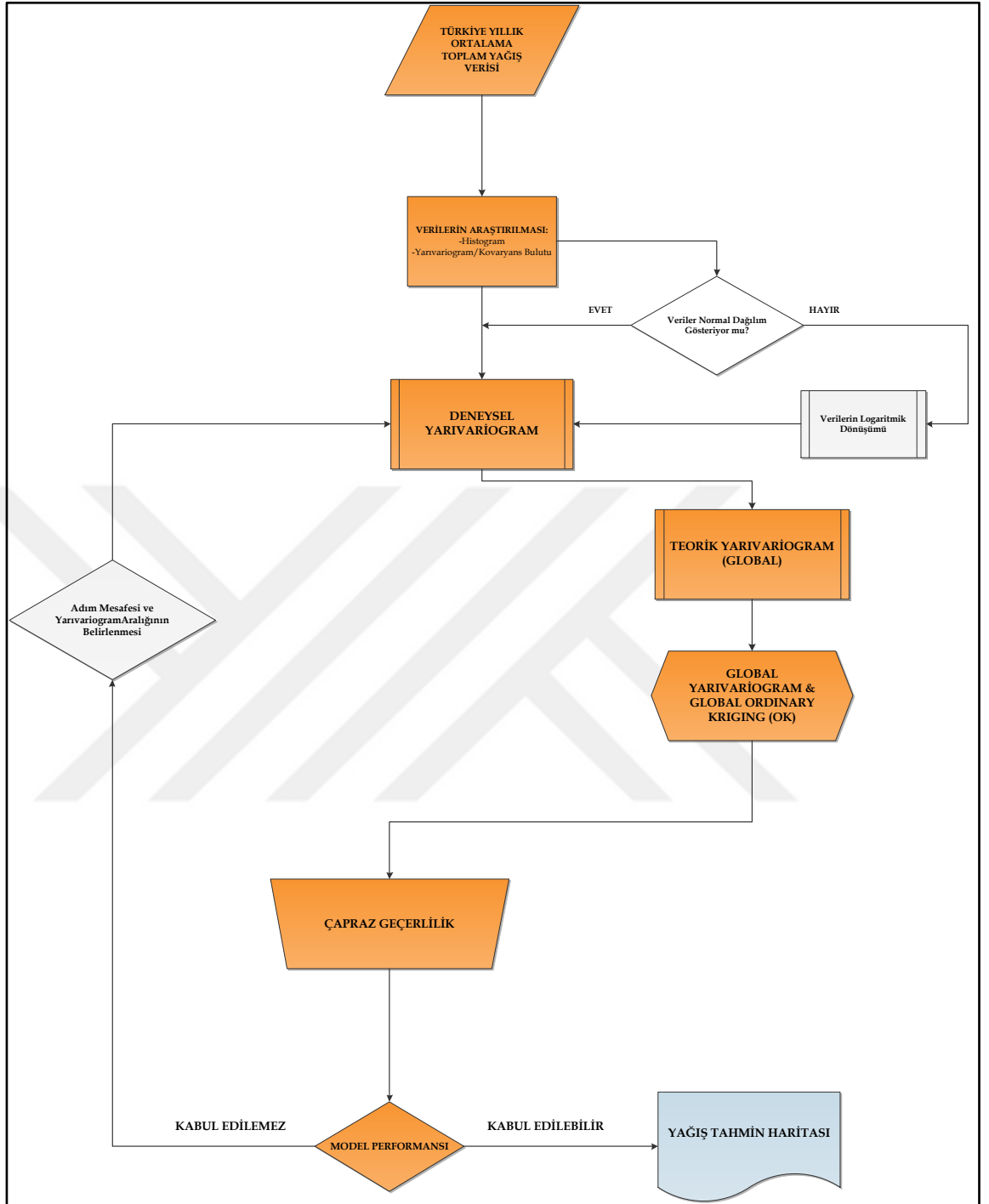
dır. $\hat{Z}(X_i)$ tahmin edilen değeri, $Z(X_i)$ gözlemlenmiş değerleri ifade etmektedir.

$\sigma_{y|x}^2$ terimi x_i 'nin y_i 'ye arasındaki ilişkinin bir $y = a + bx$ doğrusu ile ifade edilmesinin kestirimi sırasında ortaya çıkan hata karelerinin toplamıdır. σ_y^2 ise, y için varyansdır. ME, hatanın yanlışlık derecesini belirlemek için

kullanılmaktadır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Negatif ME değerleri, tahmin edilen değerlerin, gözlemlenen değerlerin aşağısında tahmin yaptığını ifade etmektedir. RMSE, hatanın büyüklüğünü belirtir; ancak büyük hatalara daha çok ağırlık vereceğinden uç değerlere karşı hassastır (Hernandez-Stefanoni ve Ponce-Hernandez, 2006). MAE, uç değerlerden RMSE gibi etkilenmez (Willmont, 1982; Vicente-Serrano, vd., 2003). MAE ve RMSE benzer ölçümler sağlar ve ortalama hata tahminini vermektedir. R^2 , gözlem verisiyle tahmin değerleri arasındaki korelasyonu ifade eder ve genellikle Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısının karesi ile ifade edilmektedir. R^2 0 ile 1 aralığında değişir. R^2 , doğrusal ilişkinin gücünü göstermektedir.

Sonuçlara göre modelde iyileştirme yapılması gerekiyorsa, deneysel yarıvariogram basamağına geri dönülerek etki uzaklığı, çift sayısı, adım mesafesi gibi değerler değiştirilerek işlemler tekrarlanmaktadır (Şekil 10).

OK işlemi, gözlem noktalarından deneysel yarıvariogramın hesaplanması, deneysel yarıvariograma bir yarıvariogram modelinin oturtulması ve daha sonra Kriging ağırlıkları ve Lagrange parametrelerinin hesaplanması ile gerçekleştirilmektedir. OK işleminin sonucunda OK tahmin değerleri ve OK varyans değerlerini gösteren haritalar çıkmaktadır.



Şekil 10. Model optimizasyonunun şematik olarak gösterimi

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Birincisi, yıllık ortalama toplam yağışın mekânsal gösterimi ve açıklanmasıdır. Bu aşamada global ve lokal olarak yıllık ortalama toplam yağışın mekânsal gösterimi ve açıklanması sağlanmış ve tartışılmıştır. İkinci aşamada mekândaki bağımlılık kuralının bulunmasıdır. Global ve lokalde uygun teorik yarıvariogramlarla mekânsal modeller oluşturulmuş ve tartışılmıştır. Üçüncü aşama global, lokal ve lokal teorik yarıvariogramlar kullanılarak globalde gözlem yapılmamış noktaların tahmin edilmesidir. Yapılan bu tahminler için doğruluk testinin uygulanması ve tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması ise, çalışmanın son aşamasını oluşturmaktadır.

5.1. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Dağılışı

Bu çalışmanın birinci bölümünü Türkiye geneli yağış istasyonu olmayan herhangi bir noktada yağış bilgisinin elde edilmesi oluşturmaktadır. En doğru tahmin için yağış değişkeninin en uygun teorik yarıvariogram modeline oturtulmaya çalışılması bu bölümün en temel amacıdır. Bu amaç için farklı teorik yarıvariogram ve Fit Method’ları kullanılmış ve en iyi yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra elde edilen teorik yarıvariogramlar kullanılarak, global Kriging yöntemleriyle tahmin haritası ve tahmin hata haritaları oluşturulmuş ve sonuçlar tartışılmıştır.

5.1.1. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması

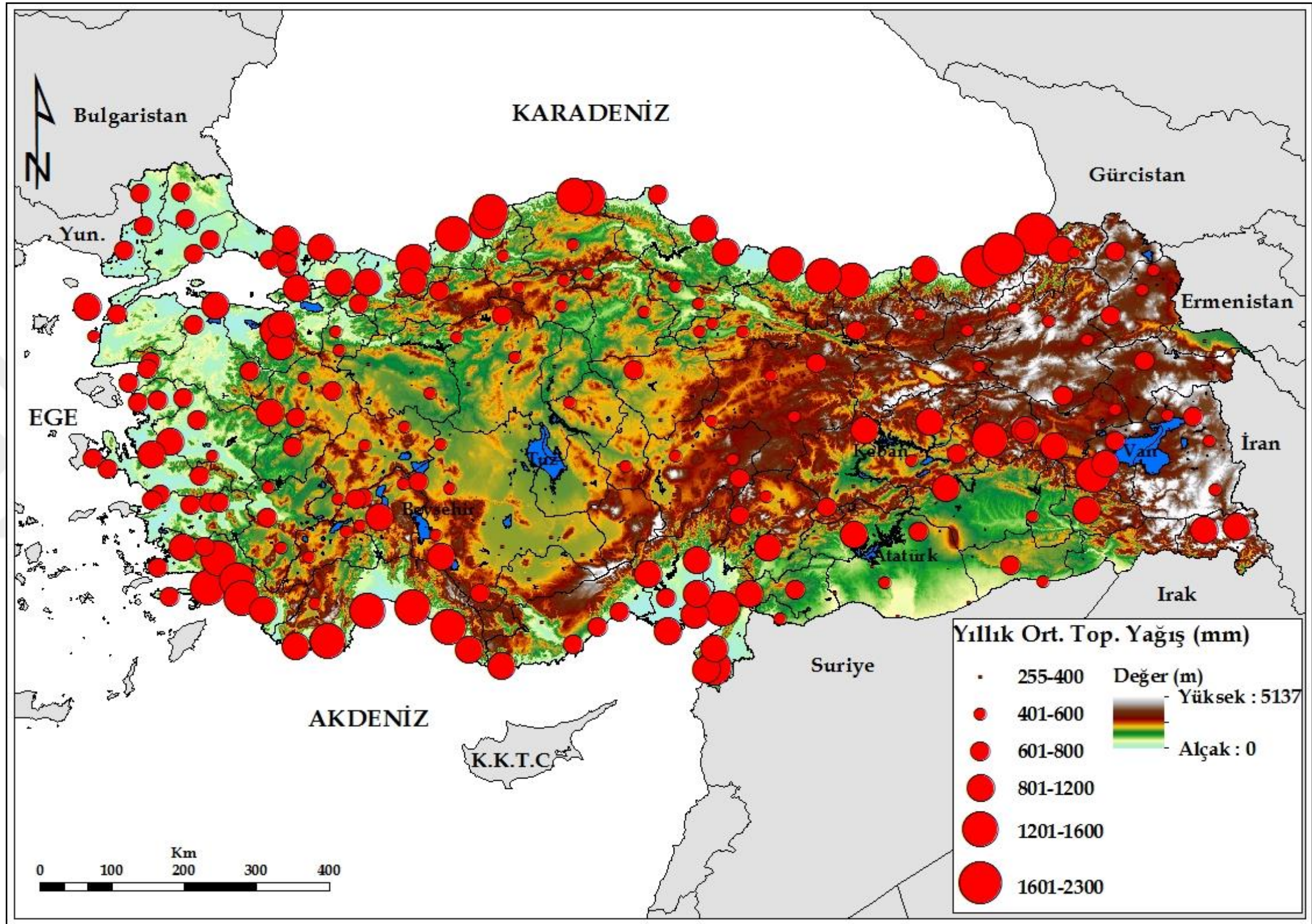
Türkiye’de 1975-2010 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin coğrafi dağılışı haritası Şekil 11’de gösterilmektedir. Yıllık ortalama toplam yağış değerleri altı kategoriye ayrılmıştır. Bunlar, 255- 400 mm, 401-600 mm, 601-800 mm, 801-1200 mm, 1201-1600 mm ve 1601-2300 mm arasındaki yıllık ortalama toplam yağış değerlerine sahip sınıflardır (Çizelge 5). Yıllık ortalama toplam yağış değerleri 255-400 mm arasındaki değerlere sahip olan alanlar, İç Anadolu, Konya Ovası ve Tuz Gölü çevresinde gözlenmektedir. Doğu Anadolu’nun yüksek dağlarla çevrili bazı depresyonlarında 255-400 mm arasında yıllık ortalama toplam yağış değerine sahip alanlara rastlanılmaktadır. Şekil 11’e göre, ülkenin Karadeniz kıyı bölgesindeki Rize ve Artvin ilinde bulunan Rize, Pazar ve Hopa istasyonları yağış değeri 1601-2300 mm yağış değerine sahip alanları göstermektedir. Şekil 11 ve Çizelge 5’e göre, Bitlis, Giresun, Uludağ-Zirve, Zonguldak ve Bozkurt istasyonları 1201-1600 mm yağış değerine sahip yerlerdir. Güneydeki Toros dağları, özellikle Batı Toroslar 801-1200 mm arasında yoğunlaşırken yerel koşullara bağlı olarak yer yer 601-800 mm yıllık ortalama toplam yağış değerleri ile kesintiye uğramaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin kuzeyinde geniş bir yay şeklinde uzanan Güneydoğu Toroslar da 801-1200 mm yıllık ortalama toplam yağış değeri izlenmektedir (Şekil 11, Çizelge 5). Ülkenin yüksek dağlarla çevrili havzaları, batıdan gelen nemli hava kütlelerinin etkilerinden uzak olan Güneydoğu

Anadolu plato ve ovaları 601-800 mm yıllık ortalama toplam yağış değerlerine sahiptir. Ayrıca bu yağış değerine sahip alanlara Doğu Anadolu Bölgesi'nde de rastlanılmaktadır. Şekil 11'de de görüldüğü gibi yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin yüksek olduğu alanlar, Karadeniz ve Akdeniz kıyı kuşağında yer almaktadır. En yüksek yağış değeri ülkenin kuzeydoğusunda 2238 mm değeri ile Artvin'de görülmektedir. Türkiye'nin iç bölgelerinde yıllık toplam yağış değerleri genellikle ortalamanın altında değerlere sahiptir. Diğer taraftan ülkenin doğu kesiminde yer alan Van Gölü, Atatürk ve Keban barajlarının yakınındaki istasyonların yağış değerleri ortalamanın üstündedir.

Türkiye'de en fazla yağış, kuzey ve güneydeki dağ sıralarının denizlere bakan yamaçları ile bu sıraların önündeki kıyı kuşağına düşmektedir (Koçman, 1993b:49). Ülkenin iç bölgelerinde ve dağlarla çevrili çukur havzalarda yağışlar azalmaktadır (Koçman, 1993b:49). İç bölgelerde yağışın kıyı bölgelere oranla az olmasının önemli nedenleri vardır. Bunlardan birincisi, kıyı bölgelere ulaşan nem yüklü hava kütlelerinin kıyı kuşağı dağ sıralarının yamaçlarından yükselerek, yağış bırakmasıdır. Böylece, iç kısımlara ulaşan hava kütlelerinin taşıdıkları nemin önemli bir kısmını kıyı kesimlerde bırakması ve dağları aşarak alçaldıkları sırada adiyabatik olarak ısınmaları daha az nem içermelerini sağlamaktadır. Bir diğer önemli neden, iç bölgelerde özellikle kış döneminde yüksek basınç koşulları hâkimdir ve yazın da yüksek olan sıcaklığın yoğunlaşmayı zorlaştırması yağışların bu alanlarda az olmasında etkili olur. Ayrıca, batıdan doğuya doğru yer değiştiren cephesel depresyonlar batı ve

kuzeybatıya bakan yamaçlar üzerine daha fazla yağış bırakmaktadır (Koçman, 1993b:50). Ege Bölgesi'nde dağların kıyılara dik oluşu nedeniyle, batıdan gelen nemli hava kütleleri fazla yükselmeğe meydan kalmadan içerilere kadar sokulmakta, bölgenin güneybatı bölümü dışındaki alanlara fazla yağış düşmemektedir. Yağışın mekânsal dağılışı haritası yağış açıklamalarını destekler niteliktedir.





Şekil 11. Türkiye’de 1976-2010 dönemine ait yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi

Çizelge 5. Türkiye’de yağış frekans tablosu

(255-400)	(401-600)	(601-800)	(801-1200)	(1201-1600)	(1601-2300)	
Eskişehir	Kayseri	Salihli	Çanakkale	Tunceli	Zonguldak	Pazar
Iğdır	Beypazarı	Kastamonu	Yozgat	Tatvan	Bitlis	Hopa
Akçakale	Çerkez	Kars	Sultanhisar	Düzce	Bozkurt	Rize
Karapınar	Elazığ	Özalp	İpsala	Kocaeli	Giresun	
Ceylanpınar	Ankara	Arpaçay	Seferihisar	İslahiye	Uludağ-Zirve	
Ereğli	Kangal	Beyşehir	Göksun	Eğirdir		
Nallıhan	Sivrihisar	Acıpayam	Kuşadası	Yumurtalık		
Ulukışla	Emirdağ	Yalvaç	Uluborlu	Fethiye		
Konya	Çankırı	Isparta	Burhaniye	Kumköy		
Çumra	Pınarbaşı	Güney	Sarıkamış	Sakarya		
Cihanbeyli	Gemerek	Sarız	Göztepe	Kozan		
Doğubeyazıt	Horosan	Doğanşehir	Geyve	Gazipaşa		
Karaman	Nevşehir	Ağrı	Aydın	Kireçburnu		
Hilvan	Afyon	Zara	Kartal	Karasalı		
Niğde	Erciş	Uşak	Mardin	Şile		
Aksaray	Burdur	Palu	Ayvalık	Samandağ		
Çiçekdağı	Afşin	Ahlat	Bergama	Anamur		
Birecik	Nusaybin	Kütahya	Hadim	Dört Yol		
Polatlı	Başkale	Siverek	Uzunköprü	Finike		
Keban	İlgın	Kırklareli	Florya	Bingöl		
Malatya	Ardanuç	Bolu	Yatağan	Dalaman		
Mut	Şanlıurfa	Dursunbey	Datça	Amasra		
Kırıkkale	Ilgaz	Akşehir	Adana	İnebolu		
Develi	Merzifon	Ardahan	Senirkent	Bartın		
Oltu	Dinar	Denizli	Selçuk	Ordu		
Boğazlıyan	Bilecik	Gaziantep	Gönen	Akçakoca		
Erzincan	Tokat	Akhisar	Sinop	Köyceğiz		
Kırşehir	Bozüyük	Bayburt	Edremit	Antalya		
Van	Tosya	Çorum	Bodrum	Antakya		
Korkuteli	İspir	Sivas	Siirt	Alanya		

Çizelge 5. Devam

(255-400)	(401-600)	(601-800)	(801-1200)	(1201-1600)	(1601-2300)
Ürgüp	Tercan	Silifke	Solhan	Manavgat	
Kulu	Yunan	Çemişgezek	Samsun	Muğla	
Divriği	Turhal	Kızılcahaman	Bursa	Ünye	
Elbistan	Malazgirt	Ödemiş	Adıyaman	Marmaris	
Bolvadin	Batman	Çorlu	İzmir		
Tomarza	Zile	Lüleburgaz	Milas		
	Karabük	Alata	Manisa		
	Tefenni	Tekirdağ	Bandırma		
	Amasya	Edirne	Artvin		
	Bozcaada	Dikili	Ceyhan		
	Kaman	Mersin	Akçaabat		
	Gümüşhane	Nazilli	Kahramanmaraş		
	Tortum	Soma	Gökçeada		
	Tavşanlı	Şebinkarahisar	Hakkâri		
	Kilis	Hinis	Keleş		
	Elmalı		İskenderun		
	Çeşme		Arapgir		
	Muradiye		Yalova		
	Gediz		Kaş		
			Yüksekova		
			Ergani		
			Seydişehir		
			Muş		
			Karataş		
			Simav		
			Bafra		

Çizelge 6 uzun süreli yağış gözlemi yapan 228 meteoroloji istasyonunun elde edilen yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin tanımlayıcı istatistik değerlerini göstermektedir. Buna göre, 35 yıllık döneme ait yıllık ortalama toplam yağışın maksimum değeri 2250.9 mm, minimum değeri 259.6 mm'dir. Ortalama değer ise, 625.7 mm olarak hesap edilmiştir. Diğer yandan standart sapma değeri 288.2 mm'dir. Standart sapma değerinin yıllık ortalama toplam yağış toplamının 1/4'ü kadar olması Türkiye'de yüksek yağış değişkenliği olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6. Türkiye'de yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)

Ort.	Std. Sap.	Min.	Ortanca	Maks.	Mod
625.7	288.2	259.6	565.7	2250.9	450.2

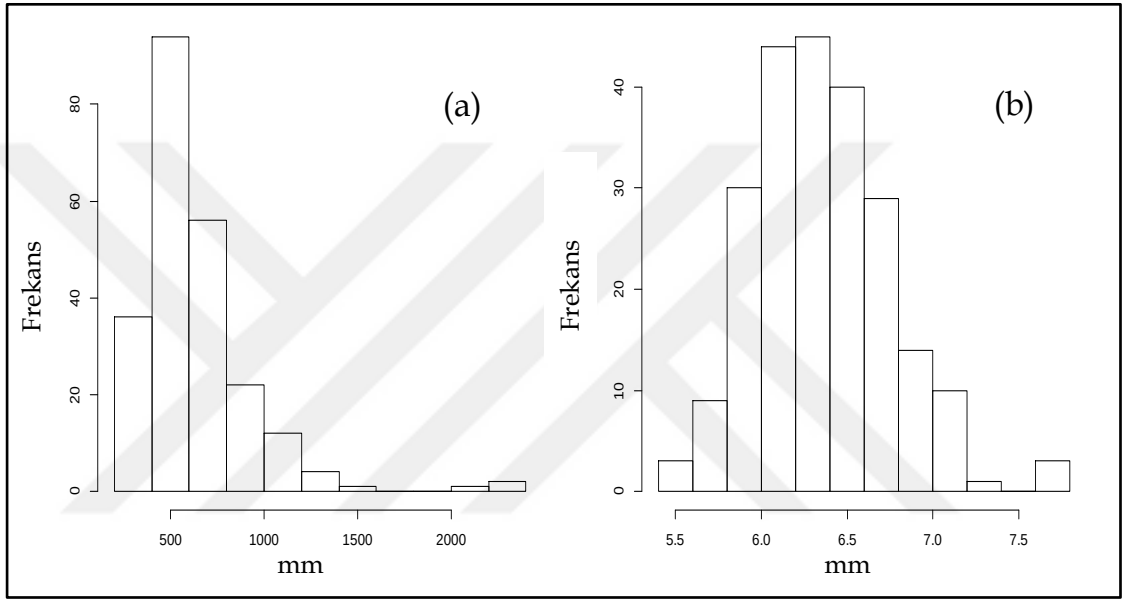
Not: Ort, Ortalama; Std. Sap, Standart Sapma; Min, Minimum; Maks, Maksimum'un kısaltmasıdır.

400 mm'den az yağış alan istasyonların sayısının 36 adet, 401-600 mm yağış alan istasyonların ise 94 adet olduğu görülmektedir. 400 mm'den az yağış alan istasyonların oranı %15.8, 600 mm az yağış alan istasyonların oranı ise %41.2'dir. Bu durumda incelenen istasyonların yarısından fazlasının 625.7 olan Türkiye yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin ortalamasının altında yağış değerine sahip olduğu görülmektedir. İstasyon sayısı 130 ve toplam istasyon sayısının %57'sini oluşturmaktadır. Türkiye'de incelenen istasyonlar içerisinde 1201-1600 mm arası yağış alan 5 istasyon, 1601-2300 mm arası yağış alan yalnız 3 istasyon bulunmaktadır. Histogram ve Çizelge 6 incelendiğinde yıllık ortalama toplam yağışın, ortanca değerden, ortanca değerinde mod değerinden

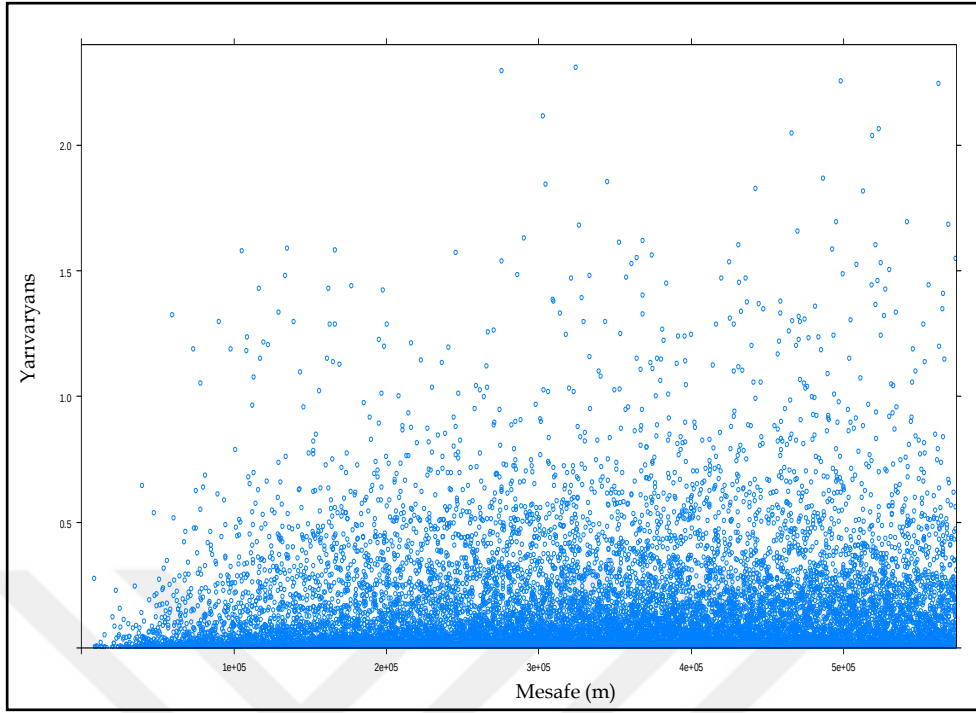
büyük olduğu görülmektedir (Ortalama>Ortanca>Mod). Bu açıklamalar altında Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış değerleri normal dağılış göstermemekte olup, grafik sağa çarpıktır (Şekil 12a). Ortalamadan düşük değerli istasyonların sayısı fazla, ortalamadan yüksek değerli istasyonların sayısı azdır. Türkiye’de düşük yağışların frekansı yüksek, yüksek yağışların frekansı düşüktür. Şekil 12b’de logaritmik dönüşüm uygulandıktan sonra veri normal dağılım göstermektedir. Logaritmik dönüştürme, dağılımı normale yaklaştırır, doğrusal olmayan ilişkiyi doğrusallaştırır, varyansların heterojenliğini ve uç/sapma değerlerini azaltmaktadır.

Mekânsal verinin açıklanmasında bir diğer önemli grafiksel gösterim Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu’nun oluşturulmasıdır (Şekil 13). Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu, veri seti içindeki mekânsal otokorelasyonun lokal karakteristiklerini ve lokal uç değerlerini test etmek için kullanılan en önemli araçtır. Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu’nda $228(228 - 1) = 51.756$ gözlem çifti bulunmaktadır. Yarıvariogram bulutu üzerindeki her nokta konum çiftlerinden oluşur ve hiç biri tek bir noktayı göstermez. Eğer veriler birbirlerine bağımlı ise birbirlerine yakın olan nokta çiftleri arasındaki fark (yarıvaryans) az olacak demektir (grafiğin yatay ekseninde sola gittikçe), fakat çiftler birbirine bağımlı değilse yarıvaryans değerleri yüksek olacaktır. (Johnston, vd., 2001). Şekil 13’de yarıvaryans (y eksen) değerleri sıfıra yaklaştıkça birbirleriyle ilişkili çiftlerin kümelenmeleri görülmektedir. Öte yandan artan yarıvaryans değerlerine göre birbirleriyle ilişkisiz olan çiftlerin kümelenmeleri

izlenmektedir. Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu'nda mekânsal otokorelasyonun yorumlanması ve hesaplamalarda kullanılması zor olduğundan, çiftlerin belirlenen mesafelerde ortalamalarının alınıp, grafiksel olarak ifade edilmesi yani, deneysel yarıvariogram grafiklerinin oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 12. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım



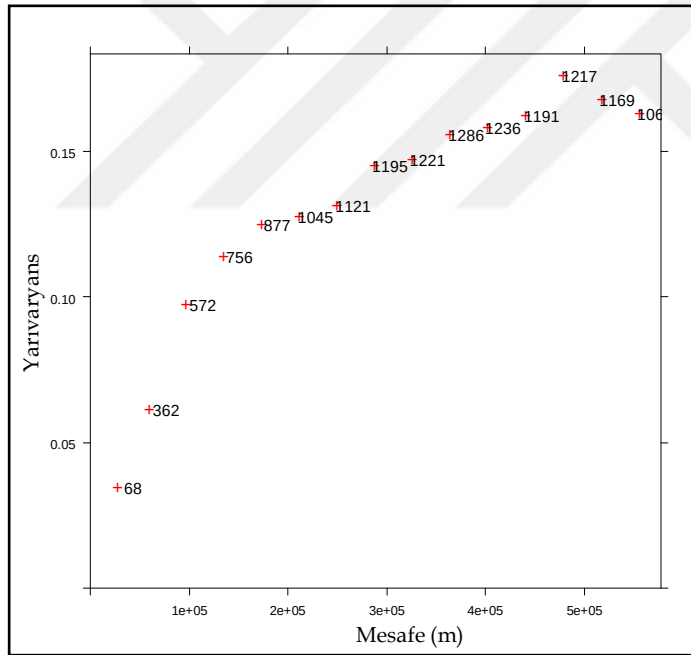
Şekil 13. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışa ait Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu

5.1.2. Türkiye'de Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneysel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması

Türkiye'de yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri yarıvariogram ile ortaya konur. En doğru yarıvariogramı oluşturmada en birinci işlem, yağış değişkenini en iyi temsil edebilecek uygun adım mesafesi ve sınıf sayısını tayin edebilmektir. İstasyonlar arasındaki adım mesafesi ve sınıf sayısı öncelikle programın kendi belirlemiş olduğu değerler göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Bu değerleri ve bu değerlerden elde edilmiş deneysel yarıvariogram Çizelge 7, Şekil 14'de gösterilmektedir.

Çizelge 7. Programın oluşturduğu deneysel yarıvariogramın sonuçları

	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Yarıvaryans
1	68	26.7	0.03
2	362	59.1	0.06
3	572	96.5	0.10
4	756	134.3	0.11
5	877	172.4	0.13
6	1045	210.8	0.13
7	1121	249.1	0.13
8	1195	286.7	0.15
9	1221	325.0	0.15
10	1286	363.6	0.16
11	1236	401.5	0.16
12	1191	439.8	0.16
13	1217	478.0	0.18
14	1169	516.6	0.17
15	1067	555.0	0.16



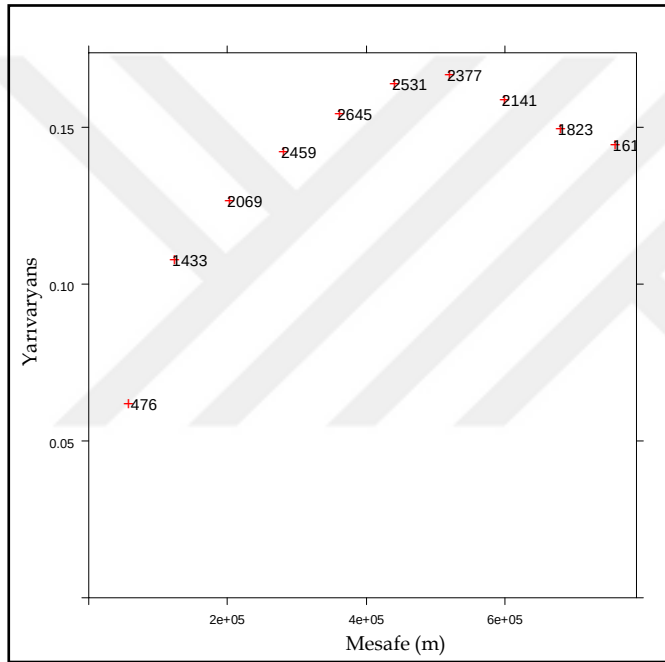
Şekil 14. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın deneysel yarıvariogramı

Not: Deneysel yarıvariogramda sınıf sayısı=15; adım mesafesi=38 km; yarıvariogramın hesaplandığı aralık=555 km'dir.

İstasyonlar arasındaki adım mesafesi ve sınıf sayısı, incelenen yıllık ortalama toplam yağış değişkenini temsil edebilecek en uygun model bulununcaya kadar değişik aralık ve sayıda işleme alınmıştır. Yıllık ortalama toplam yağış değerlerine ait en uygun adım mesafesinin 80 km ve sınıf sayısının 10 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 8, Şekil 15). Buna göre R 3.1.0 programında yarıvariogram hesaplama parametreleri olarak adım mesafesi 80 km, yarıvariogramın hesaplandığı aralık 800 km olarak tanımlanmıştır. Program 759.2 km'den başlayıp 80 km eksilterek belirlenen sınıf sayısına göre sınıfları oluşturmuştur. 1. adım mesafesi 56.3 km denk gelmiştir (Çizelge 8). Toplam 19.566 adet çift elde edilmiştir. Çizelge 8'de aralarında 56.3 km olan 476 çift mevcuttur. Deneysel yarıvariograma ait bu çizelgeye göre adım mesafesi 360.2 km (5.adım mesafesi)' ye kadar yarıvaryans değerleri artmakta ve 0.15 eşik değerine ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra yarıvaryans değerleri çok fazla bir değişiklik göstermemektedir. Bu deneysel yarıvariogramda bu eşik değerlerinden sonra yağış dağılışındaki istasyonlar arasındaki etkileşimin sonlandığı anlamına gelmektedir.

Çizelge 8. DeneySEL yarivariogramın sonuçları

	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Yarivaryans
1	476	56.3	0.06
2	1433	123.3	0.11
3	2069	201.9	0.13
4	2459	280.6	0.14
5	2645	360.2	0.15
6	2531	440.3	0.16
7	2377	519.2	0.17
8	2141	599.0	0.16
9	1823	679.5	0.15
10	1613	759.3	0.15

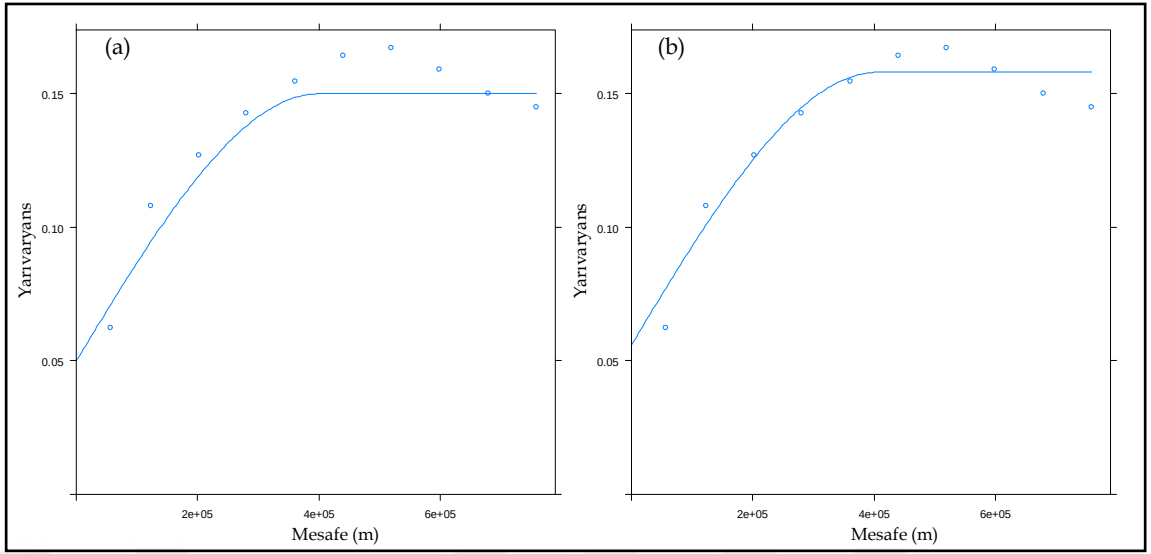


Şekil 15. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın deneySEL yarivariogramı

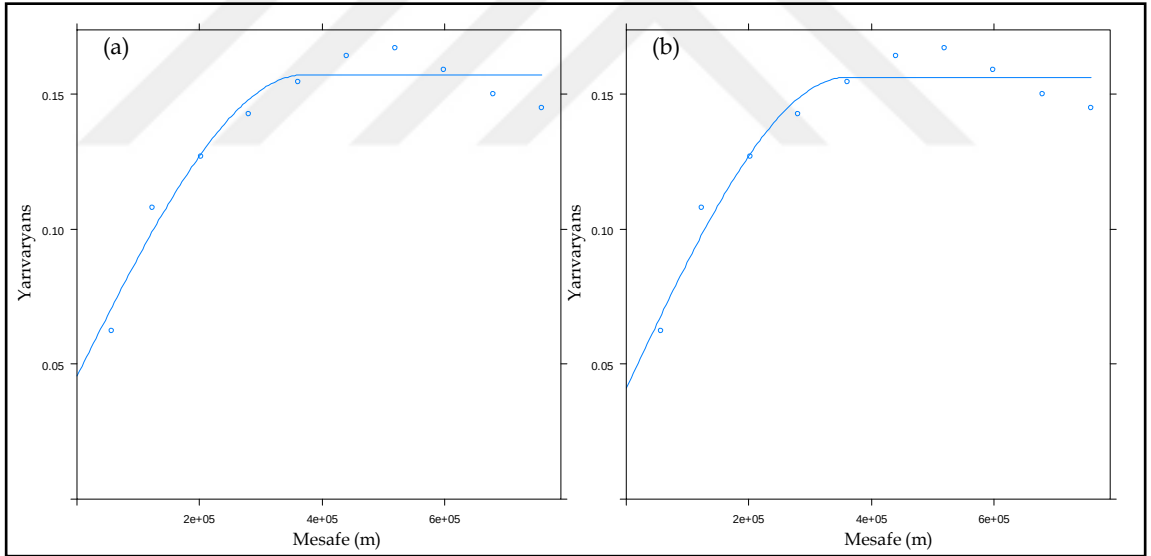
Not: DeneySEL yarivariogramda, yarivariogram çiftlerinin belirlenmesinde azami diagonal mesafenin yarısı temel alınmış ve adım mesafesi, sınıf sayısı ve yarivariogramın hesaplandığı aralık (cut-off) mesafeleri buna göre belirlenmiştir (sınıf sayısı=10; adım mesafesi=80 km; yarivariogramın hesaplandığı aralık=800 km).

Yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin adım mesafesi ve sınıf sayısı belirlendikten sonra uygun yarivariogramına oturtulması gerçekleştirilmesi gereken ikinci önemli adımdır. Yıllık ortalama toplam yağış değişkenine ait yarivariogram yapısı ise, “*Spherical*” tip teorik yarivariogram modeli olarak

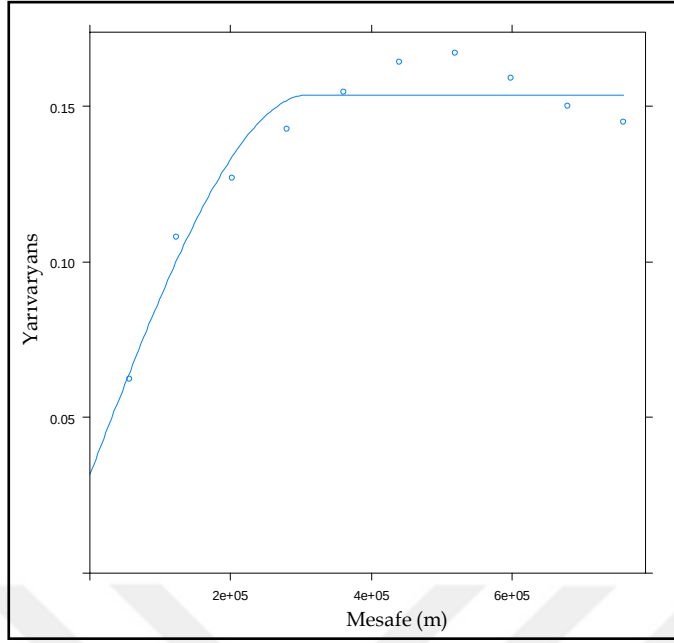
belirlenmiştir. Çalışmada Spherical teorik yarıvariogram modeli ile farklı Fit Method'ları kullanılarak yarıvariogram modelleri oluşturulmuştur. Farklı Fit Method'ları kullanılarak mekânsal bağımlılığı açıklayacak en iyi kovaryans fonksiyonu oluşturulmaya çalışılmıştır. Deneysel yarıvariogramdan öncelikle başlangıç yapısal varyans, kontrolsüz etki ve etki uzaklığı R 3.1.0 programında yarıvariogram Fit etme komutuna yazılarak programda tanımlı farklı Fit Method'ları ile teorik yarıvariogram hesaplanmıştır. Böylece, farklı kontrolsüz etki ve eşik değerlerinin elde edildiği ayrı teorik yarıvariogramlar oluşturulmuştur. Teorik yarıvariograma oturan yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin her Fit Method'lara göre eşik değerleri ve etki uzaklıkları Çizelge 9'da verilmiştir. Spherical teorik yarıvariogram modelinin farklı Fit Method'ları kullanılarak oluşturulan modellere ait grafikler Şekil 16 (a, b), 17 (a, b), 18 gösterilmektedir. Daha sonra elde edilen bu teorik yarıvariogramlardan tahmin haritaları oluşturulmuştur. Modellerin doğruluğu Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiş ve performans karşılaştırmaları geri dönüşüm uygulanmış veri üzerinde yapılmıştır.



Şekil 16. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın (a) deneysel ve teorik yarıvariogram modeli (Fit Method 0); (b) deneysel ve teorik yarıvariogram modeli (Fit Method 1)



Şekil 17. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışın (a) deneysel ve teorik yarıvariogram modeli (Fit Method 2); (b) deneysel ve teorik yarıvariogram modeli (Fit Method 6)



Şekil 18. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli (Fit Method default, 7)

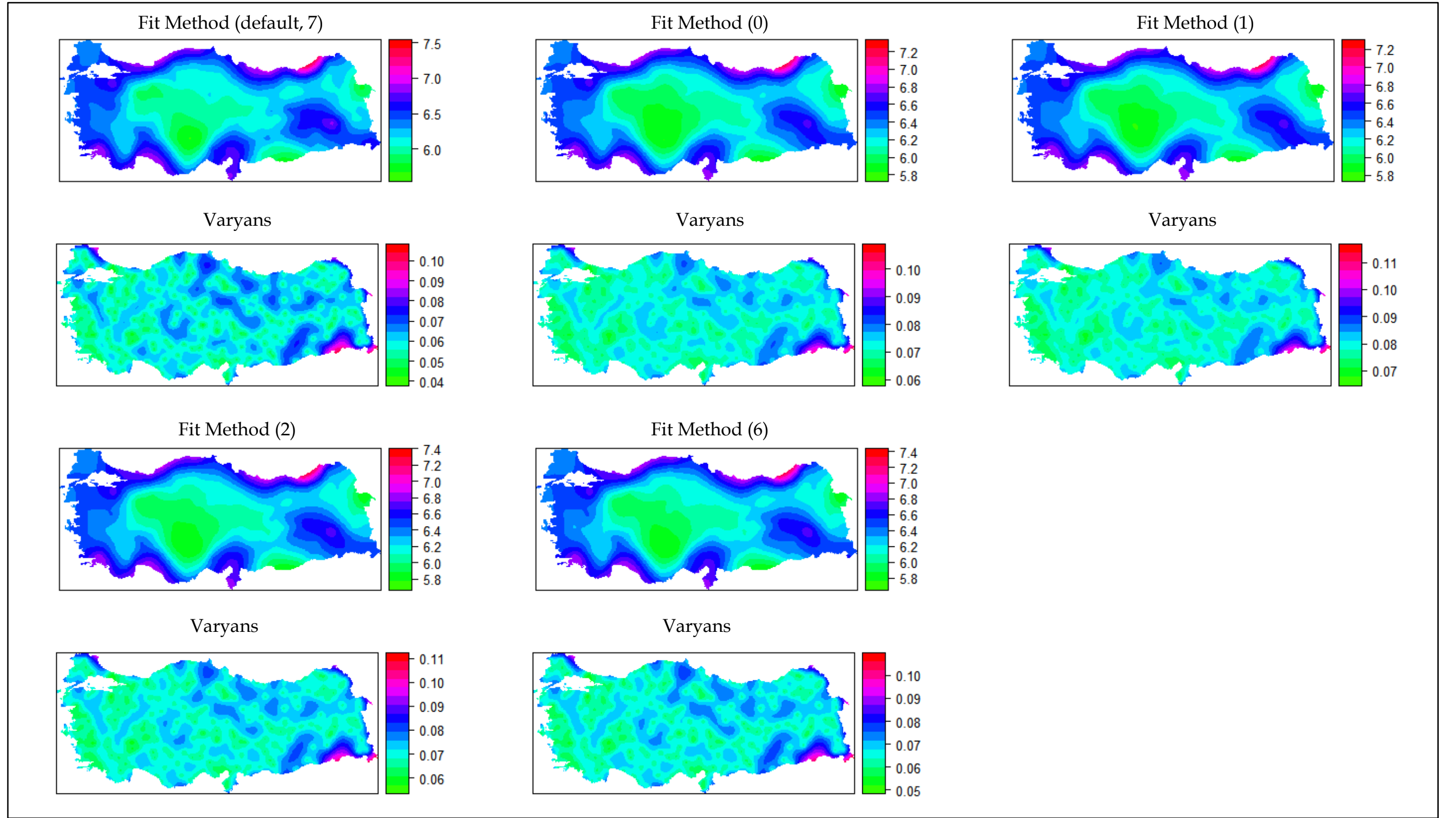
Çizelge 9. Teorik yarıvariogram sonuçları

Method	Model	Eşik değeri	Etki uzaklığı (km)
Spherical/Fit Method Default, 7	Nug	0.03	0
	Sph	0.12	311.5
Spherical/Fit Method 0	Nug	0.05	0
	Sph	0.10	400
Spherical/Fit Method 1	Nug	0.06	0
	Sph	0.10	406.3
Spherical/Fit Method 2	Nug	0.05	0
	Sph	0.11	370.6
Spherical/Fit Method 6	Nug	0.04	0
	Sph	0.12	359.7

Not: Nug, Nugget; Sph, Spherical modellerinin kısaltmasıdır.

5.1.3. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini

Spherical teorik yarıvariogram modelinin farklı Fit Method’ları kullanılarak oluşturulan farklı teorik yarıvariogram modellerinin parametre değerleri belirlendikten sonra gözlemi bulunmayan yerlerin noktasal değerleri OK tahmin yöntemi ile elde edilmiştir. OK tahmin hesaplamaları logaritmik dönüşümü sağlanan yıllık ortalama toplam yağış değişkeni üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her teorik yarıvariograma göre oluşturulan OK tahmin ve varyans haritaları Şekil 19’a gösterilmiştir.



Şekil 19. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları (Spherical model, Fit Method default, 7, 0, 1, 2, 6)

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü gerçekleştirildikten sonra yapılmıştır.

5.1.4. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi

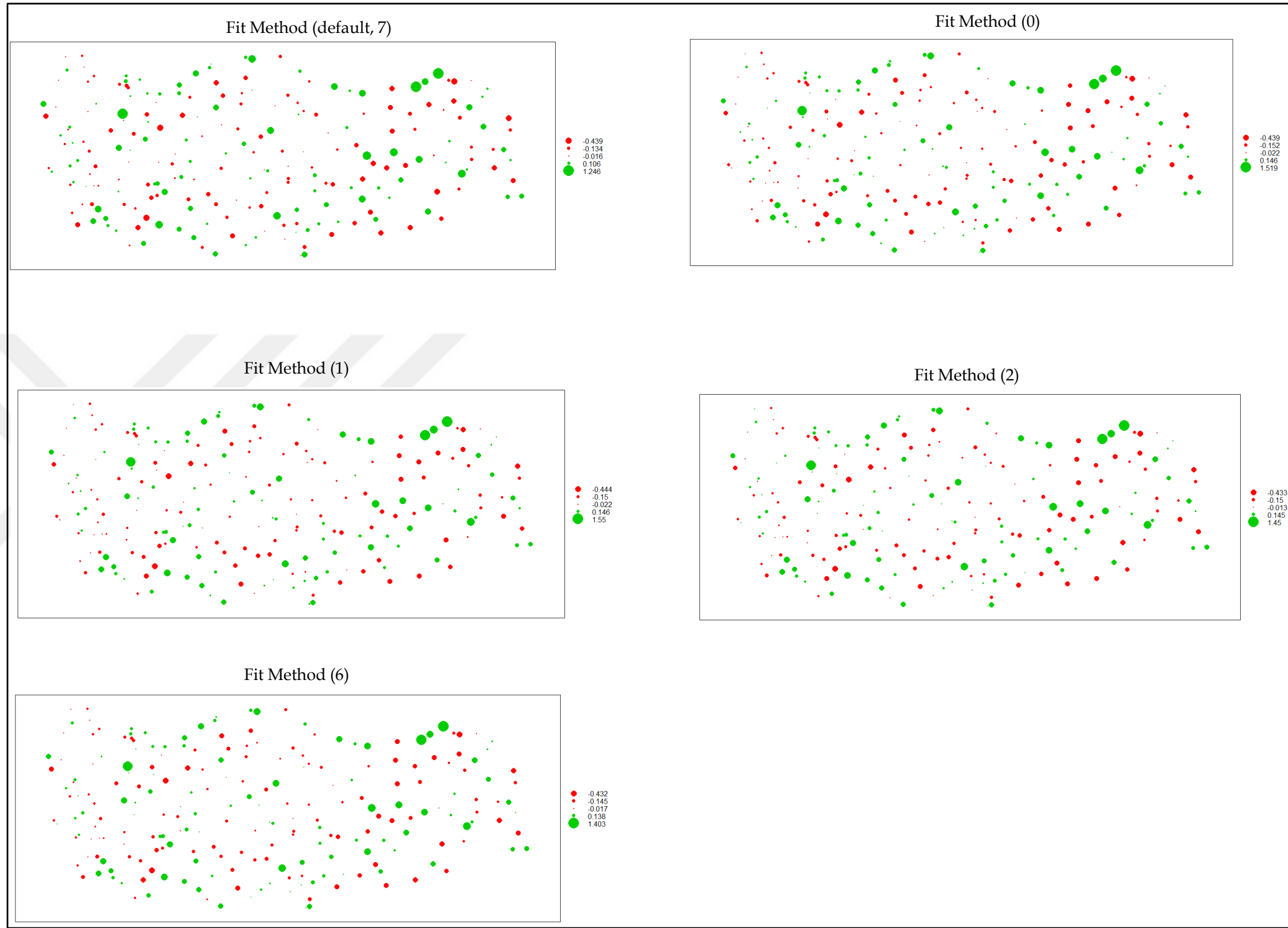
Kriging analizi Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Daha sonra verilere geri dönüşüm uygulanmıştır. Bu yöntemle ait sonuç haritaları Şekil 20’de gösterilmektedir. Haritalar incelendiğinde yüksek ve düşük tahminlerin topografya ve bakı koşullarının etkisi altında kaldığı görülmektedir. Genel olarak yüksek yağışlı alanlarda düşük tahmin hatalarına düşük yağışlı alanlarda, yüksek tahmin hatalarına rastlanılmaktadır. Düşük ve yüksek tahmin değerlerinin bulunduğu istasyonların kümelenmeleri dikkate alındığında tektonik, karstik ve vadi gibi depresyon alanlarında yüksek yağış tahminlerinin yapıldığı, bu sahaları çevreleyen yüksek alanlarda, düşük tahminlerin olduğu gözlenmektedir. Örneğin, göller yöresi ve Göksu ırmağı çevresinde depresyon ve vadi içinde kalan Mut, Ermenek, Seydişehir, Beyşehir gibi istasyonlarda yağış değerleri yüksek tahmin edilirken, bu sahaları çevreleyen yüksek alanlarda düşük yağış değerleri tahmin edilmiştir. Çoruh, Kelkit, Kızılırmak vadileri ve Kuzey Anadolu Fayı üzerindeki tektonik depresyonlar içinde kalan istasyonlarda, yüksek yağış tahminleri yapılmaktadır. Bunun yanında bakı koşulları tahmin değerlerini etkileyen diğer önemli bir faktördür. Örneğin, Batı Karadeniz kıyılarındaki istasyonlarda düşük tahmin değerleri, Sinop ve Trabzon gibi kuzeydoğuya bakan istasyonlarda yüksek yağış değerleri izlenmektedir. Karadeniz kıyısındaki duldada kalan Akçaabat dışındaki bütün Doğu Karadeniz düşük tahmin değerleri vermiştir. Bu durum daha düşük hata

değerleriyle Ege Bölgesi'nde de izlenmektedir. Aydın, Nazilli ve Ödemiş gibi güneye bakan istasyonlarda yağış hemen hemen doğruya yakın tahmin edilirken, yağış duldasında kalan Salihli'de yüksek tahminler yapılmaktadır. Bu iki faktörün beraber etkilendiği alanlardan bir örnek de Güneydoğu Toroslar'dır. Adıyaman, Kahramanmaraş ve Çemişgezek gibi dağların güney yamacında kalan istasyonlarda düşük tahmin, Malatya Elbistan, Keban gibi depresyon alanlarında kalan yerlerde yüksek tahmin, hemen kuzeydeki Kangal, Divriği gibi yüksek istasyonlarda, düşük tahmin hataları saptanmıştır. Bu durum Türkiye'de yağış dağılışında yükselti ve bakı faktörlerinin önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Yıllık ortalama toplam yağış değışkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 10'da verilmiştir. Uygulanan Fit Method'lardan belirlenen tahmin değerlerine bakıldığında bütün modellerin düşük değerli yağışlarda yüksek tahminlerde bulunduğu, yüksek değerli yağışlarda ise düşük tahminlerde bulunduğu görölmektedir. Gözlemlenen değer ile tahmin edilen değerlere bakıldığında en uygun Fit yönteminin Fit Method 7 olduğu izlenmektedir. Çünkü bu metod gözlemlenen değere en yakın tahmini yapmaktadır. Yıllık ortalama toplam yağış değışkenine ait hata-tahmin grafikleri ise, Şekil 21'de verilmiştir. Bu grafikler Şekil 20'de ortaya konan yorumları desteklemektedir. Hata ile gözlemlenen değerler arasında yüksek pozitif korelasyon görölmesi yağış değeri arttıkça bunların tahmininde de hata payının arttığını göstermektedir. Son olarak, Şekil 22 OK enterpolasyon sonuçlarının logaritmik tahminden gerçek değere dönüşümü karşılaştırmalı

olarak vermiştir. Farklı Fit Method yöntemleri ile üretilen haritalar incelendiğinde haritalar arasında büyük farklılıklar olmamasına rağmen, Fit Method 7 ile oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış dağılışına ait tahmin haritası incelendiğinde orografik uzanış ve bakı koşulunu daha güzel yansıttığı görülmektedir. Örneğin, Bursa, Uludağ-Zirve ve Tunceli, Bitlis çevresi gibi yüksek yağışlı alanlar iyi tahmin edilmiştir. Diğer taraftan, Karadeniz Bölgesi ile Ege Bölgesi'nde bakı ve orografik koşullarını iyi yansıtmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde Konya-Karapınar çevresindeki yağış gölgesinde kalan alanları bütüncül olarak iyi tahmin etmesi bu metodun diğerlerinden daha doğru tahmin haritası oluşturduğunu göstermektedir.

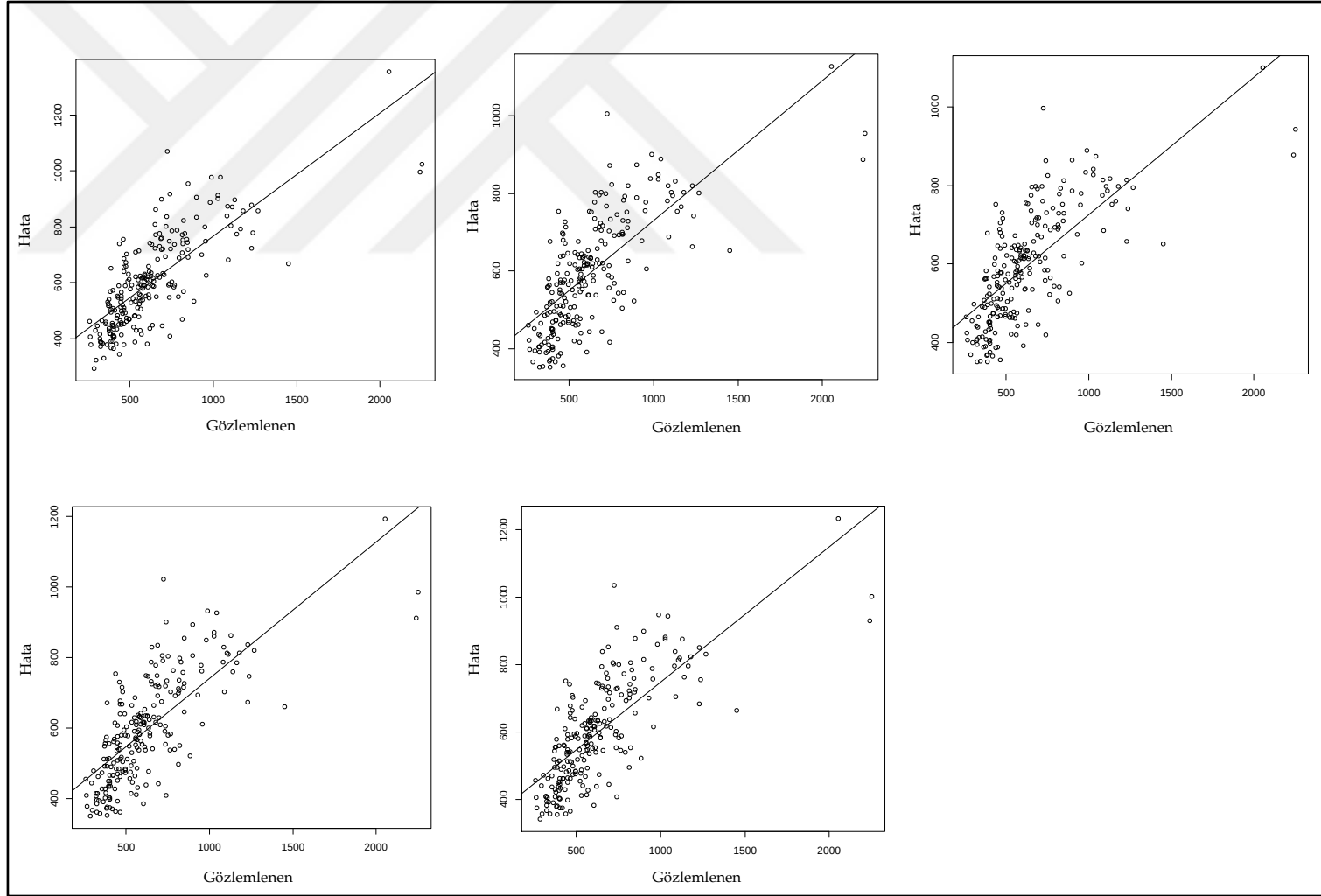
Çizelge 10. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen					Gözlemlenen
	Default, 7	0	1	2	6	
Minimum	292.0	352.4	351.3	350.9	340.6	258.6
Birinci Bölen	467.4	479.8	477.2	477.0	473.5	439.2
Ortanca	584.9	580.7	582.8	579.7	582.5	564.6
Ortalama	599.3	594.3	593.7	595.8	596.7	624.7
Üçüncü Bölen	714.6	695.0	689.7	703.0	702.5	727.9
Maksimum	1355.4	1127.7	1099.3	1193.1	1234.2	2249.9

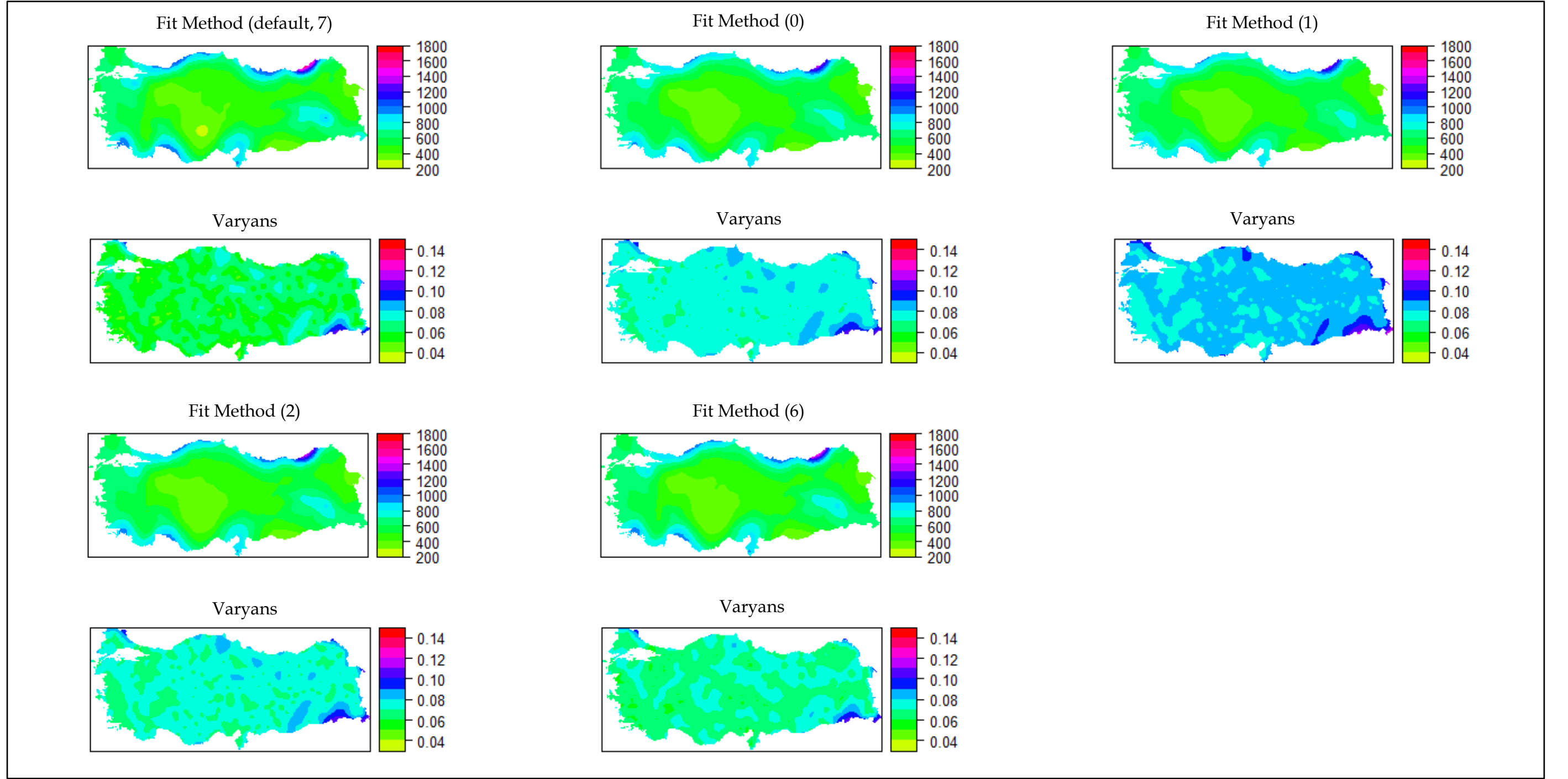


Şekil 20. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritaları (Fit Method default (7), 0, 1, 2, 6)

Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.



Şekil 21. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağış için gözlemlenen-hata grafiği (Fit Method default, 7, 0, 1, 2, 6)



Şekil 22. Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı ve varyans haritaları (Spherical model, Fit Method default, 7, 0, 1, 2, 6)

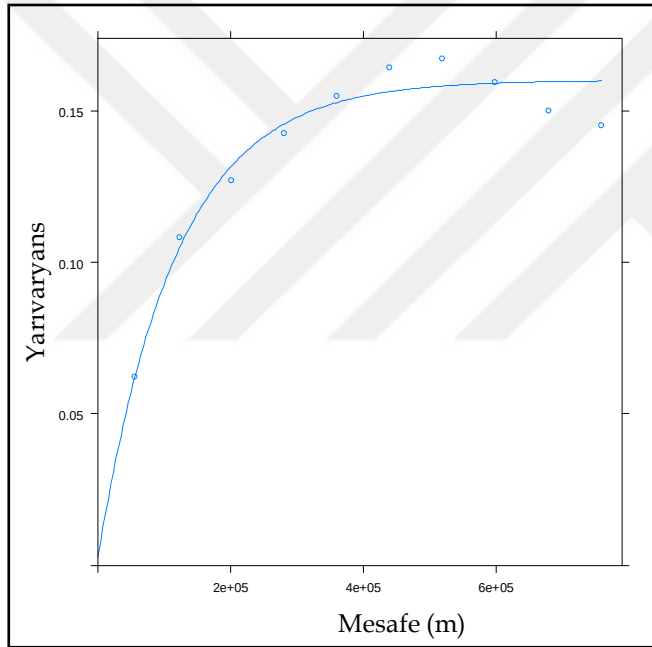
OK yöntemlerinin doğruluğunu gösteren ME, MAE, RMSE ve R^2 değerleri Çizelge 11’de verilmiştir. ME değeri, sistematik sapmanın derecesini gösterir. MAE değeri, tahminden sapmanın boyutunu ifade eder. RMSE değeri, uç değerleri de hesaplamaya dâhil eder. ME değeri sıfıra yakın ve RMSE değeri küçük ise, modelin daha doğru olduğu söylenir. MAE ve RMSE değerleri benzer ölçümlerdir. Ortalama RMSE değeri istatistikte hata (residual) olarak da değerlendirilir ve bu değer in sıfıra yakınlığı tahmin edilen değerin gerçeğe yakınlığını göstermektedir. Çizelge 11’de R^2 değerleri 0.51 ile 0.58 arasında bir değişime sahiptir. Fit Method 7, 0.58 değeri ile en yüksek R^2 değerini göstermektedir. RMSE değerleri 194.82-213.35 mm arasında değişmekte olup, en düşük RMSE değerini Fit Method 7 ve Fit Method 6 yöntemleri vermektedir. En düşük MAE değeri 118.42 ile Fit Method 7’de görülmektedir. ME değerleri ise, -25.38 ve -31.02 arasında değişmektedir. Sonuç olarak Fit Method 7, yüksek R^2 değeri, düşük RMSE ve MAE değeri ile en iyi OK modelini oluşturmaktadır.

Çizelge 11. OK modellerinin performans karşılaştırılması

Method	ME	MAE	RMSE (mm)	R^2
Spherical/Fit Method Default, 7	-25.38	118.42	194.82	0.58
Spherical/Fit Method 0	-30.41	128.97	211.08	0.52
Spherical/Fit Method 1	-31.02	130.39	213.35	0.51
Spherical/Fit Method 2	-28.92	124.80	205.52	0.55
Spherical/Fit Method 6	-27.97	122.80	202.36	0.56

5.1.5. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mátern Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için uygun yarivariogram yapısının belirlenmesi, çalışmanın en önemli ayağını oluşturmaktadır. Bu amaç için Mátern teorik yarivariogram modeli denenmiştir. Yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin bir diğer yarivariogram yapısı, “*Mátern*” tip teorik yarivariogram modelidir (Şekil 23).



Şekil 23. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarivariogram modeli

Not: Teorik yarivariogramın elde edilmesinde “*Mátern model ve Fit Method 7*” kullanılmıştır.

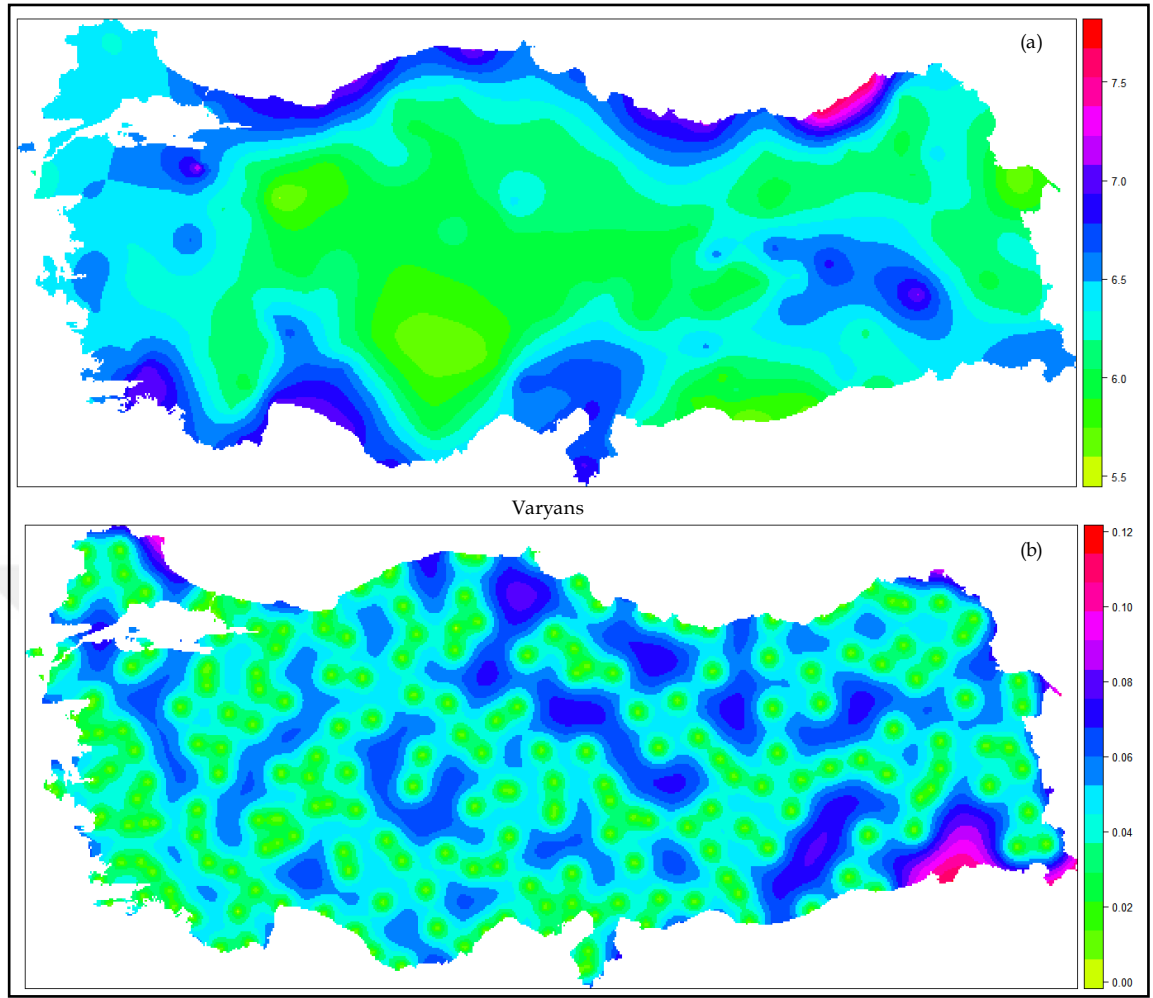
Teorik yarivariograma oturan yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin eşik değeri 0.16, etki uzaklığı, 117.4 km olarak tespit edilmiştir (Çizelge 12). Mátern model ve Fit Method 7 kullanılarak elde edilen teorik yarivariogram modelinin parametreleri belirlendikten sonra gözlemi bulunmayan yerlerin

tahmini için OK yöntemi uygulanmıştır. OK tahmin haritası ve varyans haritası Şekil 24 (a, b)'de gösterilmiştir. Varyans haritası incelendiğinde düşük varyans değerlerinin yüksek varyans değerlerine göre daha yoğun olarak görülmekte olup, yüksek varyans değerleri Şırnak ili ve çevresi gibi yağış istasyonlarının olmadığı yerlerdedir.

Çizelge 12. Teorik yarıvariogram sonucu

Model	Eşik değeri	Etki uzaklığı (km)
Nug	0.00	0
Mat	0.16	117.4

Not: Nug, Nugget; Mat, Matérn modellerinin kısaltmasıdır.

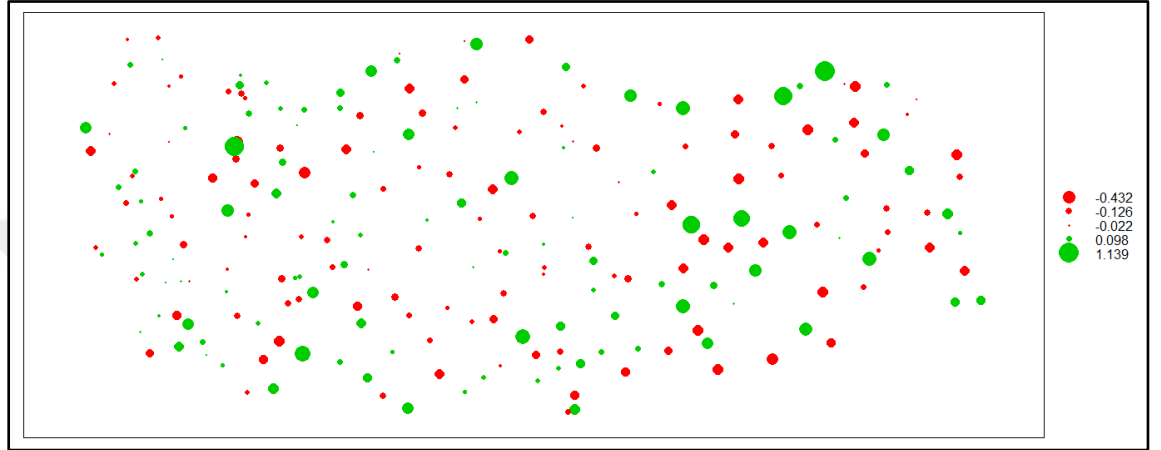


Şekil 24. (a) Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası; (b) yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası varyansı

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü gerçekleştirildikten sonra yapılmıştır.

OK analizi Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Bu yöntemle ait sonuç haritası Şekil 25’te gösterilmektedir. Çizelge 13 ise, yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgileri vermektedir. Spherical model ve Fit Method 7 kullanılarak elde edilen OK analiz sonuçları, Matérn model ve Fit Method 7 kullanılarak elde edilen OK analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında aşağı yukarı

benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Mátern yöntemiyle elde edilen Çapraz Geçerlilik haritası düşük ve yüksek tahmin değerlerinin bulunduğu alanlarda diğerine göre tahmin değerleri arasındaki farkın biraz daha az olduğu görülmektedir.

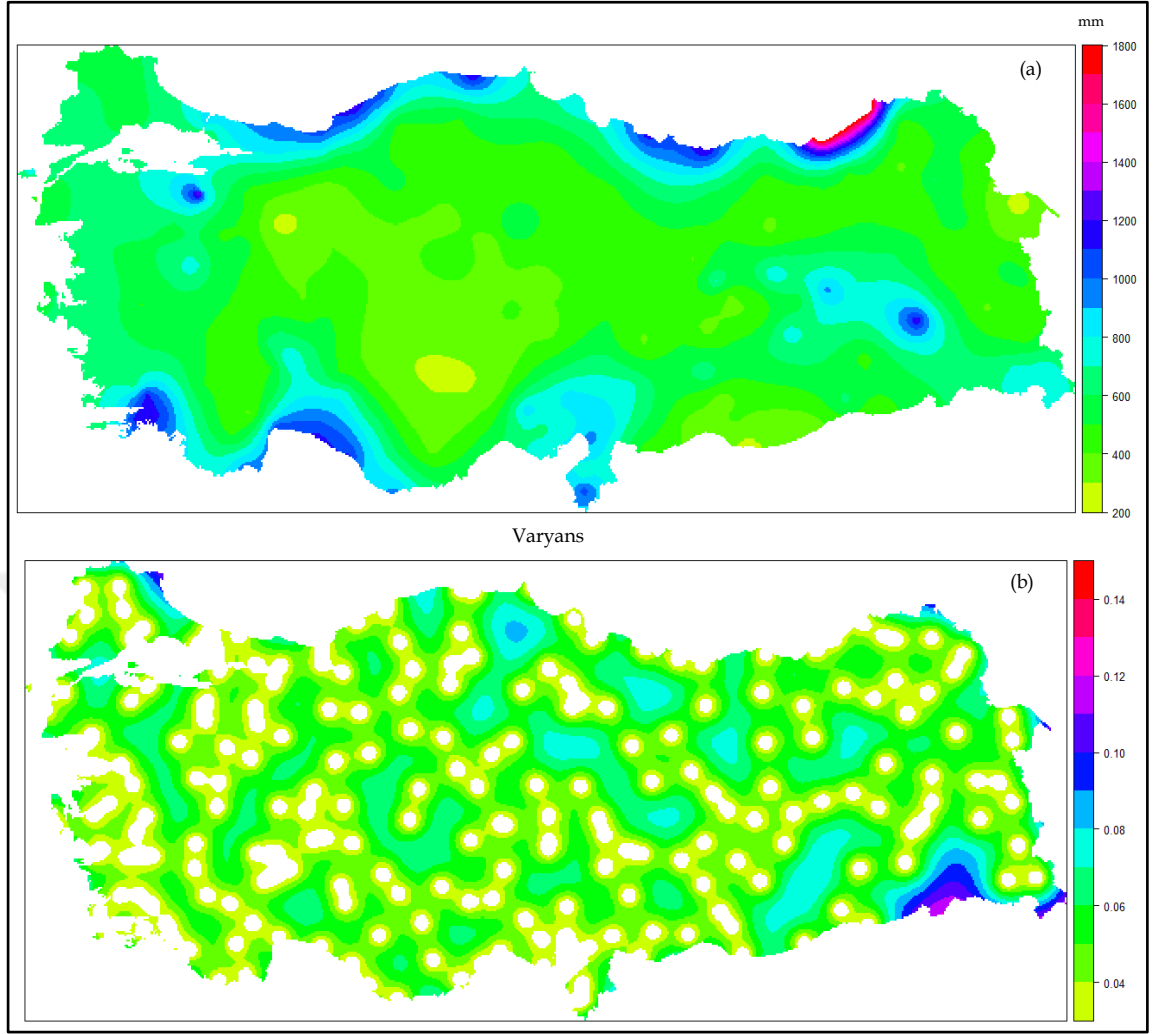


Şekil 25. Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Çizelge 13. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen Mátern yöntemi	Gözlemlenen
Minimum	300.0	258.6
Birinci Bölün	466.5	439.2
Ortanca	582.4	564.6
Ortalama	606.3	624.7
Üçüncü Bölün	692.0	727.9
Maksimum	1804.2	2249.9



Şekil 26. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

Şekil 26a, OK tahmin sonuçlarının logaritmik değerden gerçek değere dönüşümü sonucu elde edilen yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritasını, Şekil 26b varyans haritasını göstermektedir. Tahmin haritası Spherical model, Fit Method 7 kullanılarak oluşturulan tahmin haritası ile benzer özellikler göstermekte olup, Türkiye'nin orografik ve bakı koşulunu iyi yansıttığı gözlemlenmektedir.

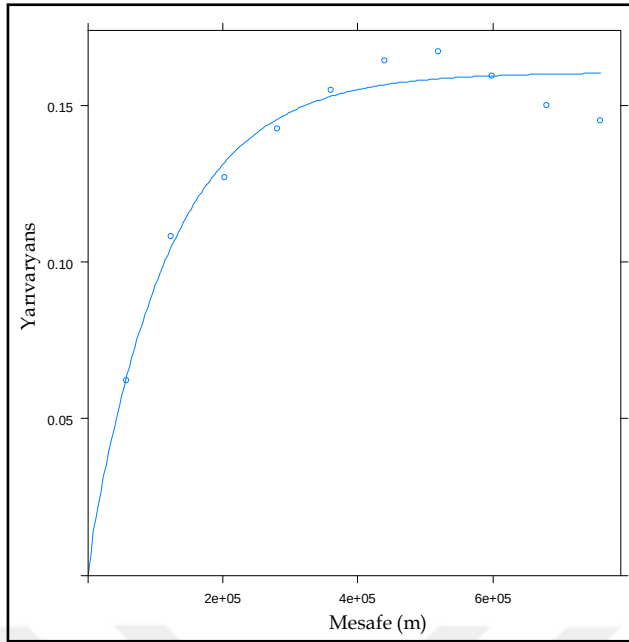
OK yöntemlerinin doğruluğunu gösteren ME, MAE, RMSE ve R^2 değerleri Çizelge 14’te verilmiştir. Çizelgede Spherical model, Fit Method 7’de elde edilen sonuçlara göre yüksek R^2 ve düşük MAE ve RMSE değerleri gözlemlenmektedir.

Çizelge 14. OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R^2
Ordinary Kriging (Mátern)	-18.40	113.98	183.61	0.61

5.1.6. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Nested Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için uygun yarıvariogram yapısının belirlenmesinde bir başka teorik yarıvariogram modeli olan “Nested” kullanılmıştır. Nested model, deneysel bir yarıvariograma tek teorik modelin tam olarak oturtulamadığı durumlarda birden fazla teorik modellerin ard arda kullanılmasıyla oluşan teorik yarıvariogramların genel adı olarak bilinmektedir. Nested tip teorik yarıvariogram modeli Şekil 27’de gösterilmiştir. Teorik yarıvariograma oturan yıllık ortalama toplam yağış değişkeninde ilk yarıvariogram tipi “Hole” olarak ayarlanmıştır. Bu modele ait eşik değer 0.04, etki uzaklığı 2 km’dir. Daha sonra Mátern tip teorik yarıvariogramı oluşturulmuştur. Bu modelin eşik değeri 0.16 etki uzaklığı, 119.1 km olarak kaydedilmiştir (Çizelge 15).



Şekil 27. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli

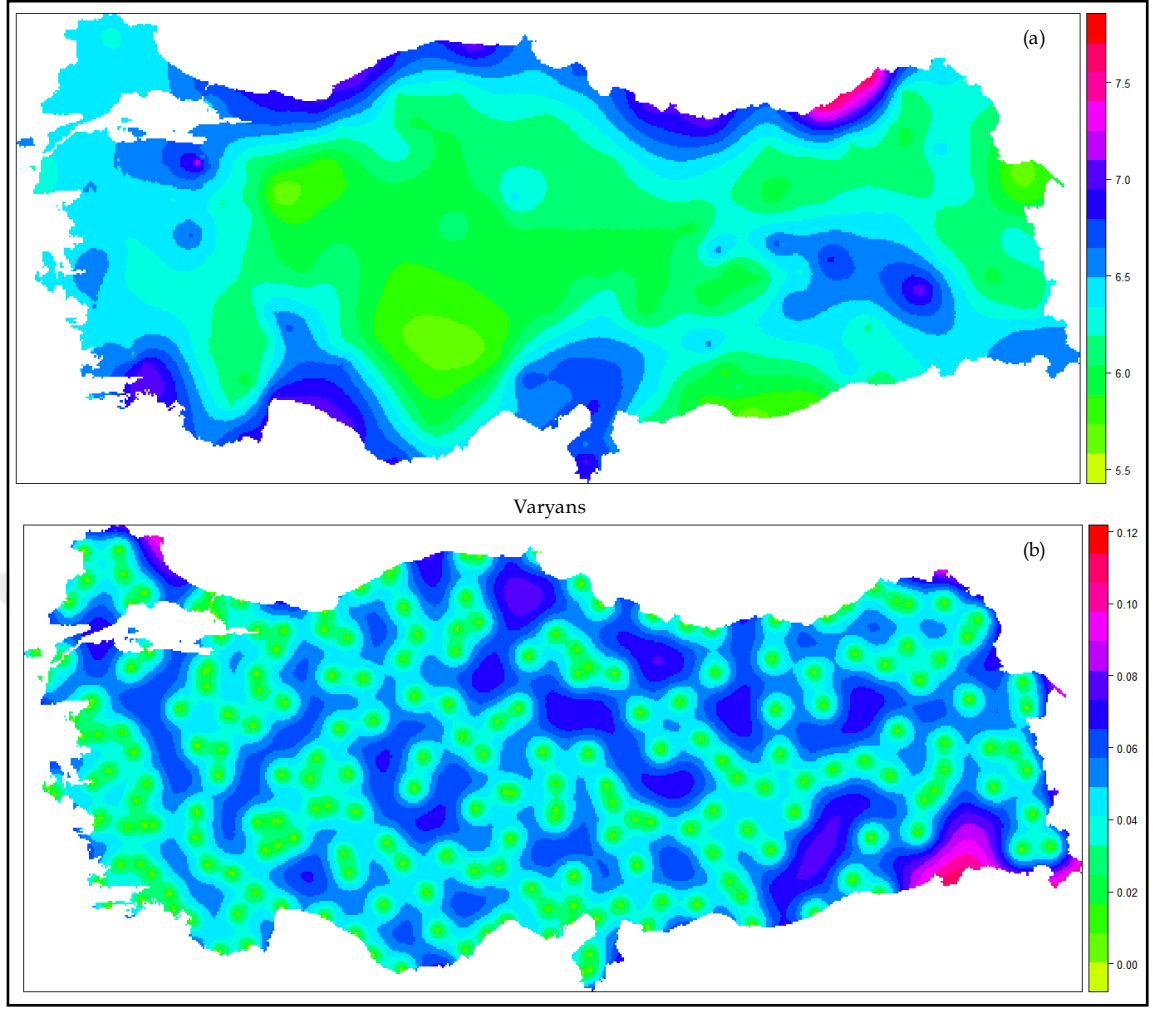
Not: Teorik yarıvariogramın elde edilmesinde “*Hole, Mátern modeller ve Fit Method 7*” kullanılmıştır.

Çizelge 15. Teorik yarıvariogram sonucu

Model	Eşik değeri	Etki uzaklığı (km)
Hol	0.04	2
Mat	0.16	119.1

Not: Hol, Hole; Mat, Mátern modellerinin kısaltmasıdır.

Oluşturulan teorik yarıvariogramın parametreleri belirlendikten sonra gözlemi bulunmayan yerlerin tahmini için OK tahmin yöntemi kullanılmıştır. OK tahmin haritası ve varyans haritası Şekil 28 (a, b)’de gösterilmiştir.

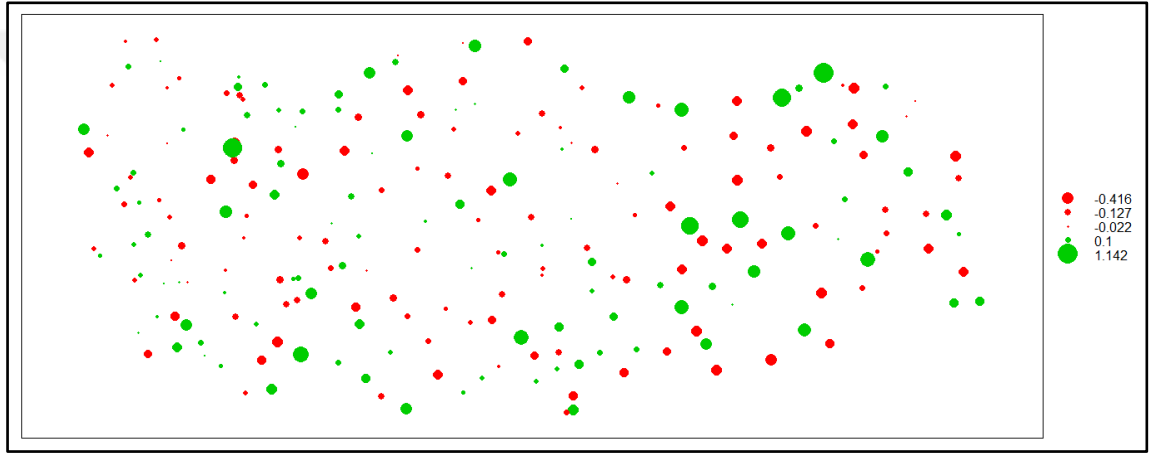


Şekil 28. (a) Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası; (b) yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası varyansı

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü gerçekleştirildikten sonra yapılmıştır.

Şekil 29 Çapraz Geçerlilik sonucu oluşturulan hata tahmin haritasını göstermektedir. Sonuç, Spherical model ve Fit Method 7 ile Mátern model ve Fit Method 7 kullanılarak elde edilen hata tahmin sonuçlarıyla benzerdir. Yüksek yağışlı alanlarda düşük tahmin hatalarına, düşük yağışlı alanlarda yüksek tahmin hatalarına rastlanılmaktadır. Yüksek tahmin değerine sahip alanların tektonik, karstik ve vadi gibi depresyon alanlarının bulunduğu sahalarda

olduğu dikkat çekmektedir. Bu teorik yarivariogram kullanılarak elde edilen sonuçlar diğer teorik yarivariogramlar kullanılarak elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında yüksek ve düşük tahmin değerleri gösteren alanların bu modelde daha düşük değerlere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Çizelge 16 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarını göstermektedir.



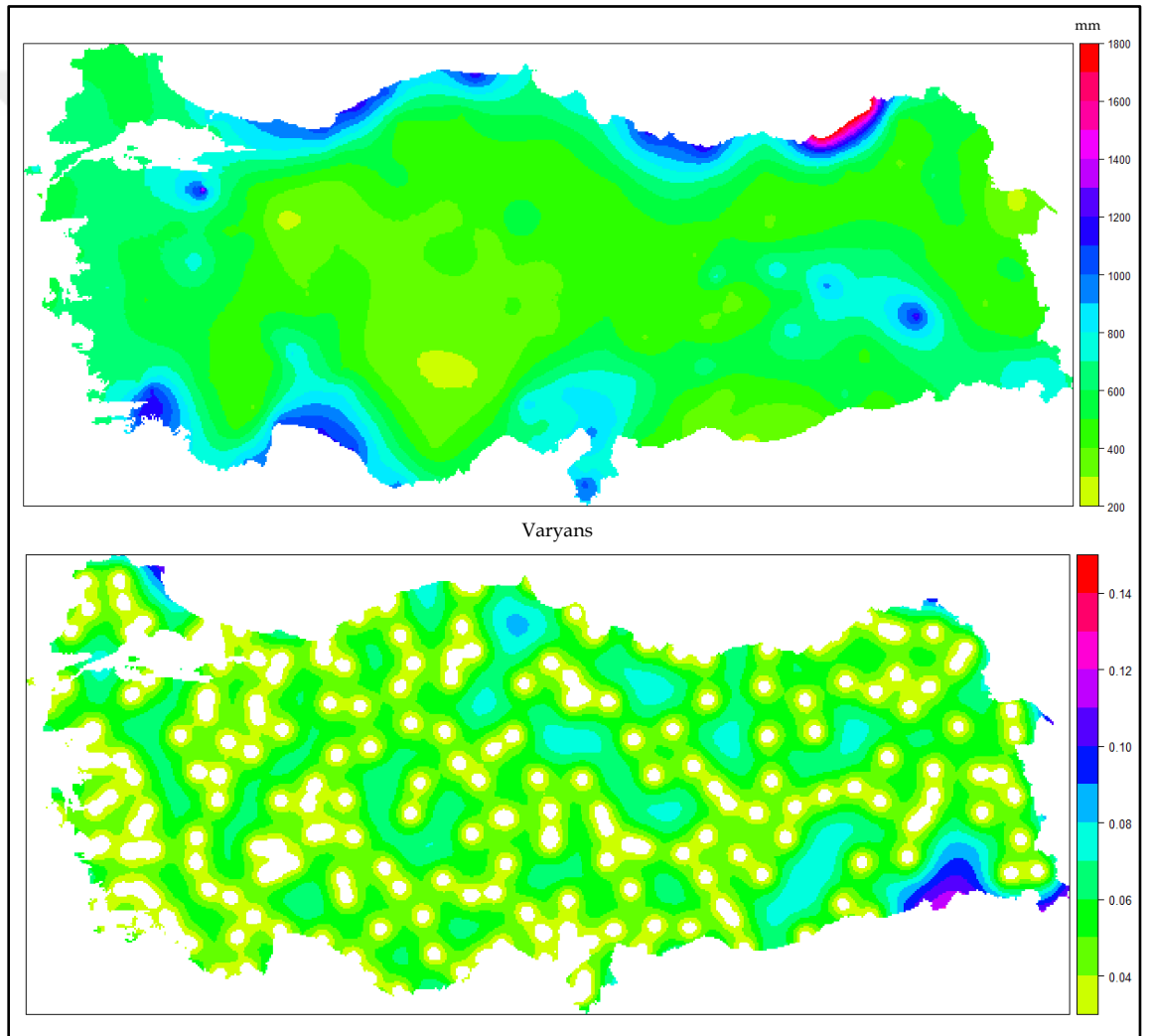
Şekil 29. Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Çizelge 16. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen Nested yöntemi	Gözlemlenen
Minimum	300.7	258.6
Birinci Bölün	466.9	439.2
Ortanca	582.3	564.6
Ortalama	605.9	624.7
Üçüncü Bölün	690.4	727.9
Maksimum	1785.0	2249.9

Şekil 30a, OK analiz sonucu elde edilen yıllık ortalama tahmin haritasının logaritmik değerlerden tekrar orijinal değerlere dönüştürülmesiyle elde edilen yağış dağılışı haritasını, Şekil 30b varyans haritasını göstermektedir. Elde edilen harita diğer teorik yarıvariogram modelleri kullanılarak oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış dağılışı haritalarıyla örtüşmektedir. Tahmin haritasında bakı ve orografik koşullarının hâkim olduğu alanların iyi yansıdığı ortadadır.



Şekil 30. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

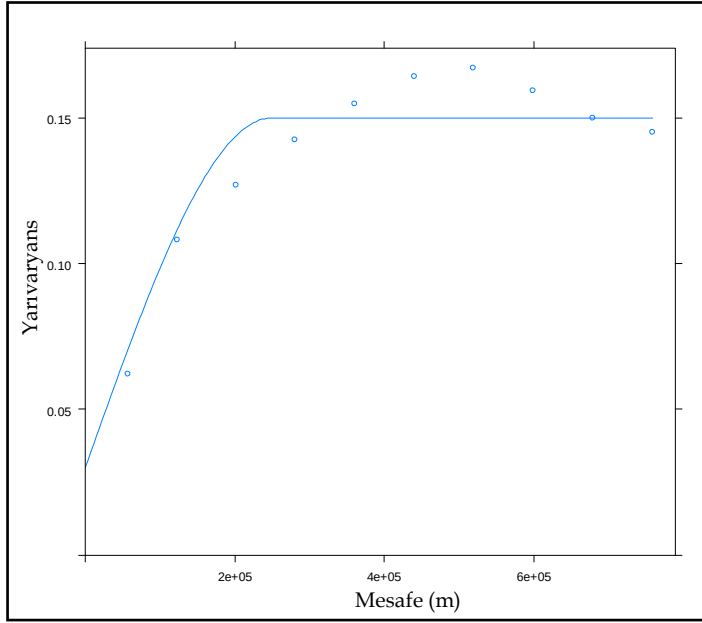
Çizelge 17 ise, Nested (Hole&Matern) teorik yarıvariogram sonucu oluşturulan OK modelinin performans değerlerini göstermektedir. Sonuçlar diğer modellerle kıyaslandığında, yüksek R^2 değeri ve düşük ME, MAE ve RMSE değerleri vermektedir.

Çizelge 17. OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R^2
Ordinary Kriging (Nested)	-18.84	113.78	183.44	0.62

5.1.7. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Eye Fit Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için uygun teorik yarıvariogram yapısının belirlenmesinde oturtma yöntemlerinden biri olan Gözle Oturtma (Eye Fit) Spherical modelde kullanılmıştır. Eye Fit yönteminin diğer teorik yarıvariogram oluşturma yöntemlerinden farkı, modelin deneysel yarıvariogramın neresinden geçmesi gerektiğinin kullanıcı tarafından manuel olarak belirlenmesidir. Bu çalışmada Eye Fit R 3.1.0 programının geoR paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eye Fit yöntemiyle oluşturulan Spherical teorik yarıvariogram modeline ait grafik Şekil 31’ de gösterilmiştir.



Şekil 31. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli

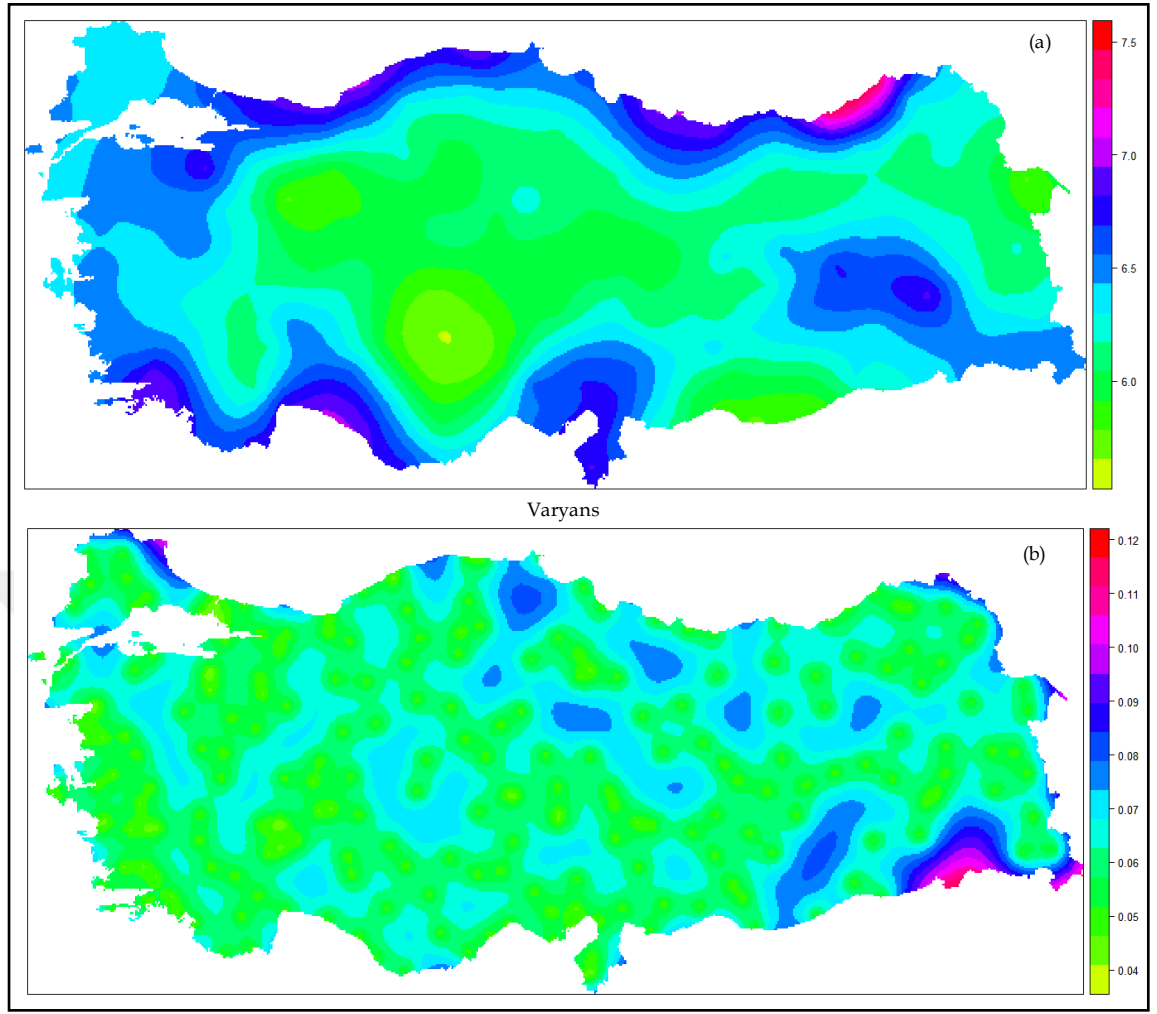
Not: Teorik yarıvariogramın elde edilmesinde “*Spherical model*” kullanılmıştır.

Teorik yarıvariograma oturan yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin eşik değeri 0.12, etki uzaklığı, 249.5 km olarak tespit edilmiştir (Çizelge 18). Eye Fit yöntemi ile elde edilen teorik yarıvariograma ait parametreler OK tahmin analizi için kullanılmaktadır. OK tahmin haritası ve varyans haritası Şekil 32 (a, b)’de gösterilmiştir.

Çizelge 18. Teorik yarıvariogram sonucu

Model	Eşik değeri	Etki uzaklığı (km)
Nug	0.03	0
Sph	0.12	249.5

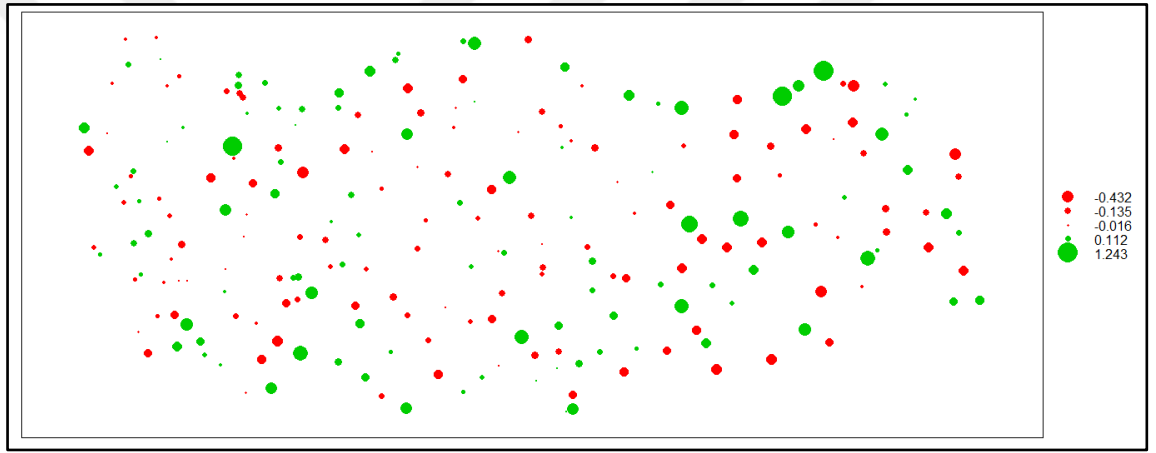
Not: Nug, Nugget; Sph, Spherical modellerinin kısaltmasıdır.



Şekil 32. (a) Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası; (b) yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası varyansı

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü gerçekleştirildikten sonra yapılmıştır.

Spherical (Eye Fit) teorik yarıvariogram modelinin kullanılmasıyla elde edilen OK analiz sonucu Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir (Şekil 33). Hata tahmin değerleri genel olarak diğer yöntemlerle elde edilen sonuçlara benzer olmasına rağmen, özellikle Spherical model, Fit Method 7 yöntemi sonucu elde edilen hata tahmin sonuçlarına daha yakın olduğu gözlemlenmektedir. Gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları Çizelge 19’da verilmiştir.



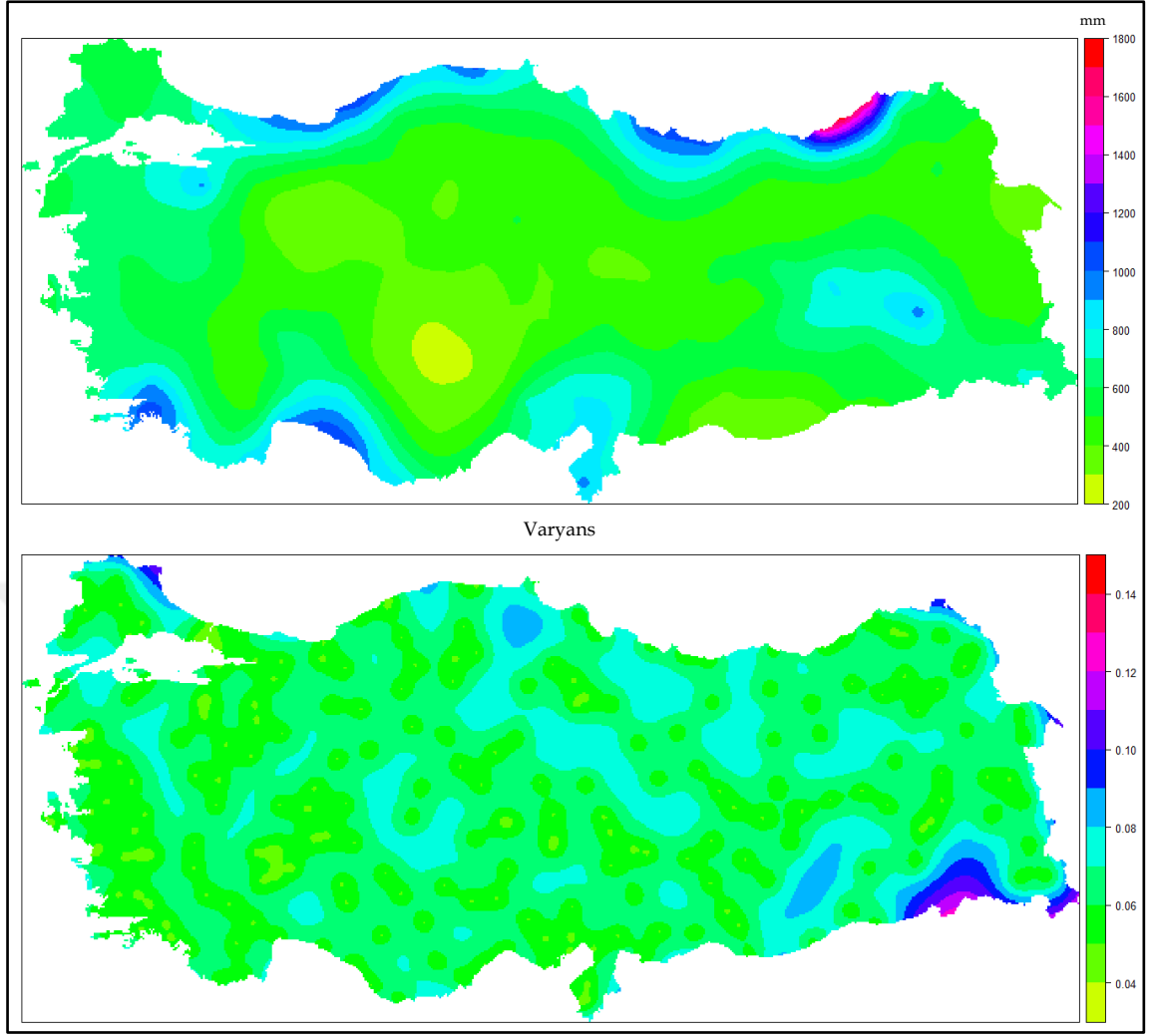
Şekil 33. Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Çizelge 19. Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen Eye Fit yöntemi	Gözlemlenen
Minimum	288.2	258.6
Birinci Bölün	470.4	439.2
Ortanca	579.4	564.6
Ortalama	600.3	624.7
Üçüncü Bölün	709.7	727.9
Maksimum	1445.5	2249.9

Türkiye yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik değerden orijinal değerlerine dönüştürülmesiyle elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası Şekil 34a'da gösterilmektedir. Şekil 34b'de Türkiye yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik değerden orijinal değerlerine dönüştürülmesiyle elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış varyans haritasıdır. Harita diğer yöntemlerden elde edilen yağış tahmin haritalarına benzer özellikler göstermektedir. OK modelinin ME, MAE, RMSE ve R^2 değerleri de aynı şekilde diğer yöntemlerle kıyaslandığında yaklaşık aynı sonuçlar vermektedir (Çizelge 20).



Şekil 34. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

Çizelge 20. OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
Ordinary Kriging (Eye Fit)	-24.41	118.15	368.60	0.58

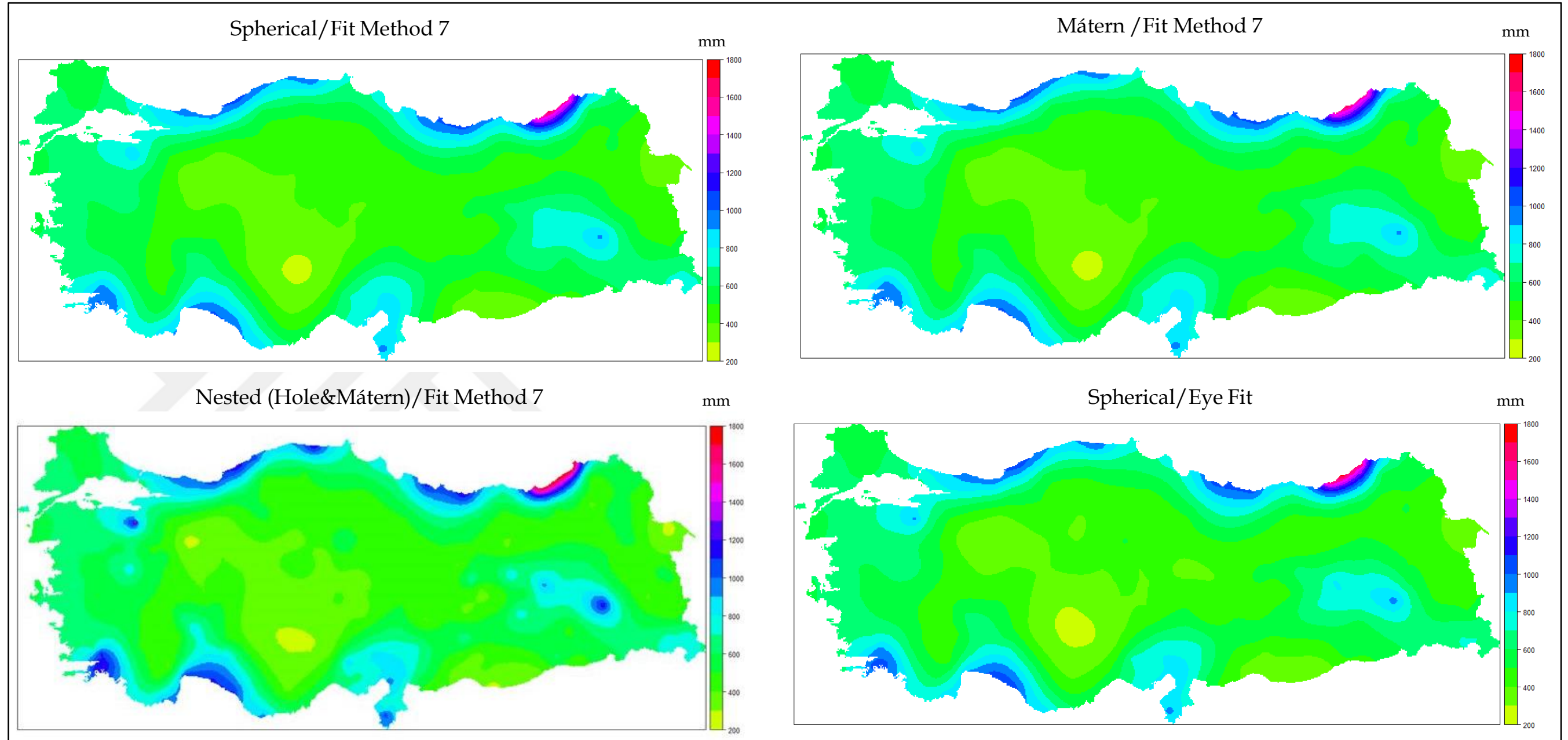
5.1.8. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Oluşturulan Global Modellerin Karşılaştırılması

Türkiye’de meteoroloji istasyonu bulunmayan yerlerin yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin doğru tahminini sağlamak amacıyla farklı teorik yarıvariogramlar oluşturulmuş ve bu teorik yarıvariogramlar kullanılarak OK analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçta farklı teorik yarıvariogramlar kullanılarak gerçekleştirilen OK analiz sonuçlarının performans karşılaştırılması Çizelge 21’de verilmiştir. Modeller karşılaştırıldığında sistematik sapmanın derecesini gösteren ME değeri tüm modeller için düşüktür. Uç değerleri de hesaplama dâhil eden RMSE değerleri, birbirlerine yakındır. Modeller arasında Nested ve Mátern modelleri en yüksek R^2 değerini vermiştir. Nested ve Mátern modelleri takip eden Fit Method 7 ve Eye Fit ile oluşturulan Spherical modeller aynı değere sahiptir. Modellere ait tahmin haritaları Şekil 35’de gösterilmektedir. Haritalar arasında büyük farklılıklar yoktur. Ancak, Nested ve Mátern ile oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış dağılışına ait tahmin haritaları incelendiğinde orografik uzanış ve bakı koşulunu daha güzel yansıttığı görülmektedir. Örneğin, Bursa, Uludağ-Zirve ve Tunceli, Bitlis çevresi gibi yüksek yağışlı alanlar iyi tahmin edilmiştir. Diğer taraftan, Karadeniz Bölgesi ile Ege Bölgesi’nde bakı ve orografik koşulları iyi yansıtması ve İç Anadolu Bölgesi’nde Konya-Karapınar çevresindeki yağış gölgesinde kalan alanları bütüncül olarak iyi tahmin etmesi bakımından diğerlerinden daha doğru tahmin haritaları oluşturduğu ortadadır. Her iki modelin performans

karşılaştırması göz önünde bulundurulduğunda, R^2 değerleri sırasıyla 0.61 ve 0.62, MAE ve RMSE değerleri de 183.44 ve 183.61'dir. ME değerleri arasında -0.44 kadar küçük bir fark gözlenmektedir. ME değerinin negatif olması tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğu anlamına gelmektedir. Bu değerlendirmeler altında, Nested (Hole&Matern) teorik yarıvariogram ve Fit Method 7 kullanılarak gerçekleştirilen OK analizi daha doğru tahmin haritasını oluşturulduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 21. OK modellerinin performans karşılaştırılması

Method	ME	MAE	RMSE (mm)	R^2
Spherical/Fit Method 7	-25.38	118.42	194.82	0.58
Matern/Fit Method 7	-18.40	113.98	183.61	0.61
Nested (Hole& Matern)/Fit Method 7	-18.84	113.78	183.44	0.62
Spherical/Eye Fit	-24.41	118.15	368.60	0.58



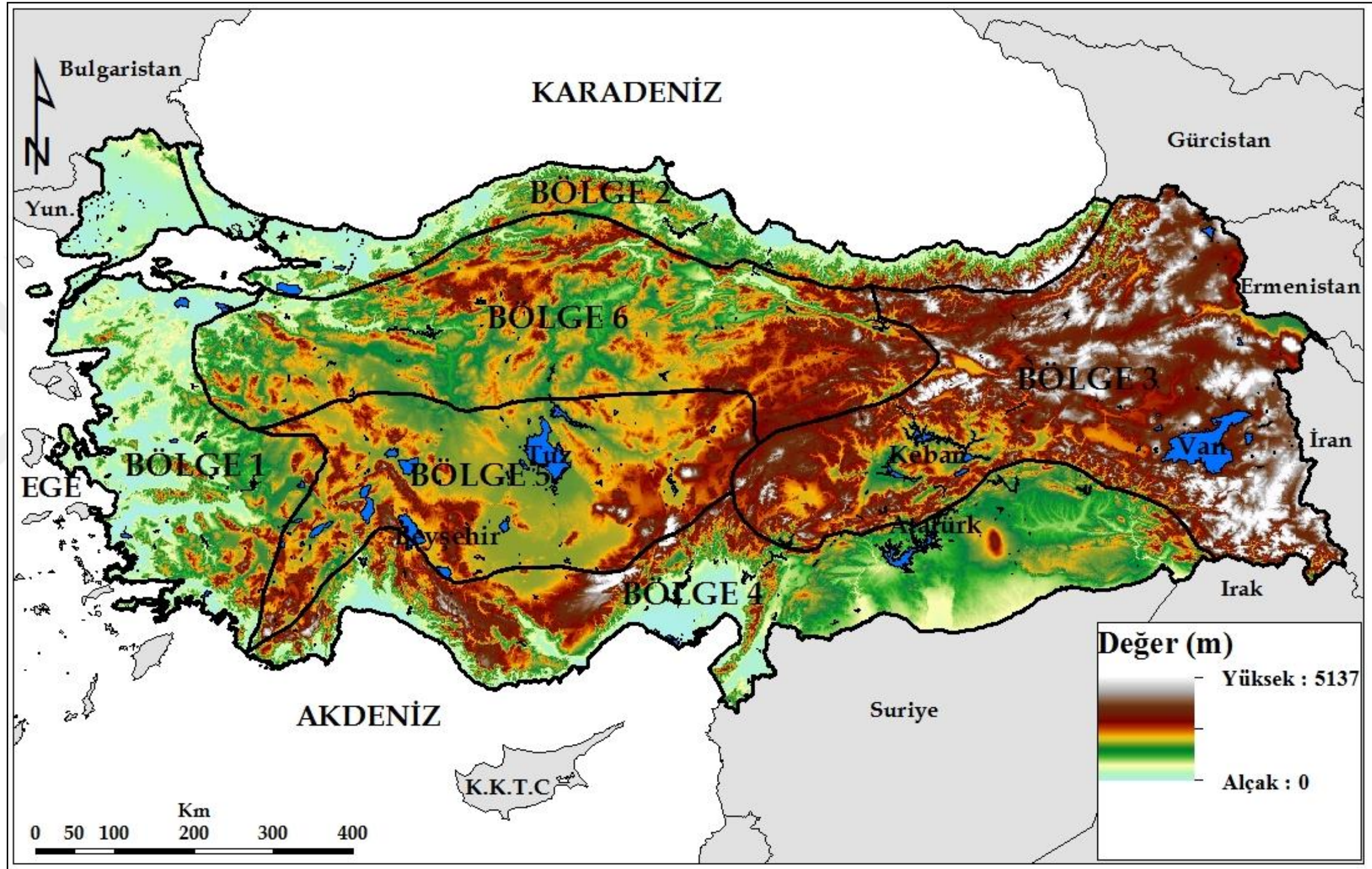
Şekil 35. Farklı yöntemler kullanılarak elde edilen Ordinary Kriging sonucu Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritaları

5.2. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Lokal Kriging Yöntemleriyle Araştırılması

Bu çalışmanın ikinci bölümünü lokal olarak yağış istasyonu olmayan herhangi bir noktada, yağış tahmin değerinin tespit edilmesi oluşturmaktadır. Lokal olarak gerçekleştirilen analizlerin, global olarak gerçekleştirilen analizlerden daha doğru sonuçlar verdiği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Llyod, 2010; Harris, 2011; Haas, 1990a; Pardo-Igúzquiza, vd., 2005). Çalışmanın en önemli amacı en doğru yağış tahmin modelini ortaya koymaktır. Bu sebeple, global olarak açıklanamayan mekânsal değişimlerin, lokal bir alandan elde edilen yarıvariogram modelleri ile açıklanabilirliğinin ortaya konulması önemli bir konudur. Bu şekilde durağan olarak kabul edilen bölgelerde yapılan lokal tahminler bir araya getirilerek, bütün çalışma sahasının özelliklerinin belirlenmesi daha etkili olabilmektedir.

Çalışmada öncelikle bölge sınırları ve her bölge sınırına düşen istasyon sayısı belirlenmiştir. Lokal modeller için gerekli bölge boyutları, Türkiye’nin jeomorfolojik özellikleri ve her bir bölgeye asgari 35 ölçüm noktası düşecek şekilde düzenlenmiştir (Haas, vd., 1990a). Bölge boyutunun belirlenmesi iki kriterle bağlıdır; (1) bölgenin büyüklüğü, bölge ne kadar küçük olursa ölçüm noktaları arasındaki varyasyon o kadar az olmaktadır, yani durağandır; (2) çift sayısı, bölge büyüdükçe daha doğru tahmin yapmak için daha çok gözlem noktasına ihtiyaç vardır. Yarıvaryansın tahmin edilebilme doğruluğu, kısmen tahminde kullanılan nokta çift sayısına bağlıdır. Bu nedenle iyi bir lokal tahmin

yapılması için bu iki kriterin en uygun şekilde seçilmesi gerekir (en uygun büyüklük ve örnek sayısı). Seçilen bölge lokalize bir alan olduğu için kısa adım mesafeleriyle oluşturulan teorik yarıvariogramlarla yapılan Kriging tahminleri, uzun adım mesafesiyle oluşturulanlara göre daha doğru sonuçlar vermektedir (Haas, vd., 1990a). Genel olarak, herhangi bir örnekleme alanında en kısa ve en uzun adım mesafesinde bulunması gereken örnek çift sayısı en az iki olmalıdır (Haas, vd., 1990a). Bu özellikler dikkate alınarak, bölge sınırları ve her bölgeye düşecek istasyon sayısı düzenlenmiştir (Şekil 36). Bölge sınırları ArcGIS 10.1 programında çizilmiş ve ileri analizler için R 3.1.0 programına aktarılmıştır.



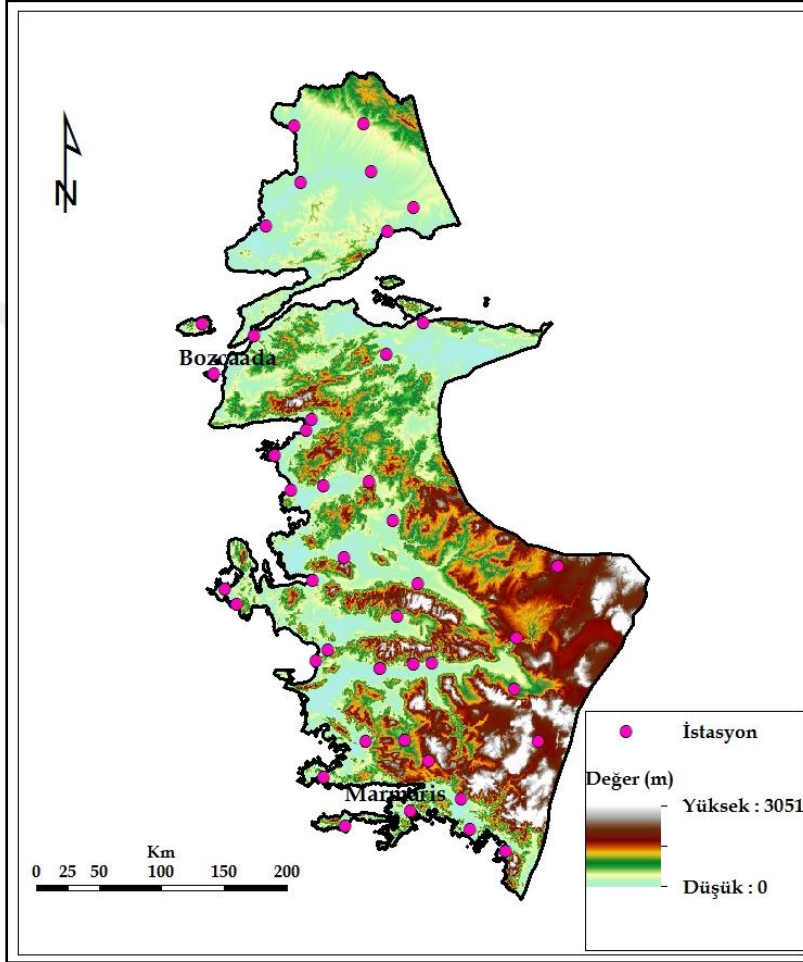
Şekil 36. Bölge sınırlarının gösterimi

5.2.1. Bölge 1’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı

Bölge 1 Türkiye’nin batı ve kuzeybatı kesimini içine almaktadır. Kıyılara doğru dik bir şekilde uzanan yüksek topografyanın, genelde doğu-batı doğrultulu ovalarla parçalanması ve birbirinden ayrılması, Bölge 1’in özellikle batı kıyılarının daha çeşitli ve çok girintili çıkıntılı nitelikte olmasına yol açmıştır. Yapı ve yer şekilleri özelliklerine bağlı olarak izlenen bu durum, Türkiye’nin diğer kıyı bölgelerine göre farklılık göstermesine neden olmuştur. Bölge 1’in kuzeybatı kesimi (Marmara Bölgesi sınırlarında kalan alanlar) sade yer şekli özelliği göstermektedir. Bu alanların ortalama yükseltisi azdır. Güney Marmara kıyıları girintili çıkıntılıdır. Buna karşın, kuzey kıyıları dik falezlerden meydana gelmiştir. Bu sebeple bu kıyılarda fazla girinti çıkıntı yoktur.

Bölge 1 Türkiye’nin kuzeybatı kesimini içine aldığından dolayı, Bölge 1’in iklim özelliklerinden bahsederken tek bir iklim altında adlandırmak doğru değildir. Ege Bölge’sinin yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olarak tanımlanan Akdeniz iklimi ile Marmara Bölgesi’ni karakterize eden geçiş iklimi etkisi altındadır. Marmara Bölgesi’nde karlı ve donlu günlerin sayısı kıyı kesimlerde en azdır. Bölge 1’in yağış ve sıcaklık değerleri güneyden kuzeye doğru farklılık göstermektedir. Karadeniz ve Akdeniz bölgelerinde kıyıya paralel dağların birbirine yakın yerlerde yarattıkları büyük iklim zıtlıkları burada görülmemektedir (Darkot ve Tuncel, 1988:13). Bölge 1’de toplam 43 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bölge 1’in sınırı ve bölgeye düşen meteoroloji istasyonlarının dağılımı Şekil 37’de verilmiştir. Buna göre, en düşük

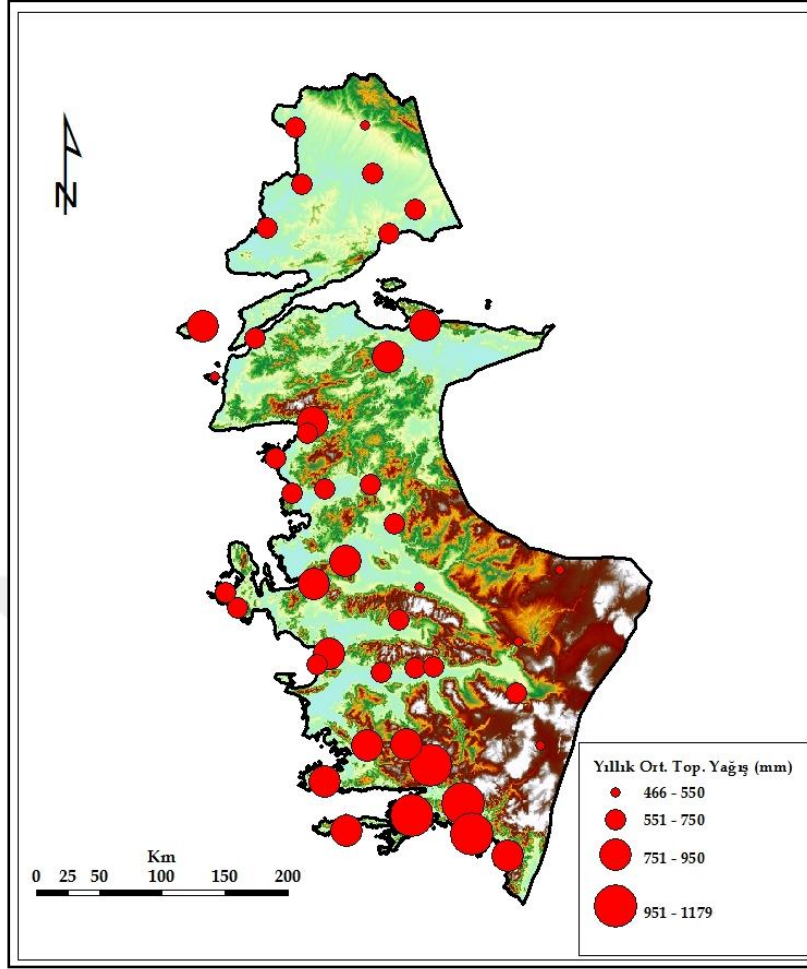
yıllık ortalama toplam yağış değerine sahip istasyon 28 m'de 466.2 mm ile Bozcaada istasyonudur. Yükseltisi 16 m'de olan Marmaris istasyonu, 1179.4 mm'lik yıllık ortalama toplam yağış değeri ile en yüksek yağışa sahiptir.



Şekil 37. Bölge 1'deki meteoroloji istasyonlarının dağılışı

5.2.1.1. Bölge 1 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması

Bölge 1'in 1975-2010 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin coğrafi dağılışı haritası Şekil 38'de gösterilmektedir. Bu haritaya göre yağış değerlerinin hem kıyı kesiminden iç kesimlere doğru hem de genel olarak güneyden kuzeye doğru azaldığı dikkat çeker. Şekil 38 ve Çizelge 22'ye göre, yıllık ortalama toplam yağışın 466-550 mm olduğu Bozcaada, Salihli, Acıpayam, Güney, Uşak ve Kırklareli istasyonlarının bulunduğu yerler düşük yağış değerine sahip alanları oluşturmaktadır. Dalaman, Köyceğiz, Muğla ve Marmaris istasyonlarının bulunduğu 951-1179 mm arası yıllık ortalama toplam yağış değerine sahip yerler, yüksek yağışlı alanlar olarak izlenmektedir. Yüksek yağış değerine sahip bu alanlar incelendiğinde bunların güneybatıdan gelen hava kütlelerine açık ve orografik etkilerinin kuvvetli olduğu istasyonların bulunduğu alanları, düşük yağış değerine karşılık gelen alanların ise, İç Batı Anadolu denizel etkilere uzak veya Salihli, Bozcada gibi denizel olmasına rağmen, kuzeye bakan istasyonların bulunduğu alanlardan oluştuğu görülmektedir.



Şekil 38. Bölge 1 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi

Çizelge 22. Bölge 1’de yağış frekans tablosu

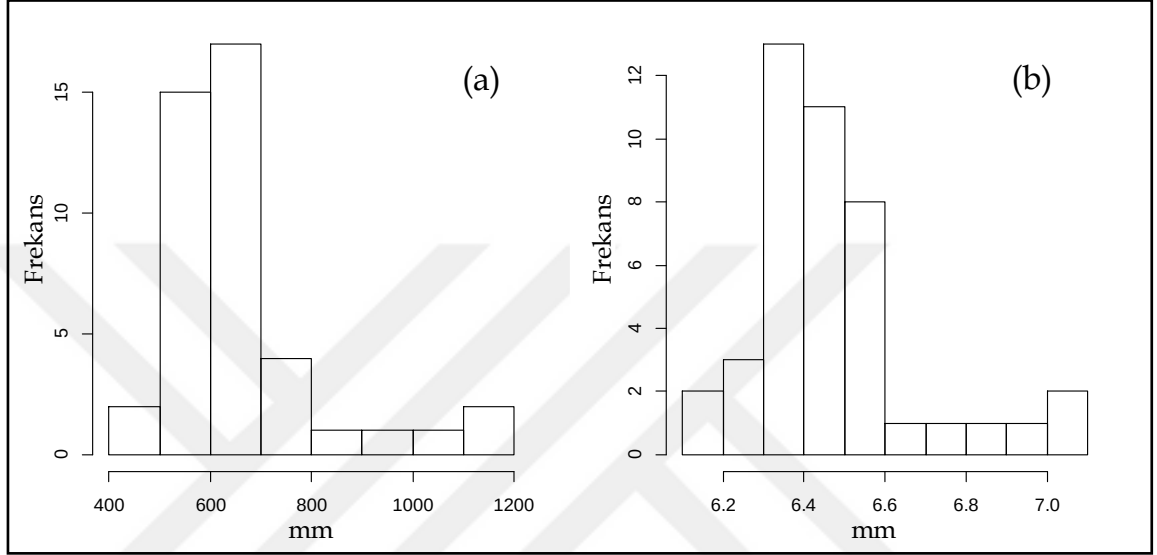
(466-550)	(551-750)	(751-950)	(951-1179)
Bozcaada	Denizli	Burhaniye	Fethiye
Salihli	Akhisar	Aydın	Dalaman
Acıpayam	Çeşme	Ayvalık	Köyceğiz
Güney	Ödemiş	Bergama	Muğla
Uşak	Çorlu	Uzunköprü	Marmaris
Kırklareli	Lüleburgaz	Yatağan	
	Tekirdağ	Datça	
	Edirne	Selçuk	
	Dikili	Gönen	
	Nazilli	Edremit	
	Soma	Bodrum	
	Çanakkale	İzmir	
	Sultanhisar	Milas	
	İpsala	Manisa	
	Seferihisar	Bandırma	
	Kuşadası	Gökçeada	

Çizelge 23 uzun süreli yağış gözlemi yapan 43 meteoroloji istasyonunun elde edilen yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin tanımlayıcı istatistik değerlerini göstermektedir. Buna göre, yıllık ortalama toplam yağışın maksimum değeri 1179.4 mm, minimum değeri 466.2 mm'dir. Bölge içerisindeki yağış genişliği 713.2 mm'dir. Bu değer ortalama yağış değerinden (660.8 mm) büyük olması ve 159.1 mm olan standart sapma değerinin ortalama yağışın 1/4'nü bulması bölgede yıllık ortalama toplam yağış dağılışında büyük farklılıkların olduğunu belirtmektedir. Şekil 39a bölgede yıllık ortalama toplam yağış dağılışındaki bu farkı göstermektedir. Grafik incelendiğinde düşük şiddetli yağışlarda frekansın yüksek, yüksek şiddetli yağışlarda ise frekansın düşük olduğu görülmektedir. Çizelge 23 ve Şekil 39a bölgedeki yağışın sağa çarpık olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durumu düzeltmek için istasyonların yıllık yağışlarına logaritmik dönüşüm uygulanmış ve dağılımın normal dağılıma yaklaşması sağlanmıştır (Şekil 39b). Ancak, yağış genişliğinin çok yüksek olması logaritmik dönüşüm işleminin tam olarak gerçekleşmesini engellemiştir.

Çizelge 23. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)

Ort.	Std. Sap.	Min.	Ortanca	Maks.	Mod
660.8	159.1	466.2	614.5	1179.4	-

Not: Ort, Ortalama; Std. Sap, Standart Sapma; Min, Minimum; Maks, Maksimum'un kısaltmasıdır.



Şekil 39. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım

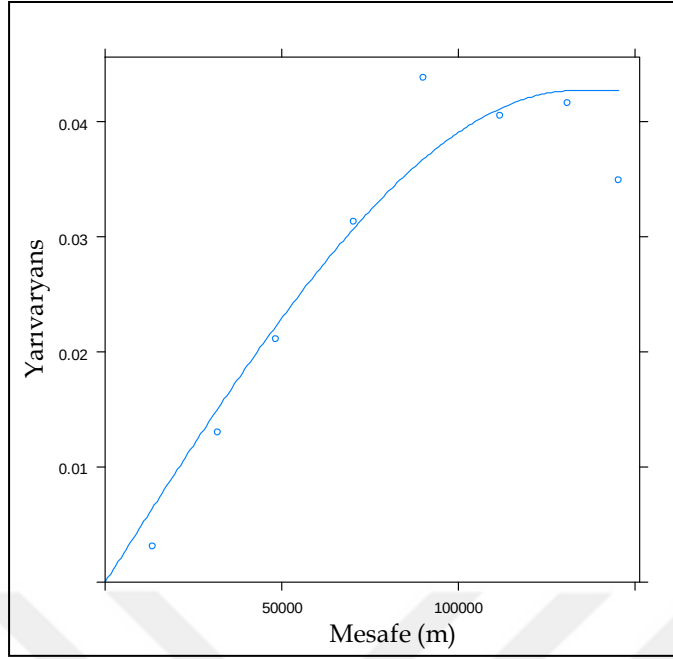
5.2.1.2. Bölge 1 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneysel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması

İstasyonlar arasındaki adım mesafesi ve sınıf sayısı, incelenen yıllık ortalama toplam yağış değişkenini temsil edebilecek en uygun model bulununcaya kadar değişik aralık ve sayıda Bölge 1 için işleme alınmıştır. Yıllık ortalama toplam yağış değerlerine ait en uygun adım mesafesinin 20 km ve sınıf sayısının 8 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 24). Çizelge 24’de, aralarında 13.4 km olan 4 çift ve aralarında 145.5 km olan 29 çift bulunmaktadır. Bölge 1’in deneysel yarıvariogramında değerlendirilmesi gereken önemli bir nokta

yarıvaryans değerlerindeki değişimdir. Adım mesafesi 90 km'ye kadar yarıvaryans değerleri artarak 0.04 değerine ulaşmıştır. Bu değerden sonra yarıvaryans değeri sabitlenmiş ve daha sonra azalmaya başlamıştır. Diğer bir değişle bu yarıvaryans değerinden sonra bölgede yıllık ortalama toplam yağış değerleri arasında mekânsal bir ilişkinin olmadığı söylenebilir. Deneysel yarıvariogramda oluşturulan çiftlerin yarıvaryans değerleri tepe noktasına hemen ulaşmamakta ve daha uzun mesafeye yayılarak kademeli bir artış göstermektedir (yarıvaryans değerleri grafikte sağa yatık olarak seyretmektedir). Bu nedenle deneysel yarıvariogramdaki yarıvaryans değerlerine en iyi oturan model olarak “*Exponential*” tip teorik yarıvariogram modeli seçilmiş ve hesaplamalar bu teorik yarıvariogram üzerinden yapılmıştır. Bölge 1 için Exponential model ve Fit Method 7 kullanılarak oluşturulan teorik yarıvariogram modeli Şekil 40’da gösterilmektedir.

Çizelge 24. Bölge 1 için deneysel yarıvariogramın sonuçları

	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Yarıvaryans
1	4	13.4	0.00
2	16	32.0	0.01
3	37	48.5	0.02
4	49	70.4	0.03
5	61	90.0	0.04
6	59	112.0	0.04
7	56	130.9	0.04
8	29	145.5	0.03



Şekil 40. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvარიogram modeli

Not: Teorik yarıvარიogramın elde edilmesinde “*Exponential model ve Fit Method 7*” kullanılmıştır.

Exponential ve Fit Method 7 ile oluşturulan teorik yarıvარიogram sonucunda, Bölge 1 için yıllık ortalama toplam yağış değışkeninin eşik değeri 0.04, etki uzaklığı, 133.1 km’dir (Çizelge 25).

Çizelge 25. Bölge 1 teorik yarıvარიogram sonuçları

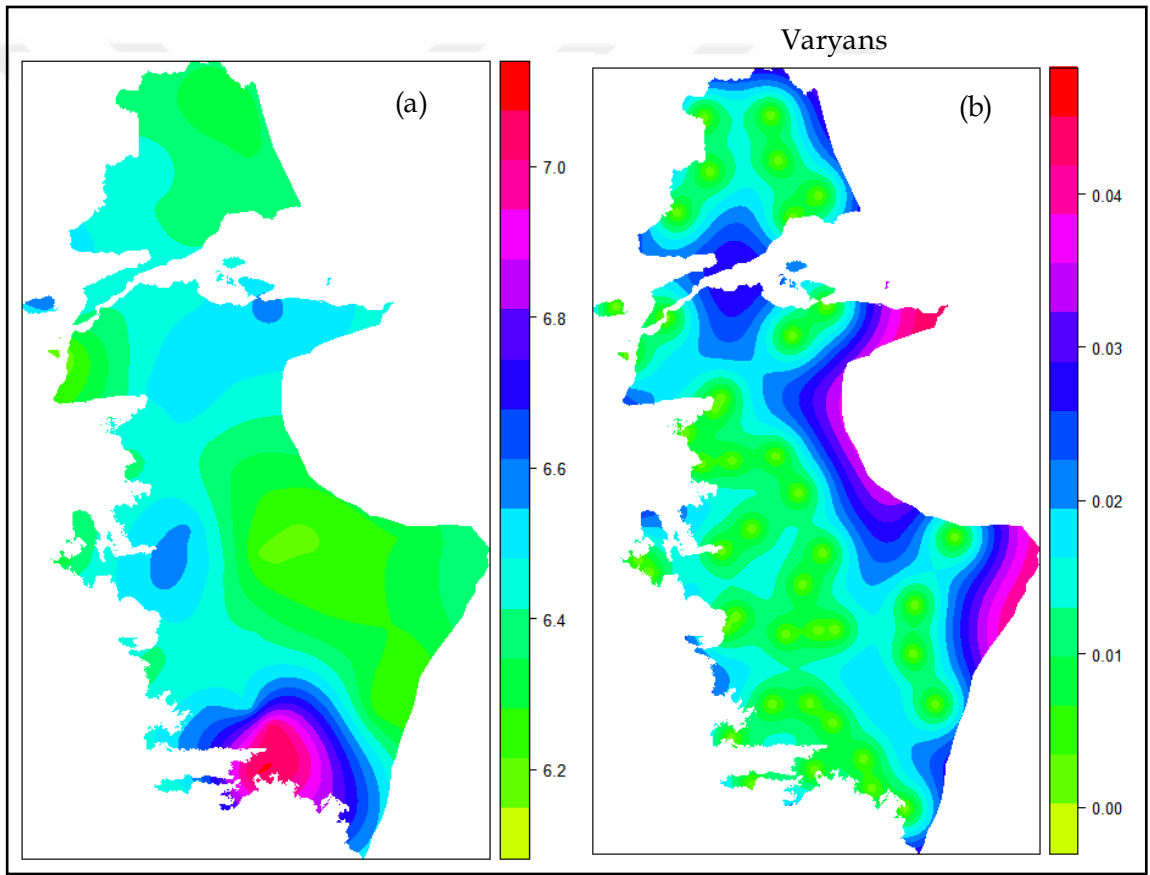
Model	Eşik değeri	Etki uzaklığı (km)
Nug	0.00	0
Exp	0.04	133.1

Not: Nug, Nugget; Exp, Exponential modellerinin kısaltmasıdır.

5.2.1.3. Bölge 1 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

Teorik yarıvარიogramın parametreleri belirlendikten sonra gözlemi bulunmayan yerlerin değeri OK tahmin yöntemi ile hesaplanmıştır. OK tahmin ve tahmin varyans haritaları Şekil 41’de gösterilmektedir. Bölge 1’e ait tahmin varyans değeri dağılımını gösteren harita incelendiğinde Istaranca

Dağlarının kuzey yamaçları, Kütahya çevresindeki yüksek kesimleri ile Uşak güneyindeki dağlık sahada tahmin varyans değerlerinin 0.02 değerinden büyük olduğu görülmektedir. Bu durum istasyon ağının bu bölgelerde az ve bakı faktörünün kuvvetli olması ile ilişkilidir. Ergene Havzası ve Asıl Ege Bölümü'nde, istasyon ağının sıklığı ve topografyanın iç kesimlere göre daha az engebeli oluşu varyans değerlerinin yüksek olmasını sağlamıştır.



Şekil 41. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü gerçekleştirildikten sonra yapılmıştır.

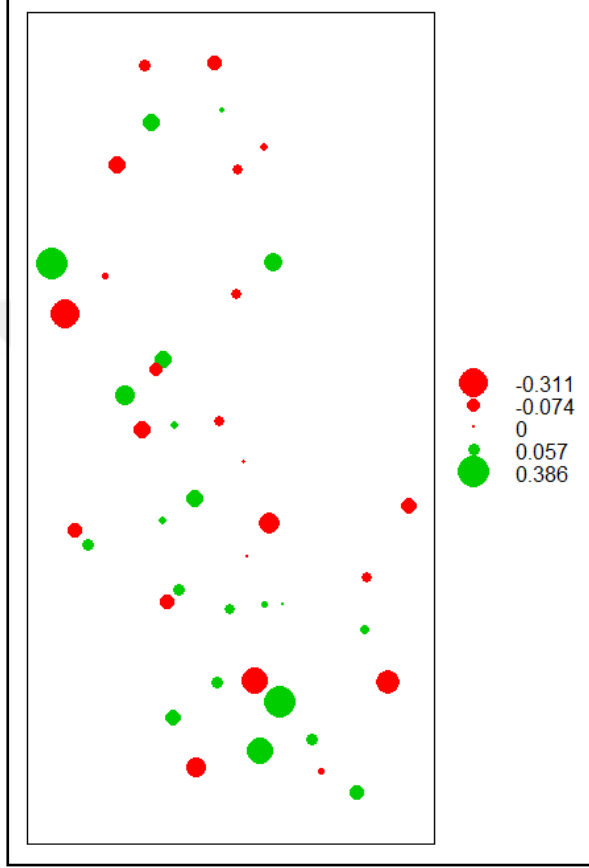
5.2.1.4. Bölge 1'in Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini

Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi

Kriging analizi, Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Bu yöntemle ait sonuç haritası Şekil 42'te gösterilmektedir. Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 26'da verilmiştir. Son olarak, Şekil 43 (a,b) OK enterpolasyon sonuçlarının logaritmik tahminden tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı ve varyans haritalarını göstermektedir.

Yağış dağılışı modelinin Çapraz Geçerlilik yöntemiyle elde edilen hata haritası incelendiğinde gözlemlenen değer ile fazla veya az hata tahminlerinin iç içe girdiği görülür. Bu durum büyük olasılıkla topografyanın etkisi ile oluşmaktadır. Örneğin Trakya'daki istasyonlar incelendiğinde tabana yakın olan Uzunköprü ve Lüleburgaz gibi istasyonlarda düşük tahmin yapıldığı, Ergene Havzası'nı çevreleyen Kırklareli, Edirne, Çorlu gibi istasyonlarda yüksek tahmin yapıldığı görülür. Yine güney bakılı Seferihisar'da düşük tahmin, kuzey bakılı Çeşme'de yüksek tahminler elde edilmiştir. Güney bakılı Aydın, Söke, Nazilli istasyonlarında düşük tahmin, Salihli istasyonunda yüksek tahmin değerleri elde edilmiştir. Güney bakılı Ödemiş istasyonu gözlemlenen yağış ile model yağış değeri arasında fark bulunmayan tek istasyondur. En yüksek yağış değerlerinin görüldüğü güneybatı Anadolu'da da yağış dağılışı topografyanın kontrolündedir. Marmaris, Köyceğiz, Bodrum gibi güney bakılı

istasyonlarda yağış değerleri düşük tahmin edilirken, Datça, Yatağan gibi kuzey bakılı veya depresyon tabanında yer alan istasyonlarda yüksek tahmin yapılmaktadır.



Şekil 42. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

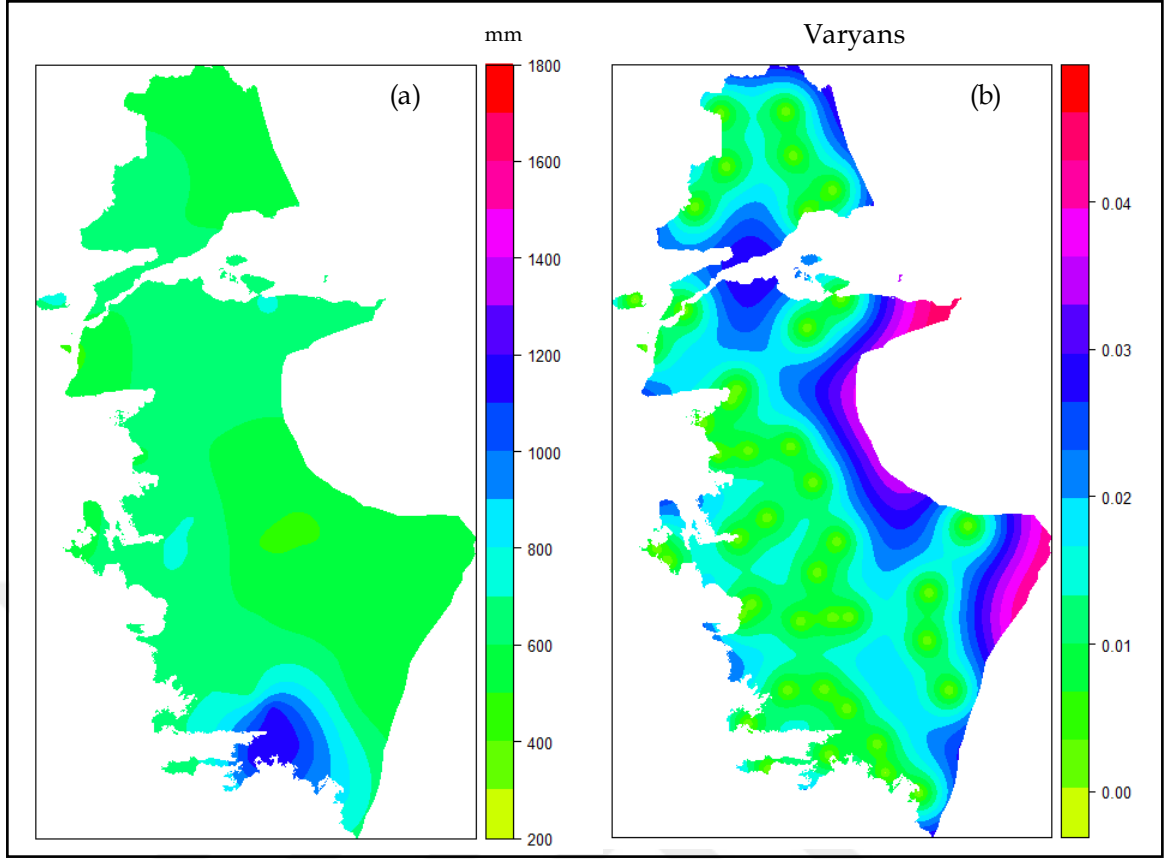
Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Çizelge 26'da, gözlemlenen yağış değerlerinin düşük olduğu istasyonlarda modelin yüksek yağış tahmini yaptığı, yüksek değerli yağışlarda az tahmin yaptığı ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 26. Bölge 1 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	530.7	465.2
Birinci Bölün	587.1	576.0
Ortanca	620.2	613.5
Ortalama	657.4	659.8
Üçüncü Bölün	669.7	680.6
Maksimum	1033.0	1178.4

Modelden elde edilen logaritmik yağış değerlerinin dönüşümü yapıldıktan sonra incelenen yıllık ortalama toplam yağış haritasında, güneybatı Anadolu'da Muğla, Marmaris çevresinde yağış değerlerinin 1000 mm'yi aştığı, Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz ovalarının aşağı kesimlerinde yağış değerlerinin 600-700 mm arasında değiştiği, geride kalan dağlık kesimlerinde yağış değerlerinin 600 mm altına düştüğü görülmektedir (Şekil 43).



Şekil 43. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

Bölge 1 için OK yağış modelinin performans değerleri Çizelge 27’de gösterilmiştir. Oluşturulan modelin R^2 değeri 0.60 olup, modelin alansal ilişkisinin kabul edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır. ME değerinin sıfıra yakın olması modelin tahmin yeteneğinin iyi olduğunu göstermektedir.

Çizelge 27. Bölge 1 OK modelinin performans değerleri

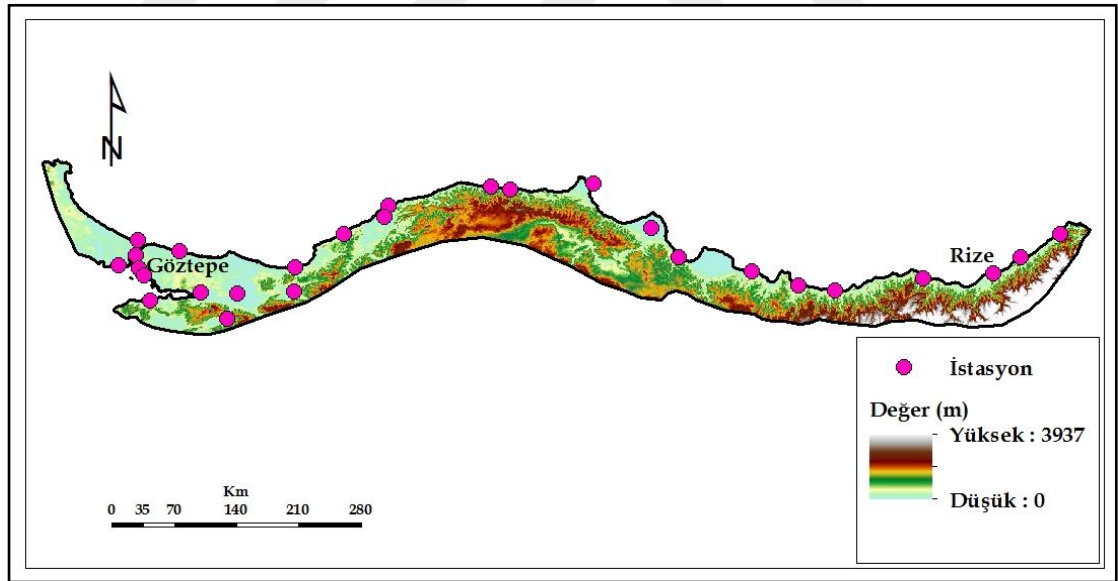
	ME	MAE	RMSE (mm)	R^2
OK (Bölge 1)	-2.35	68.05	99.09	0.60

5.2.2. Bölge 2’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı

Bölge 2 Türkiye’nin kuzey kesimini ve kısmen kuzeybatı kesimini (Kocaeli-Çatalca Platosu ve Istranca Dağları’nın bir bölümü) içine almaktadır. Bölgenin yeryüzü şekillerini Alp kıvrımları sonucu oluşan doğu-batı yönündeki Kuzey Anadolu Dağları ile bu dağlar arasındaki oluklar oluşturmaktadır. Rize’de 3947 m yükseklikte Kaçkar Dağları Bölge 2’nin en yüksek alanını oluşturmaktadır. Dağların kıyıya paralel uzanması sonucunda kıyılar fazla girintili çıkıntılı değildir. Küçük koylar hariç, kıyılarda önemli girinti ve çıkıntı yoktur. Bölgenin kuzeye bakan yamaçlarında, orografik yağışlar etkilidir. Türkiye’nin en fazla yağış alan bölgesidir. Her mevsim yağışlı, yıllık sıcaklık farkının az olduğu, yazları serin, kışları ılık Karadeniz iklim şartları etkilidir. Bu iklimin oluşmasının sebebi, Karadeniz’den gelen nemli hava kütlelerinin kıyıya paralel uzanan Kuzey Anadolu Dağ yamaçlarına bol miktarda yağış bırakmasından kaynaklanmaktadır. Yağışlar bir mevsimde yoğunlaşmamış, yıl geneline yayılmıştır. Karadeniz’de yaz kuraklığı yaşanmamaktadır. Bu bölgedeki yüksek yağış ve sıcaklık nedeniyle kimyasal ayrışmanın fazlalığı ve Batı Karadeniz Bölümü’nde yaygın fliş içerisindeki killerin varlığı bölgede heyelanların sıklıkla görülmesine neden olur. Kıyılarda nem ve yağışın fazla olmasından ötürü geniş yapraklı gür ormanlar bölgenin doğal bitki örtüsünü oluşturmaktadır. Türkiye ormanlarının %25’i bu alanda bulunmakta ve ülkenin en zengin bölgesi olma özelliğini taşımaktadır. Bölge 2’nin Kuzey Marmara’da

kalan kesimlerinde de Karadeniz iklimi etkili olduğundan Asıl Karadeniz kıyı kesiminde ağaç formasyonları yaygındır.

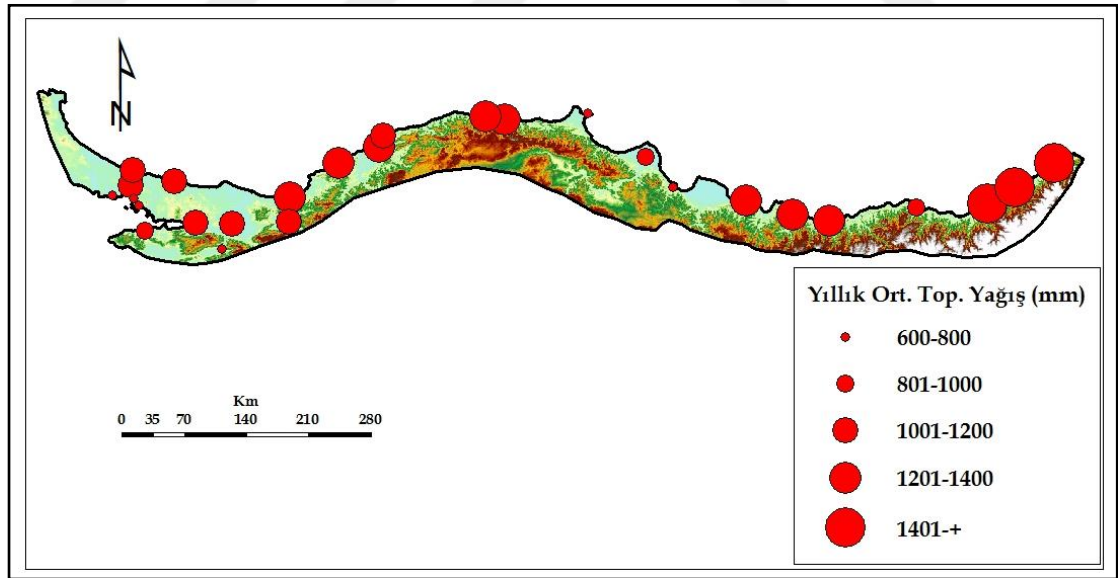
Bölge 2'ye düşen istasyon sayısı 27 olarak ayarlanmıştır. Bölgenin jeomorfolojik özellik ve gözlem istasyonlarının mekânsal dağılımı göz önünde bulundurulduğunda seçilen bu istasyon sayısı bölgeyi yeterince temsil etmektedir. 33 m yükseltide yer alan Göztepe istasyonu, 623.3 mm yıllık ortalama toplam yağış değeri ile bölgenin en az yağış alan, yükseltisi 16 m Rize istasyonu, 2250.9 mm değeri ile bölgenin en yüksek yağış alan istasyonlarıdır. Şekil 44, Bölge 2 sınırını ve bu bölgede yer alan istasyonların dağılımını göstermektedir.



Şekil 44. Bölge 2'deki meteoroloji istasyonlarının dağılışı

5.2.2.1. Bölge 2 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması

Bölge 2 1975-2010 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin coğrafi dağılışı haritası Şekil 45’de gösterilmektedir. Şekil 45 ve Çizelge 28’e göre, Göztepe, Geyve, Kartal, Florya, Sinop, Samsun, Akçaabat, Yalova, Bafra istasyonlarının bulunduğu yerler, 600-800 mm arası yıllık ortalama toplam yağış değerleri ile düşük yağış değerine sahip alanları oluşturmaktadır. 1400 mm ve yukarısındaki yıllık ortalama toplam yağış değerine sahip alanlar ise, yüksek yağışlı alanlar olarak izlenmektedir. Bölgenin doğusunda yer alan Pazar, Hopa ve Rize istasyonlarının bulunduğu yerler bu alanlara karşılık gelmektedir.



Şekil 45. Bölge 2 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi

Çizelge 28. Bölge 2’de yağış frekans tablosu

(600-800)	(801-1000)	(1001-1200)	(1201-1400)	(1401-+)
Göztepe	Düzce	İnebolu	Zonguldak	Pazar
Geyve	Kocaeli	Bartın	Bozkurt	Hopa
Kartal	Kumköy	Ordu	Giresun	Rize
Florya	Sakarya	Akçakoca		
Sinop	Kireçburnu	Ünye		
Samsun	Şile			
Akçaabat	Amasra			
Yalova				
Bafra				

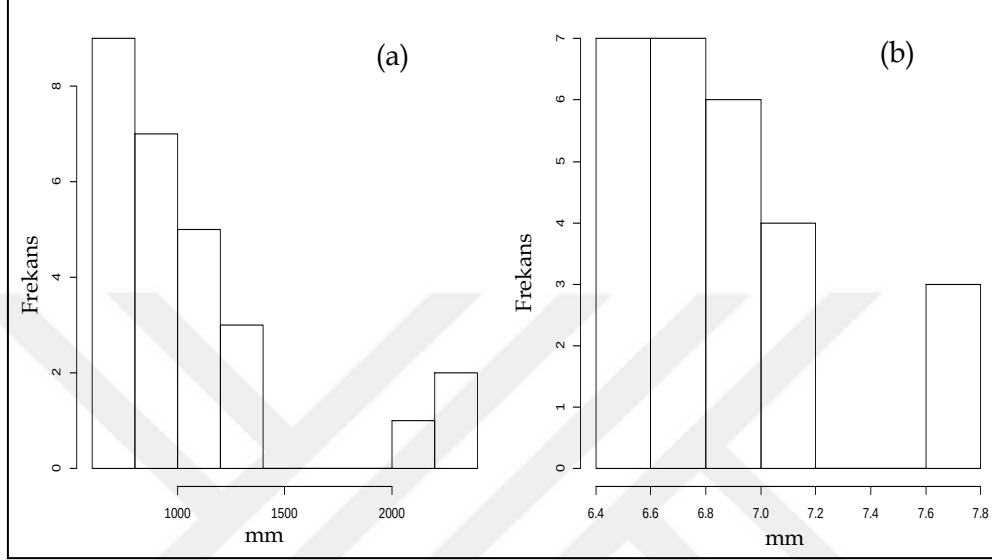
27 meteoroloji istasyonunun elde edilen yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 29’da verilmiştir. Buna göre, yıllık ortalama toplam yağışın maksimum değeri 2250.9 mm, minimum değeri 623.3 mm’dir. Ortalama değer, 852.6 mm olarak hesap edilmiştir. Diğer yandan standart sapma değeri 458.4 mm’dir. Bölge Türkiye’nin en fazla yağış alan bölgesi olmasına rağmen, standart sapma değeri ortalamasının yarısına yakındır. Maksimum değer ve minimum değer arasında 3.5 kat fark olması istasyonlar arasında yağışın heterojen olarak dağıldığını ve bu bölgedeki dağ uzanışlarının önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 29. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)

Ort.	Std. Sap.	Min.	Ortanca	Maks.	Mod
1032.6	458.4	623.3	852.6	2250.9	-

Not: Ort, Ortalama; Std. Sap, Standart Sapma; Min, Minimum; Maks, Maksimum’un kısaltmasıdır.

Bölge 2'ye ait yıllık ortalama toplam yağış verisinin histogram grafiği Şekil 46a gösterilmektedir. Veriye logaritmik dönüştürme işlemi uygulanmıştır. Logaritmik dönüşüm sonucuna ait grafik Şekil 46b' de gösterilmektedir.



Şekil 46. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım

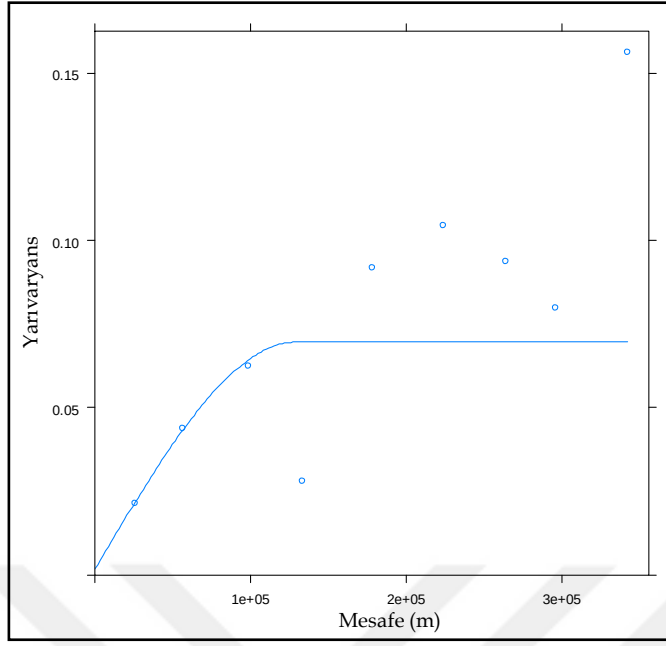
5.2.2.2. Bölge 2 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneysel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması

İstasyonlar arasındaki adım mesafesi ve sınıf sayısı, incelenen yıllık ortalama toplam yağış değişkenini temsil edebilecek en uygun model bulununcaya kadar değişik aralık ve sayıda Bölge 2 için işleme alınmıştır. Yıllık ortalama toplam yağış değerlerine ait en uygun adım mesafesinin 40 km ve sınıf sayısının 9 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 30). Çizelge 30'a göre, yarıvaryans değeri 4. adım mesafesine kadar düzenli bir artış gösterirken, 4. adım mesafesinde 0.06'dan 0.03'e bir düşüş göstermiştir. Bu değer 5. adım

mesafesinde 0.09, 6. adım mesafesinde 0.10'dur. Ancak, 7. adım mesafesinden sonra yarıvaryans değeri tekrar azalma göstermiştir. Bu durum, bu adım mesafesinden sonra mekânda yer alan gözlem çiftleri arasında etkileşimin azaldığını ifade etmektedir. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağış değişkenine ait teorik yarıvariogram yapısı, "*Spherical*" tip teorik yarıvariogram modeli olarak belirlenmiştir. Spherical model ve Fit Method 7 kullanılarak oluşturulan teorik yarıvariogram modeli Şekil 47'de gösterilmektedir.

Çizelge 30. Bölge 2 için deneysel yarıvariogramın sonuçları

	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Yarıvaryans
1	16	25.6	0.02
2	26	56.3	0.04
3	26	98.5	0.06
4	19	133.1	0.03
5	25	178.6	0.09
6	20	224.0	0.10
7	13	263.9	0.09
8	19	295.8	0.08
9	11	342.2	0.16



Şekil 47. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli

Not: Teorik yarıvariogramın elde edilmesinde “*Spherical model ve Fit Method 7* kullanılmıştır.

Bölge 2 için yıllık ortalama toplam yağış değişkenine ait teorik yarıvariogramın eşik değeri 0.07, etki uzaklığı, 129.5 km’dir (Çizelge 31). Bölgenin doğu batı uzanımı fazla olmasına rağmen, etki uzaklığının diğer bölgelere benzer çıkması bölgede kıyı kesiminde istasyon ağının sık olması ve kuzey güney yöndeki mesafenin az olması ile ilişkilidir.

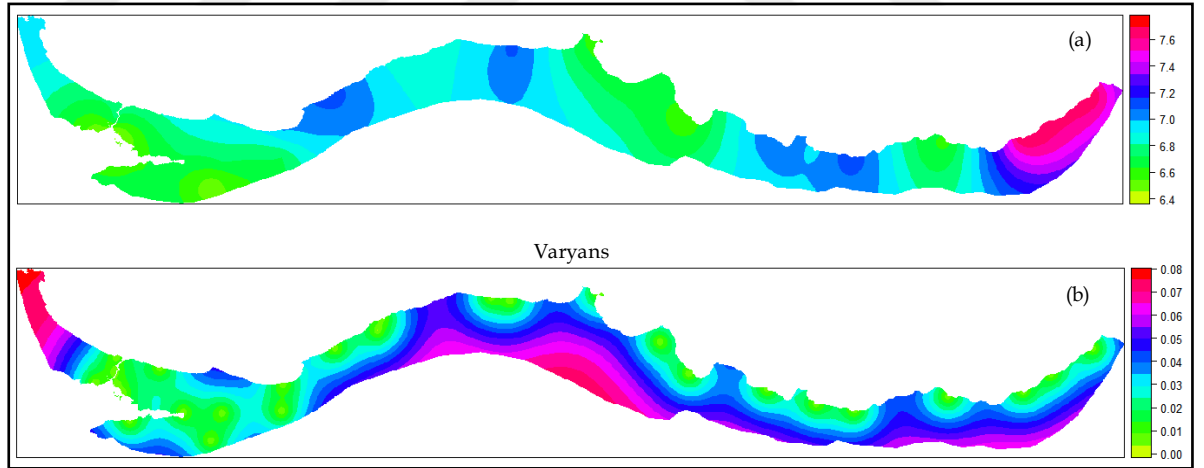
Çizelge 31. Bölge 2 teorik yarıvariogram sonuçları

Model	Eşik değeri	Etki uzaklığı (km)
Nug	0.00	0
Sph	0.07	129.5

Not: Nug, Nugget; Sph, Spherical modellerinin kısaltmasıdır.

5.2.2.3. Bölge 2 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

Bölge 2 için gözlemi bulunmayan yerlerin noktasal değerleri OK tahmin yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. OK tahmin ve varyans haritaları Şekil 48’de gösterilmiştir. Bölge 2’de Çatalca-Kocaeli Platosu ve kıyı kesiminin varyans değerlerinin düşük olduğu izlenmektedir. Buna karşın, Yıldız (Istıranca) Dağları’nın kuzey kesiminde, Küre-Canik Dağları ile Doğu Karadeniz Dağları’nın yüksek kesimlerinde varyans değerleri yüksektir. Bu durum Istıranca Dağları’nda hiç istasyon olmaması, diğer yerlerde en yüksek istasyonun 167 m’de olması ile ilgilidir. Çünkü bölgedeki yükseklik farkı 3937 mm ‘dir. Bu yükseklik yağışın kıyı kesiminden tahmin edilmesi varyans değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmaktadır.

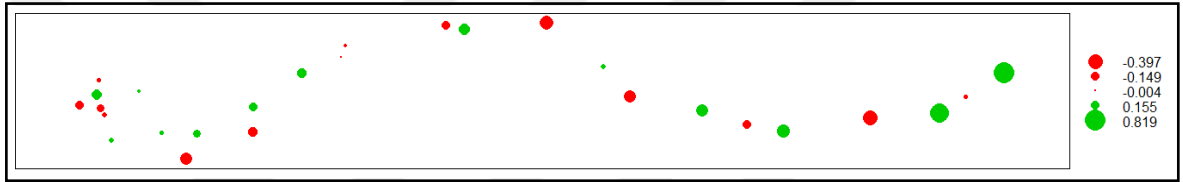


Şekil 48. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü gerçekleştirildikten sonra yapılmıştır.

5.2.2.4. Bölge 2 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi

Kriging analizi sonucu diğer analizlerde olduğu gibi Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Şekil 49 Çapraz Geçerlilik sonucu elde edilen hata tahmin haritasını göstermektedir. Şekil 49 incelendiğinde genelde batıda daha yüksek hata payları, doğuda daha düşük hata payları bulunmaktadır. Bu durum yağış değerlerinin büyümesi ile ilişkilidir.



Şekil 49. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

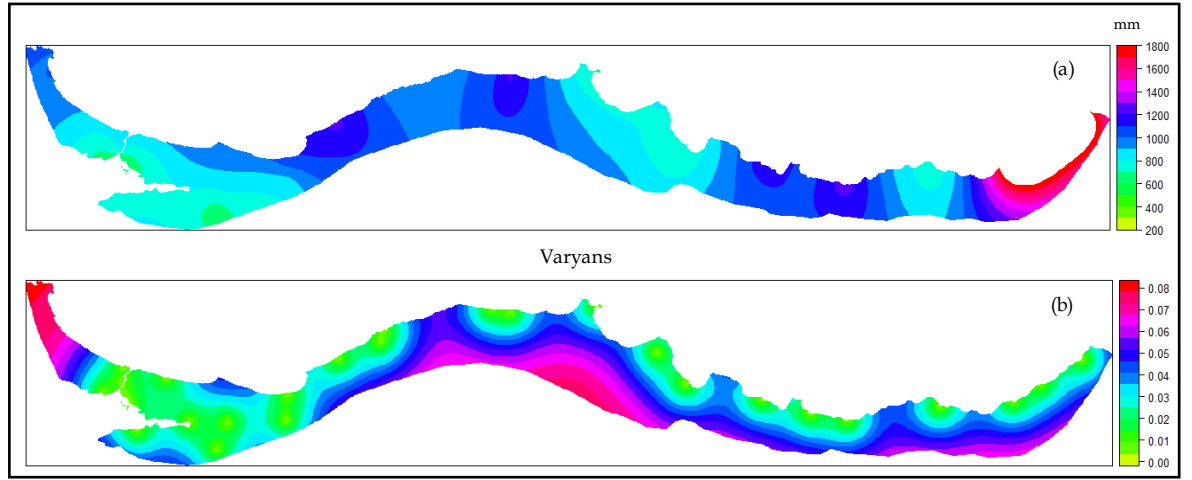
Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 32’de verilmiştir.

Çizelge 32. Bölge 2 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	665.8	622.3
Birinci Bölen	777.8	734.8
Ortanca	957.0	851.6
Ortalama	990.3	1031.7
Üçüncü Bölen	1054.4	1123.2
Maksimum	2124.7	2249.9

Şekil 50 (a, b), OK enterpolasyon sonuçlarının logaritmik tahminden gerçek değere dönüşümünü gösteren yağış dağılışı ve varyans haritalarıdır. Bölge 2'ye ait yağış tahmin haritası incelendiğinde iki özellik dikkati çekmektedir. Yağış, dağların bakı farklılıkları nedeniyle batıdan doğuya doğru sürekli artmaktadır. Ayrıca, yağış dağılışı su bölüm çizgisine paralel değil, kabaca uzanışlara diktir. Istranca, Batı Karadeniz Dağları kuzeyi ve Akçaabat çıkıntısında yağış değerleri yüksektir. Sinop, Ünye kesimi, dağların uzanışı nedeniyle düşük yağış değerleri göstermektedir. Trabzon'da Yoroş burnu Akçaabat'ın düşük yağış değerleri almasına neden olur. Dağların tekrar kuzeybatıdan gelen yağış sistemlerine döndüğü Doğu Karadeniz Dağlar'ının kuzey etekleri en yağışlı alanları oluşturmaktadır. Bölgenin en az yağış alan kesimi, İstanbul Boğazı'nın hemen Marmara denizine açıldığı alan ve Gevye civarındır. Bu alanda yağış 700 mm'den az değerlerdedir. Yüksek dağlık alanlarda istasyon olmaması yağış değerlerinin kuzeye doğru yayılmasına ve kıyı ile korelasyonun düşük olmasına neden olmuştur.



Şekil 50. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

OK tahmin modelinin performans değerleri Çizelge 33’de verilmiştir. Buna göre, R^2 değeri 0.50 olup, modelin alansal ilişkisinin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Özellikle yağış gibi mekânsal dağılımının yüksek değişkenlik gösterdiği iklim değişkeni için doğru tahmin yapabilmek oldukça zordur. Bundan dolayı, ME değeri ve MAE ile RMSE değerleri kabul edilebilir performans sonuçlarına sahiptir.

Çizelge 33. Bölge 2 OK modelinin performans değerleri

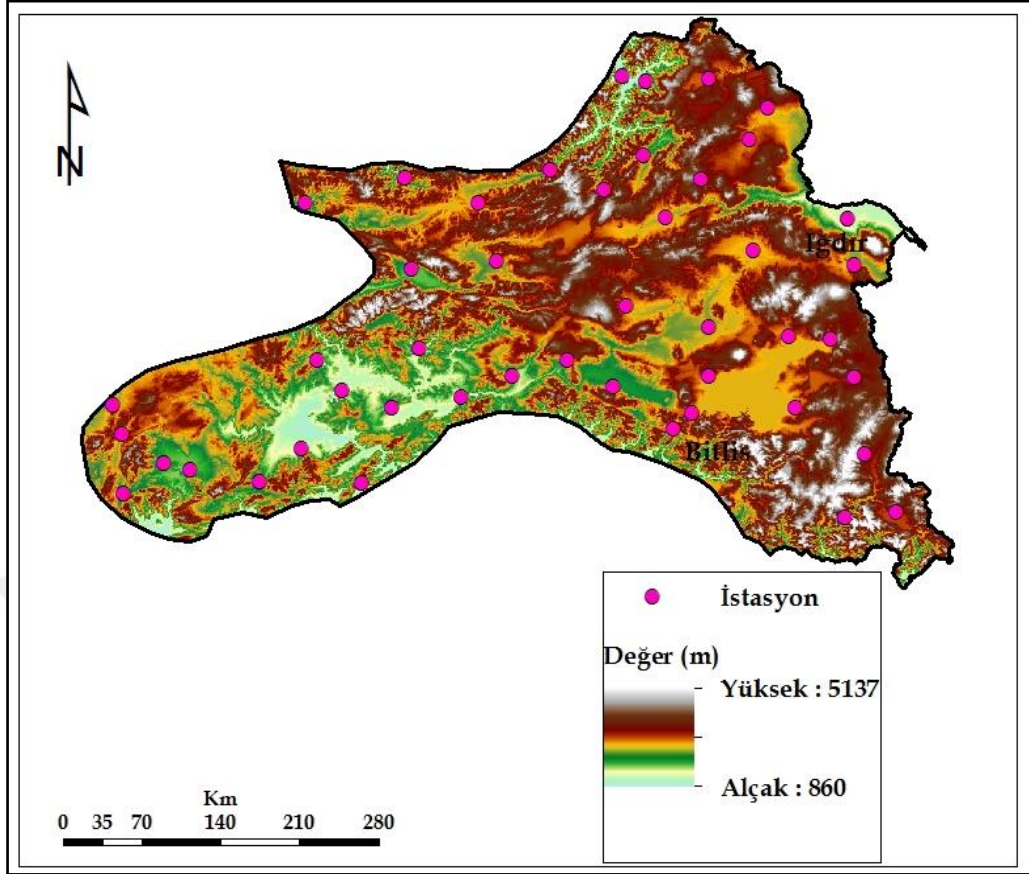
	ME	MAE	RMSE (mm)	R^2
OK (Bölge 2)	-41.40	210.26	321.14	0.50

5.2.3. Bölge 3’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı

Türkiye’nin doğu kesimini oluşturan Bölge 3, ortalama yükseltisi en fazla olan bölgedir. Bölge genel anlamda bir platolar sahası olarak nitelendirilse bile Kuzey ve Doğu Anadolu fayları ve diğer tektonik hatlarda gelişen depresyonlar bunlar arasında uzanan yüksek dağlık alanlardan oluşur. Bu tektonik hatlarla

ilişkili olarak yöre de Elazığ, Erzincan, Elbistan, Uluova, Erzurum ve Muş Ovası gibi geniş depresyonlar gelişmiştir. Bunlar arasında Mercan, Karagöl, Otlukbeli dağları gibi sıradağlar bulunmaktadır. Bu dağlar üçüncü jeolojik zamanda Alp-Himalaya orojenik sisteminin uzantısı olarak kıvrılma sonucu oluşmuştur. Bu dağların yüksekliği 3000 m'yi aşmaktadır. Tektonik hatlarla ilişki olarak gelişen Nemrut, Süphan, Tendürek ve Ağrı Dağı gibi yüksek volkan konileri de bu bölgede bulunan diğer önemli dağlardır. Bölgenin genel iklim durumu değerlendirildiğinde, bölgenin denizlere uzak ve yükseltisinin fazla olması nedeniyle, kış mevsimi uzun ve soğuk, yaz mevsimi sıcak ve kısadır. Kış mevsiminde yağışlar genelde kar şeklindedir ve hiç erimeden uzun süre yerde kalır. Karasallığın etkisiyle yağışlar en fazla ilkbahar sonu yaz başında görülmektedir. Bölgenin coğrafi yapısı çok farklı ve engebeli olduğu için, meydana gelen yağışlar farklı miktar ve özelliktedir. Batı kesiminde en fazla yağış kış aylarında meydana gelirken, doğu kesiminde en fazla yağış ilkbahar aylarında olmaktadır.

Bölge 3'te toplam 46 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlardan en düşük yağış değeri 858 m yükseklikte bulunan Iğdır istasyonuna (yıllık ortalama toplam yağış 262.7 mm), en yüksek yağış değeri ise, 1573 m'de bulunan Bitlis istasyonuna (yıllık ortalama toplam yağış 1132 mm) aittir. Bölge 3 sınırı ve bölgeye düşen meteoroloji istasyonların dağılımı Şekil 51'de gösterilmektedir.

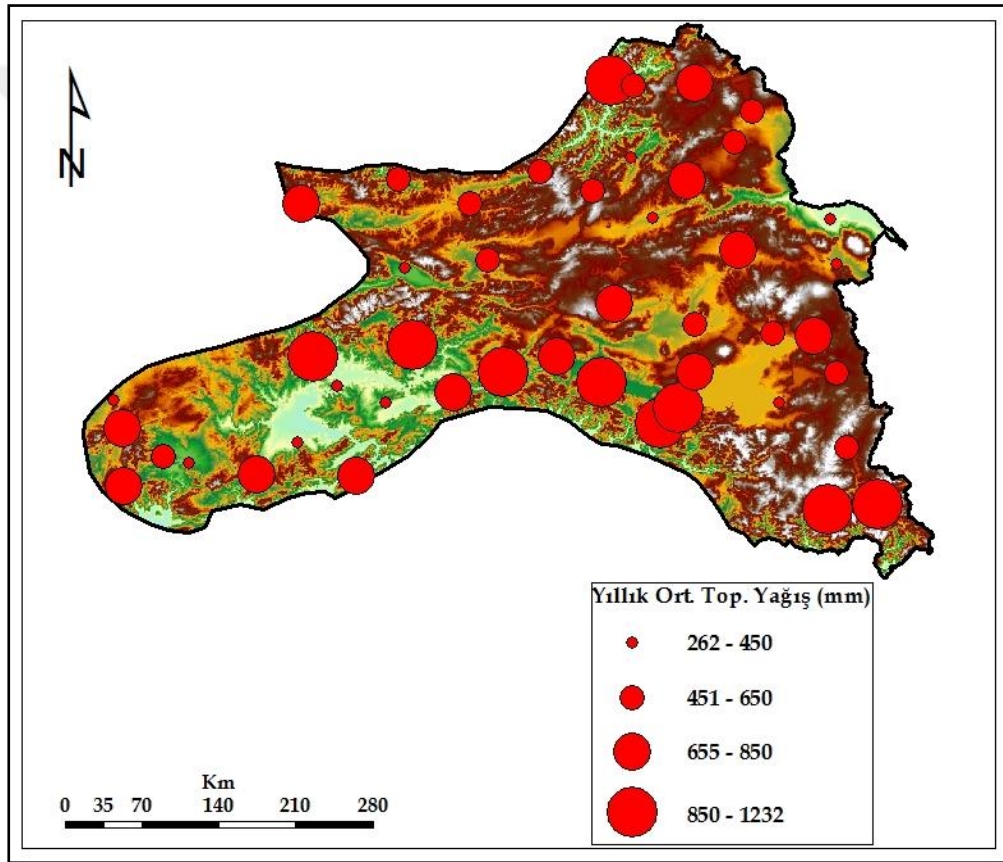


Şekil 51. Bölge 3’deki meteoroloji istasyonlarının dağılışı

5.2.3.1. Bölge 3 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması

1975-2010 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin coğrafi dağılışı haritası Bölge 3 için Şekil 52’de gösterilmektedir. Bölgenin güney kesiminde yer alan Bitlis istasyonu 1232 mm yıllık ortalama toplam yağış değeri, Bingöl istasyonu 958 mm yıllık ortalama toplam yağış değeri ile çok yüksek yağışlı alanları oluşturmaktadır. Düşük yağış değerleri bölgenin doğu kesiminde yer alan Iğdır ve Doğubeyazıt istasyonlarının bulunduğu yerlerdir. Iğdır istasyonu 262.7 mm yıllık ortalama toplam yağış değerine, Doğubeyazıt

istasyonu ise, 328.4 mm yıllık ortalama toplam yağış değerine sahiptir. Şekil 52’de dikkati çeken önemli bir husus, güney kesiminde güneydoğu Toroslar ve uzantılarında yağışın yüksek oluşu, dağ sıralarının arasında bulunan depresyonlarda yağış değerlerinin düştüğüdür. Düşük yağış değerine sahip istasyonların bulunduğu alanlar incelendiğinde bu durum açıkça görülmektedir (Çizelge 34).



Şekil 52. Bölge 3 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi

Çizelge 34. Bölge 3’de yağış frekans tablosu

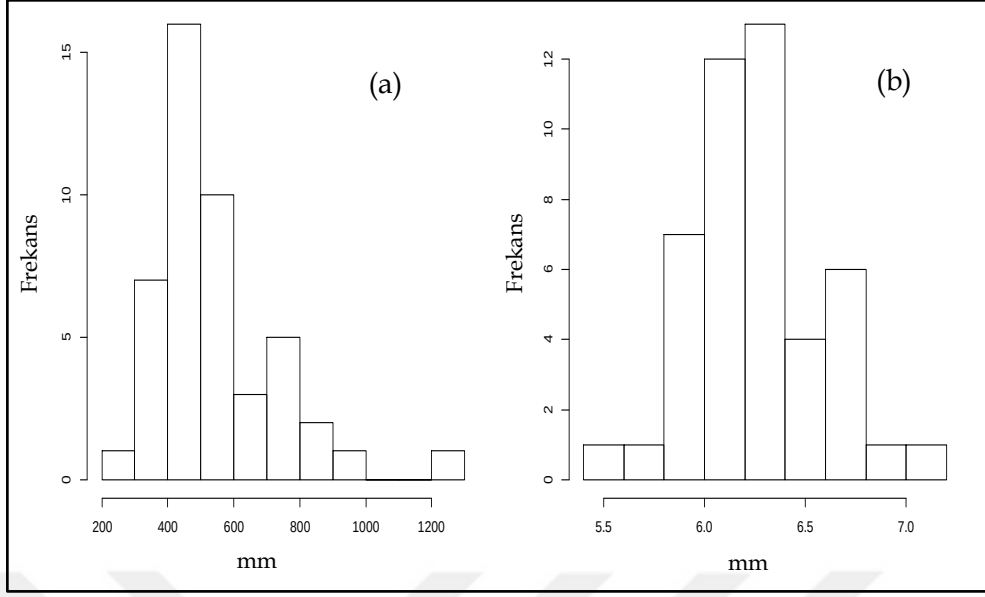
(262-450)		(451-650)		(655-850)	(851-1232)
Iğdır	Horasan	Malazgirt	Palu	Solhan	Bingöl
Doğubeyazıt	Erciş	Gümüşhane	Ahlat	Artvin	Bitlis
Keban	Afşin	Tortum	Ardahan	Hakkâri	
Malatya	Başkale	İspir	Muradiye	Arapgir	
Oltu	Ardanuç	Kars	Çemişgezek	Yüksekova	
Erzincan	Bayburt	Özalp	Şebinkarahisar	Muş	
Van	Tercan	Arpaçay	Hınıs	Tunceli	
Elbistan		Sarız	Göksun	Tatvan	
Elazığ		Doğanşehir	Sarıkamış		
Pınarbaşı		Ağrı			

Çizelge 35 uzun süreli yağış gözlemi yapan 46 meteoroloji istasyondan elde edilen yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin tanımlayıcı istatistik değerlerini göstermektedir. Buna göre, yıllık ortalama toplam yağışın maksimum değeri 1232 mm, minimum değeri 262.7 mm’dir. Yağış genişliği, 969.3 mm, ortalama değer, 545.8 mm olarak hesap edilmiştir. Diğer yandan standart sapma değeri 181.1 mm’dir. Ortalama, ortanca ve mod değerleri değerlendirildiğinde verinin sağa çarpık olduğu görülmektedir. Şekil 53a bu verinin sağa çarpık olduğunu açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu nedenle veriye logaritmik dönüşüm uygulanmıştır (Şekil 53b). OK analizleri logaritmik dönüşüm uygulanmış olan veri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 35. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)

Ort.	Std. Sap.	Min.	Ortanca	Maks.	Mod
545.8	181.1	262.7	498.1	1232	450.2

Not: Ort, Ortalama; Std. Sap, Standart Sapma; Min, Minimum; Maks, Maksimum’un kısaltmasıdır.



Şekil 53. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım

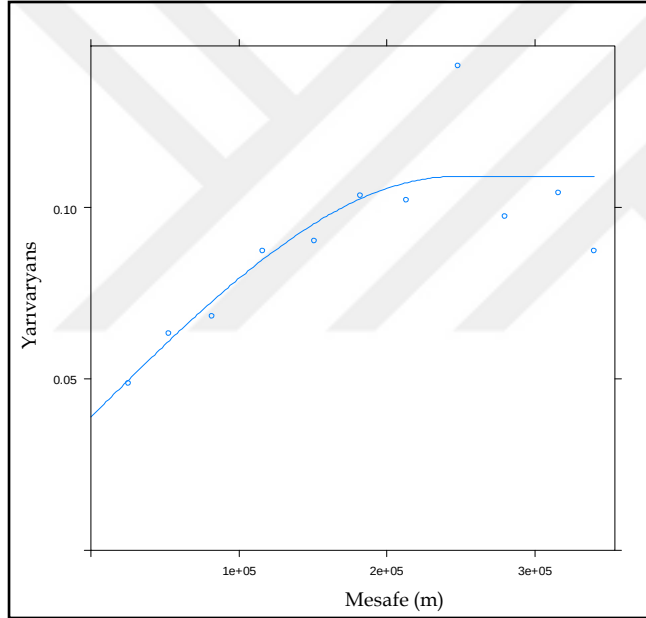
5.2.3.2. Bölge 3 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneysel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması

Adım mesafesi ve sınıf sayısı, yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için en uygun model bulununcaya kadar değişik aralık ve sayıda işleme alınmıştır. Yıllık ortalama toplam yağış değerlerine ait en uygun adım mesafesinin 33 km ve sınıf sayısının 11 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 36). Bölge 3'ün deneysel yarıvariogram sonuçları incelendiğinde yarıvaryans değerleri 0.05'den başlayarak 0.10'a kadar düzenli bir artış göstermiştir. Ancak, 6. adım mesafesinden sonra yarıvaryans değerleri sabitlenmiştir. 8. adım mesafesinde 0.14 olmasına rağmen, sonra yarıvaryans değerleri 0.10 olarak sabit bir değerde kalmış ve azalmıştır. Bu durum, 7. adım mesafesinden sonra bölgede yıllık ortalama toplam yağış değerleri arasında mekânsal bir ilişkinin olmadığını bir

göstergesidir. Bölge 3 için yıllık ortalama toplam yağış değişkenine ait “Spherical” tip teorik yarıvariogram modeli en uygun teorik yarıvariogram olarak seçilmiştir. Şekil 54 Spherical model ve Fit Method 7 kullanılarak oluşturulan teorik yarıvariogram modelini göstermektedir. Grafikten yıllık ortalama toplam yağış değişkenine ait çiftler için oturtulan teorik yarıvariogram eğrisinin yaklaşık 0.10 yarıvaryans değerinden sonra düz bir çizgi şeklinde devam ettiği görülmektedir. Bu da alansal korelasyonun sonlandığını göstermektedir.

Çizelge 36. Bölge 3 için deneysel yarıvariogramın sonuçları

	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Yarıvaryans
1	5	25.0	0.05
2	40	52.8	0.06
3	59	81.7	0.07
4	77	116.2	0.09
5	75	151.0	0.09
6	79	182.1	0.10
7	93	213.0	0.10
8	83	248.1	0.14
9	85	279.6	0.10
10	73	315.6	0.10
11	34	340.1	0.09



Şekil 54. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli

Not: Teorik yarıvariogramın elde edilmesinde “Spherical model ve Fit Method 7 kullanılmıştır.

Çizelge 37 teorik yarıvariograma oturan Bölge 3 için yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin eşik değeri ve etki uzaklığı değerlerini göstermektedir. Buna göre, Bölge 3 için eşik değeri 0.07, etki uzaklığı, 246.1 km olarak tespit edilmiştir. Mekânda var olan yıllık ortalama toplam yağış

değişkenine ait çiftler arası etkileşim bu etki uzaklığına kadar gerçekleşmektedir. Bu aralıktan sonra çiftler arası ilişki kalmamıştır.

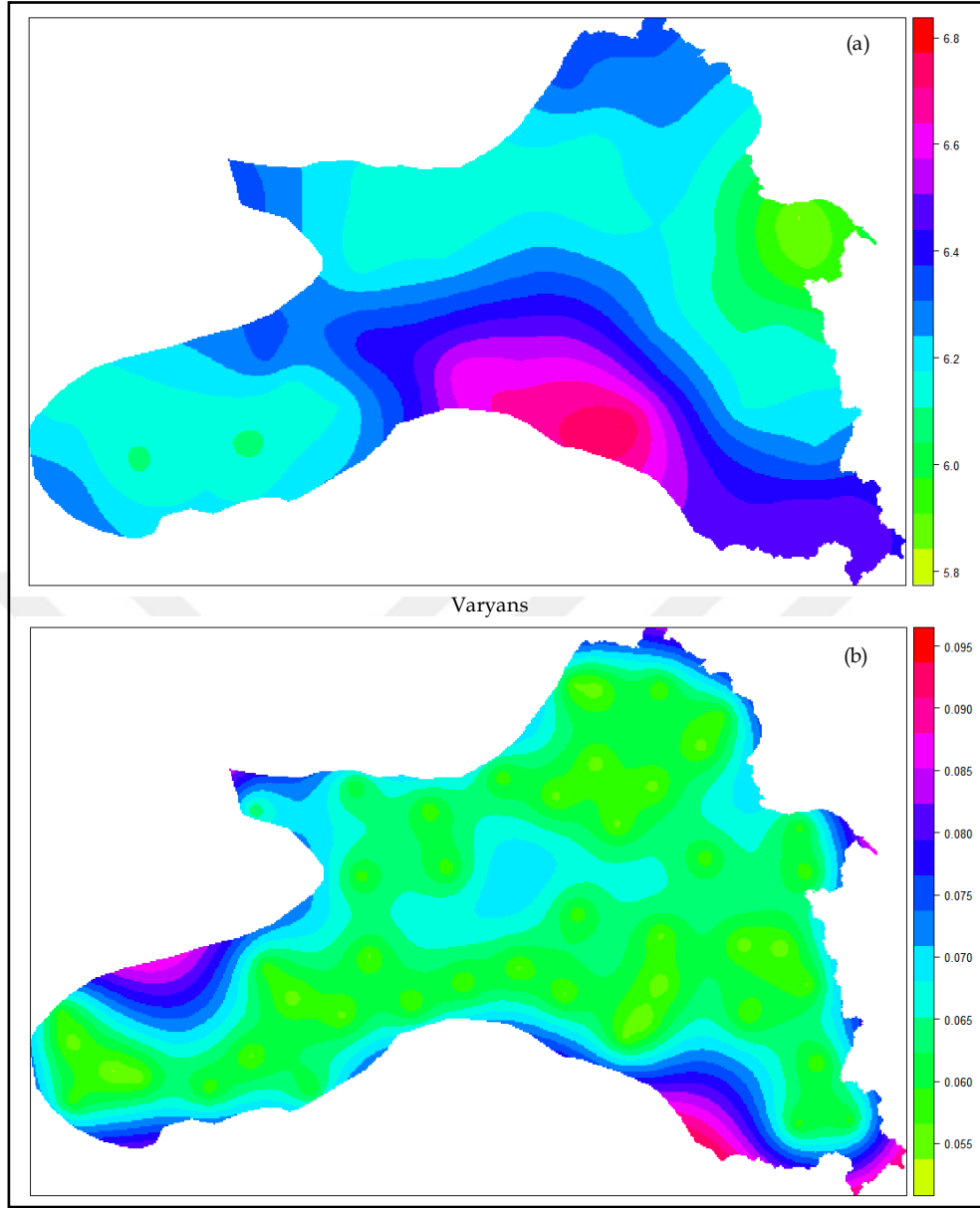
Çizelge 37. Bölge 3 teorik yarıvariogram sonuçları

Model	Eşik değeri	Etki uzaklığı (km)
Nug	0.04	0
Sph	0.07	246.1

Not: Nug, Nugget; Shp, Spherical modellerinin kısaltmasıdır.

5.2.3.3. Bölge 3 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

Teorik yarıvariograma ait model parametreleri belirlendikten sonra Bölge 3 için istasyon olmayan yerlerin yıllık ortalama toplam yağış değerleri OK tahmin yöntemi kullanılarak hesap edilmiştir. OK tahmin ve varyans haritaları Şekil 55’de gösterilmiştir.



Şekil 55. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

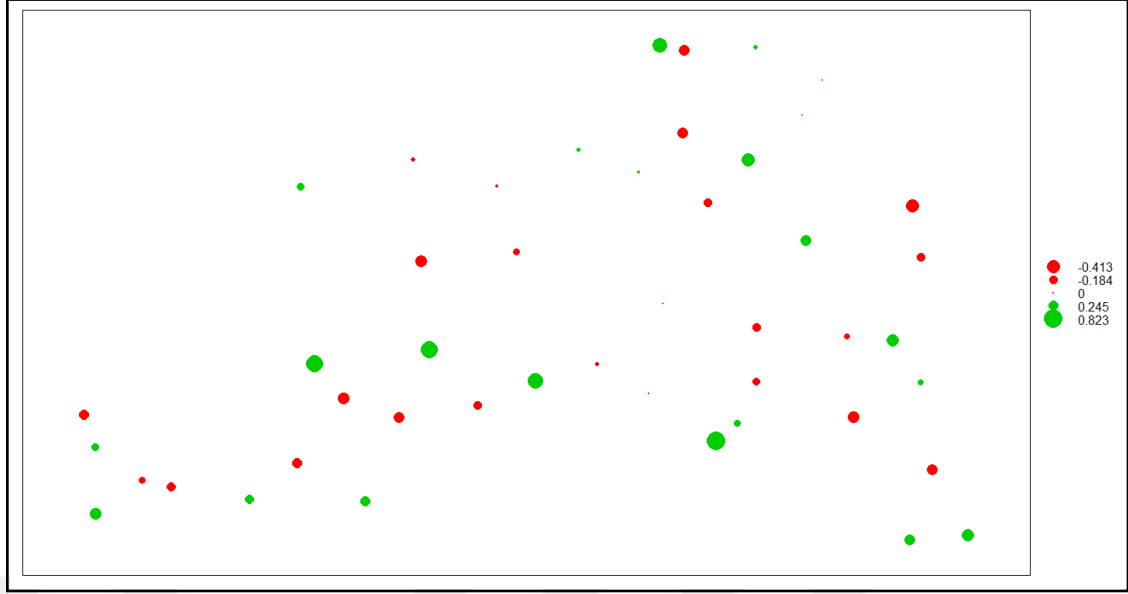
Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü uygulanmıştır.

5.2.3.4. Bölge 3 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi

Kriging analizi Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Bu yöntemle ait sonuç haritası Şekil 56'da gösterilmektedir. Yıllık ortalama toplam yağış

değerlerine ait tahmin haritası incelendiğinde, Güneydoğu Toroslar ve uzantılarındaki yüksek kesimlerde yer alan istasyonlarda yağış değerlerinin düşük tahmin ettiği gözlenmektedir. Bu istasyonların yağış değerlerinin yüksek olmasının yanında, topografyanın hareketli olmasının da önemli bir etkisi vardır. Arapkir, Bingöl ve Tunceli gibi hem yüksek hem de güney bakılı istasyonlarda yıllık ortalama toplam yağış tahmin hatası düşük değerlerde gözlenirken, hemen yakınındaki vadi içlerinde, dulda da kalan Keban, Elazığ, Palu istasyonlarında yağış olduğundan daha yüksek değerlerde tahmin edilmiştir. Aynı durum Doğubeyazıt ve Iğdır istasyonları ile Ağrı ve Sarıkamış istasyonlarında da izlenmektedir. Ağrı ve Sarıkamış istasyonlarında gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinden daha düşük yıllık ortalama toplam yağış değerleri tahmin edilmiştir. Diğer taraftan, Dil ovasında yer alan Iğdır ve Doğubeyazıt istasyonlarında yüksek yıllık ortalama toplam yağış değerleri gözlemlenmektedir.

Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 38’de verilmiştir. Çizelge 38’de uç değerlerde tahmin edilen değer ile gözlemlenen değer arasındaki fark ve 1. ve 3. çeyreklerdeki fark büyüktür. Şekil 57a logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritasını, Şekil 57b varyans haritasını göstermektedir.

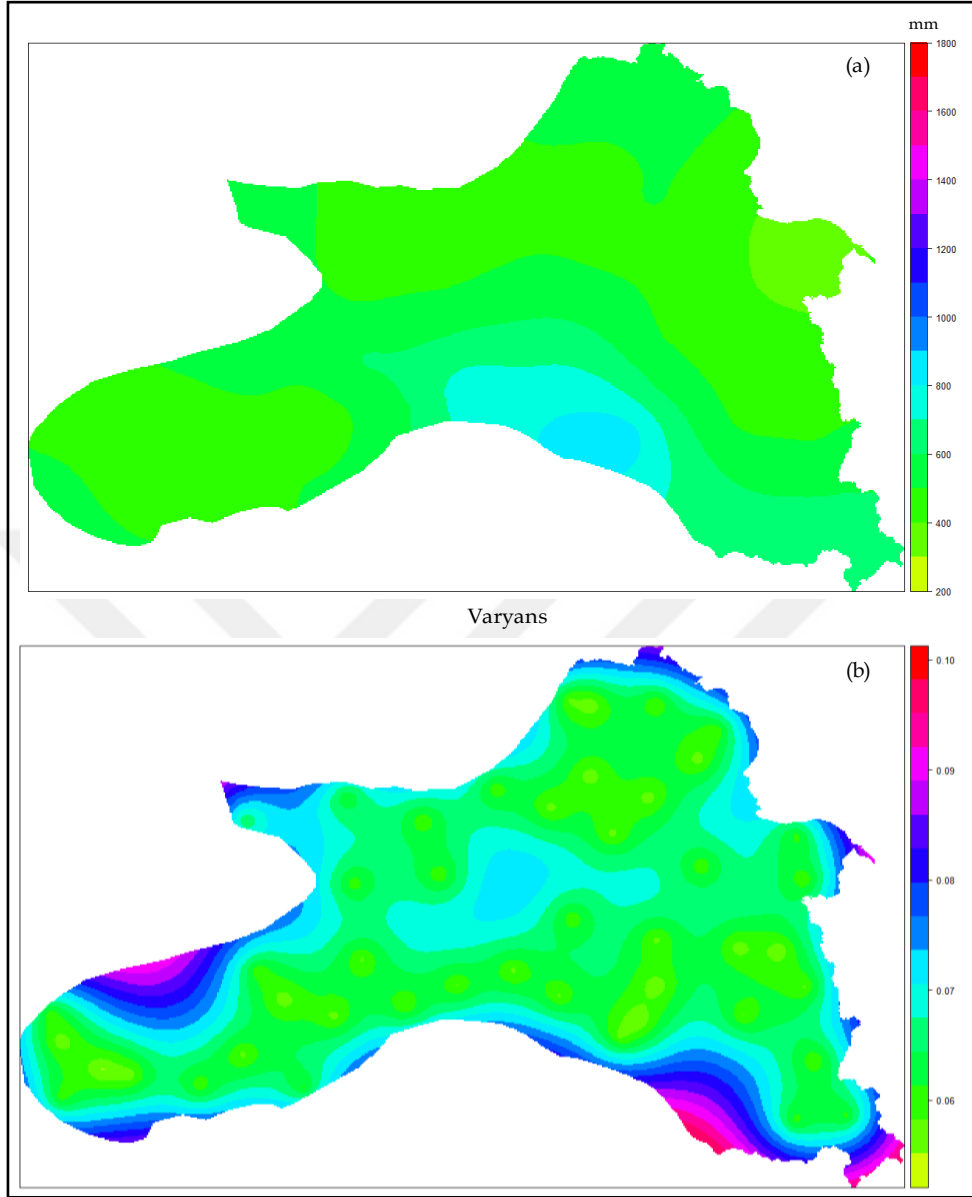


Şekil 56. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Çizelge 38. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	393.2	261.7
Birinci Bölün	463.2	424.3
Ortanca	501.4	497.1
Ortalama	524.8	544.8
Üçüncü Bölün	561.8	607.9
Maksimum	769.8	1231.0



Şekil 57. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

Şekil 57’de Bölge 3’de kalan istasyonların modellenmesi ile elde edilen yağış haritası incelendiğinde dağılışın topografya kontrolünde olduğu görülmektedir. 700 mm üzerinde yağış alan yerleri, Bingöl ve Bitlis çevresindeki dağlık alanlar oluşturmaktadır. Bu alan ülkemizin yüksek yağış alan üçüncü sahasıdır. Bu alana düşen yağışın büyük bir kısmının kar yağışı şeklinde olması

Fırat ve Dicle Nehirlerinin debi ve rejimlerini belirlemekte önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca, bu alanın Hint okyanusundan kaynaklanan Muson sistemine bağlı yaz rüzgârları ile orografik yağış alması bu alandaki yağışın yüksek olmasını sağlamaktadır. Benzer durum 600 ve 700 mm arasında yağış alan yöreler içinde geçerlidir. Hakkâri'den uzanan GD-KB yönlü yağış alanı, Bingöl dağlarına kadar ulaştıktan sonra güneydoğu Torosların kuzeydoğu-güneybatı yönüne dönmesi ile sonlanır. Bu durum Muson etkisinin bu alana kadar ulaştığını, batıda etkili olmadığını göstermektedir. Yörenin en az yağış alan yeri, 300 mm altındaki Dil mevkiisidir. Bu alanın kuzey ve güneyden gelecek nemli hava sistemlerinin yağış gölgesinde kalması ile ülkenin en kurak yerlerinden biri olmasına neden olmuştur. Uzun Yayla-Erzurum-Kars Platosu gibi alanlarda, yağış miktarı 400-600 mm arasında değişmektedir.

OK yönteminin performans sonuçları Çizelge 39'da gösterilmektedir. R^2 0.21 olmasına rağmen, ME değeri 0'a biraz yakın bir değerdedir. Bölge 3 yükselti farkının fazla olduğu ve topografyanın kısa mesafelerde hızlı değişim gösterdiği bir bölgedir. Yağış gibi meteorolojik parametrelerin kısa mesafede büyük farklılıklar göstermesine neden olduğundan bu gibi iklim değişkenlerinin tahmin edilmesini güçleştirmektedir. Oysaki yüksek dağlık alanlarda yağan kar su potansiyelimiz için önemli bir girdidir. Bundan dolayı, bu alanlarda meteoroloji istasyonların sayısının artırılması ve yüksek alanlara sık istasyon ağının kurulması daha doğru tahmin haritaları elde edilmesini sağlayacaktır.

Çizelge 39. Bölge 3 OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
OK (Bölge 3)	-19.92	121.39	160.81	0.21

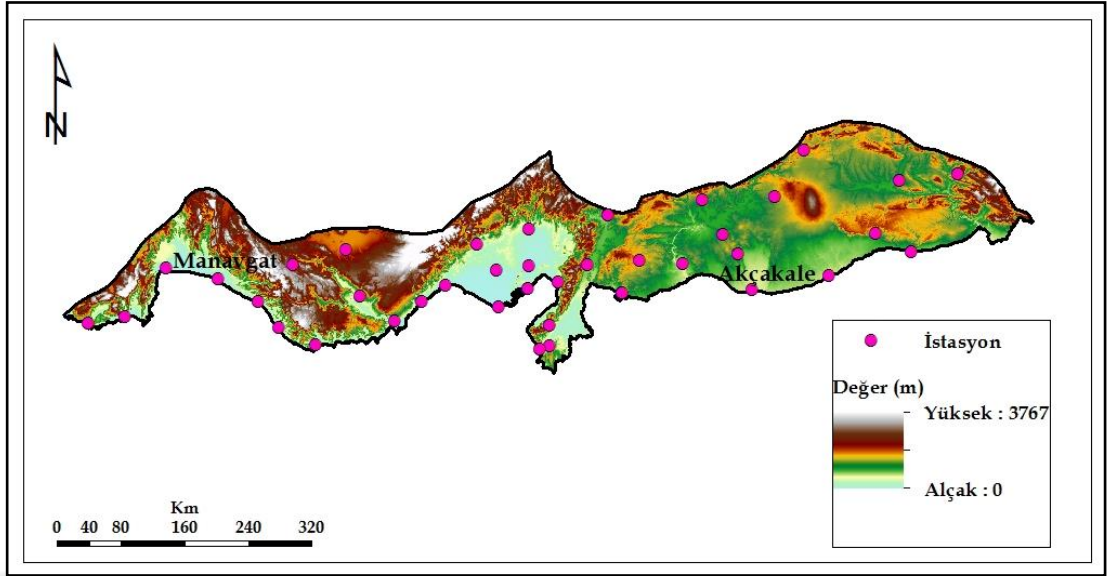
5.2.4. Bölge 4’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı

Bölge 4, Türkiye’nin güney (Akdeniz Bölgesi) ve güneydoğu (Güneydoğu Anadolu Bölgesi) kesimlerini içine almaktadır. Bölge 4’ün güney kesimlerinin büyük bir kısmı Train-Kretase aralığında tortulanmış çoğunlukla kireçtaşlarının Pliocene kadar devam eden Alp-Himalaya kıvrımları ile orojenik ve epirojenik olarak yükselmesiyle oluşmuş Toros Dağları ve yüksek platolarla kaplıdır. Yörenin Pliocene ve sonrasında yükselimi akarsu sistemlerinin gömülmesine neden olmuş bu nedenle kanyon vadilerle yarılmış engebeli ve dağlık bir görünüm kazanmıştır. Dağların kıyıya paralel uzanması, dalga aşındırmasının fazla olmasına ve kıyılarda falezlerin çokluğuna neden olmuştur. Güneydoğu kesimleri, güney alanlarına oranla alçak plato ve havzalardan oluşmaktadır. Güneydoğu Toroslar bölgenin güneydoğu kesiminde kalan kuzey kesimini bir yay şeklinde kuşatmaktadır. Güneydoğu Torosların eteklerinden Suriye sınırına doğru hafif bir eğimle inen Güneydoğu Anadolu düzlüklerinin kenarları, vadilerle yarılmış platolar halindedir. Orta bölümleri ise ova görünümündedir. Türkiye’nin büyük akarsularından olan Dicle ve Fırat, bölgenin bu kesiminden geçmektedir.

Bölge 4’de Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin hâkim iklim koşulları görülmektedir. Akdeniz Bölgesi’nin iklimi, yazlar sıcak ve kurak,

kışlar ılık ve yağışlıdır. Bu bölgede Akdeniz üzerinde modifiye olan gezici alçak basınçların etkisi ve bunun sıcak sektörünü oluşturan tropikal hava, nemlilik miktarı, güneş ışınlarının düşme açısı ve Toros Dağları'nın doğrultusu ve yükseltisi kış mevsiminin ılık geçmesine neden olmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin iklimi ise, karasal iklim ile Akdeniz iklimi tesiri altındadır. Özellikle bölgenin batısında, Akdeniz ikliminin genel özellikleri görülmektedir. Bölgede yaz aylarında etkili olan Basra Alçak Basıncı yaz sıcaklıklarının yüksek olmasına neden olur. Basra alçak basıncı uzun süren sıcak ve kurak yazlara sebep olur. Bunun başlıca nedeni, Alçak basınç merkezine doğru güneyden esen sıcak ve kavurucu rüzgârlardır. Batıdan doğuya gidildikçe ve alçak yerlerden yükseklerle çıkıldıkça Akdeniz ikliminin etkisi zayıflamakta, karasal iklimin etkisi artmaktadır. Kış ayları yağışlı ve Doğu Anadolu'daki kadar olmasa da soğuk geçmektedir.

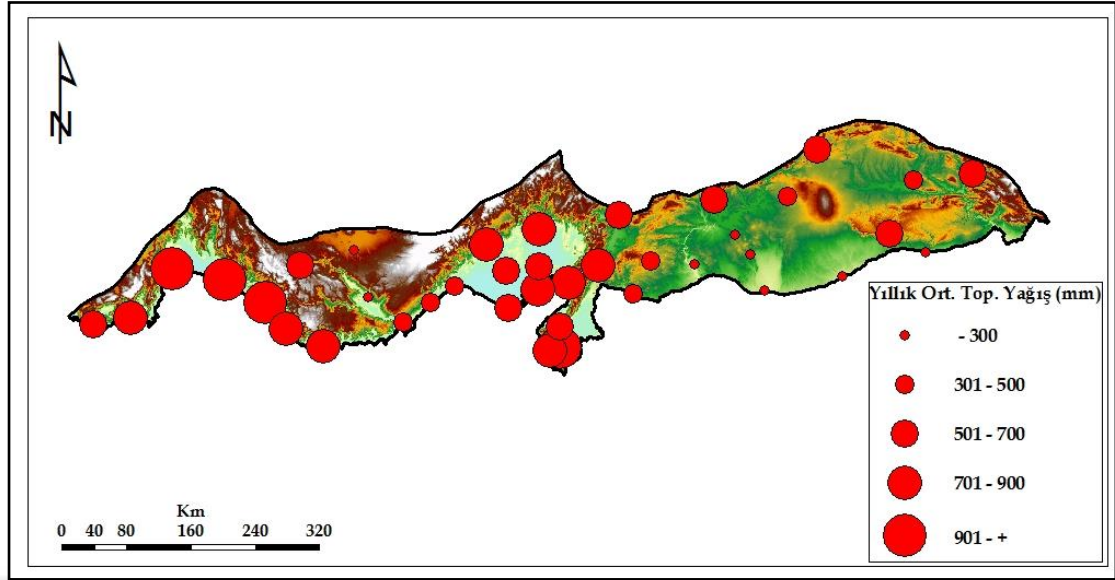
Bölge 4'ün en yağışlı alanlarını Manavgat çevresi oluşturmaktadır. İstasyonun 1975-2010 dönemine ait yıllık ortalama toplam yağış değeri 1128.4 mm'dir. Diğer taraftan bölgenin en az yağışlı alanını Akçakale çevresi oluşturmaktadır. Akçakale istasyonu 269.3 mm yıllık ortalama toplam yağış değerine sahiptir. Şekil 58, Bölge 4 sınırını ve bu bölgede yer alan istasyonların dağılımını göstermektedir.



Şekil 58. Bölge 4’deki meteoroloji istasyonlarının dağılışı

5.2.4.1. Bölge 4 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması

1975-2010 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin Bölge 4 için coğrafi dağılışı haritası Şekil 59’da gösterilmektedir. Şekil 59 ve Çizelge 40’a göre, yıllık ortalama toplam yağışın 300 mm’den az olduğu yerler bölgenin düşük yağışlı alanlarına, 900 mm’den yüksek olduğu yerler yüksek yağışlı alanlarına karşılık gelmektedir.



Şekil 59. Bölge 4 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi

Çizelge 40. Bölge 4’de yağış frekans tablosu

(- 300)	(301-500)	(501-700)	(701-900)	(901-+)
Akçakale	Karaman	Siverek	Ceyhan	Samandağ
Ceylanpınar	Hilvan	Gaziantep	Kahramanmaraş	Anamur
	Birecik	Silifke	İskenderun	Dört Yol
	Mut	Alata	Kaş	Finike
	Nusaybin	Mersin	Ergani	Antalya
	Şanlıurfa	Mardin	Karataş	Antakya
	Batman	Hadim	İslahiye	Alanya
	Kilis	Adana	Yumurtalık	Manavgat
		Siirt	Kozan	
		Adıyaman	Gazipaşa	
			Karaisalı	

Bölge 4’teki Akdeniz kıyı kesimindeki yağış dağılışı incelendiğinde bu yağışların orografik uzanıslardan etkilendiği görülür. Orta Torosların Antalya Anamur eksenini oluşturan kuzeybatı-güneydoğu uzanıslı kesimleri yüksek yağış almaktadır. Güneybatı-kuzeydoğu uzanısa sahip Silifke-Mut-Erdemli gibi istasyonlar yağış duldasında kaldığı için düşük yağış almaktadır. Bunun benzerini Nur (Amanos) Dağları’nda da görmek mümkündür. Güneybatı yönlü

rüzgârlara açık Samandağı istasyonunda yağış 900 mm'nin üzerindedir. Dağların yön değiştirmesiyle güneybatı yönlü rüzgârları az alan İskenderun'da yağış 900 mm'nin altındadır. Bölge 4'ün doğu kesimi, düşük yağışın geniş alan kapladığı yörelerden biridir. Bu yöredeki, Ceylanpınar, Akçakale 300 mm ile en az yağışlı kesimlerini oluşturur. Bunları kuzeyden çevreleyen Şanlıurfa, Birecik, Hilvan, Batman, Kilis gibi istasyonlarda yağış 300-500 mm arasındadır. Güneydoğu Torosların güney etekleri ise, bu yörenin en fazla yağış alan kesimidir.

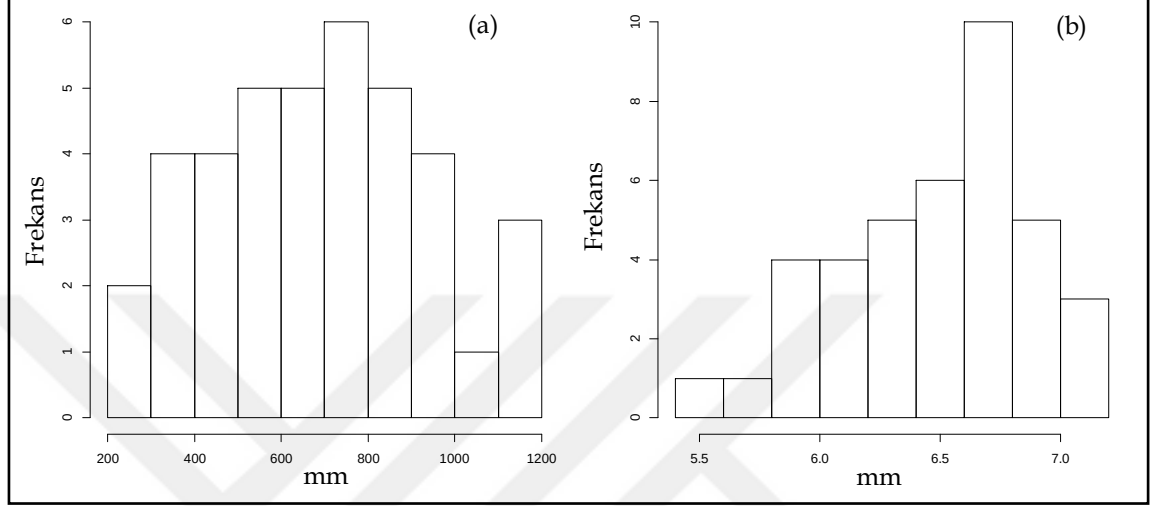
Çizelge 41 uzun süreli yağış gözlemi yapan 39 meteoroloji istasyonundan elde edilen yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin tanımlayıcı istatistik değerlerini göstermektedir. Buna göre, yıllık ortalama toplam yağışın maksimum değeri 1128.4 mm, minimum değeri 269.3 mm'dir. Ortalama değer ise, 688.9 mm olarak hesap edilmiştir. Diğer yandan standart sapma değeri 240.8 mm'dir. Bölgede standart sapma, ortalama değer 1/3'ünden fazladır. Bu durum, bölgedeki değişkenliğin büyük olduğunu göstermektedir. Bölgedeki yağış genişliğinin 859.1 mm yani ortalama yağış değerinden büyük olması, yağış değişkenliğinin büyük olduğunun bir diğer göstergesidir.

Çizelge 41. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)

Ort.	Std. Sap.	Min.	Ortanca	Maks.	Mod
688.9	240.8	269.3	696.2	1128.4	-

Not: Ort, Ortalama; Std. Sap, Standart Sapma; Min, Minimum; Maks, Maksimum'un kısaltmasıdır.

Şekil 60a'daki histogram grafiği dikkate alındığında veri dağılımının normal dağılıma yakın olduğu görülür. Diğer bölgelerde olduğu gibi analizler logaritmik dönüşüm gerçekleştirilmiş veriye uygulanmıştır (Şekil 60b).



Şekil 60. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım

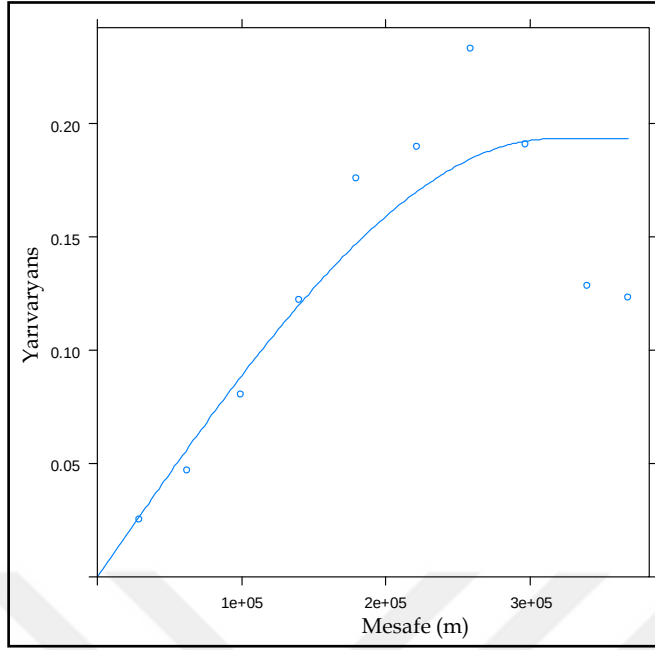
5.2.4.2. Bölge 4 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneysel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması

İstasyonlar arasındaki adım mesafesi ve sınıf sayısı, incelenen yıllık ortalama toplam yağış değişkenini temsil edebilecek en uygun model bulununcaya kadar değişik aralık ve sayıda Bölge 4 için işleme alınmıştır. Yıllık ortalama toplam yağış değerlerine ait en uygun adım mesafesinin 40 km ve sınıf sayısının 10 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 42). Bölge 4'ün deneysel yarıvariogram sonuçları incelendiğinde yarıvaryans değerleri 0.03'den başlayarak 0.23'e kadar düzenli bir artış göstermiştir. Ancak, 8. adım mesafesinden sonra yarıvaryans değerleri azalma göstermiştir. Bu durum, 8.

adım mesafesinden sonra bölgede yıllık ortalama toplam yağış değerleri arasında mekânsal bir ilişkinin olmadığını ifade etmektedir. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağış değişkenine ait teorik yarıvariogram yapısı “Spherical” tip teorik yarıvariogram modeli olarak belirlenmiştir. Şekil 61 Spherical model ve Fit Method 7 kullanılarak oluşturulan teorik yarıvariogram modelini göstermektedir.

Çizelge 42. Bölge 4 için deneysel yarıvariogramın sonuçları

	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Yarıvaryans
1	7	29.2	0.03
2	54	62.9	0.05
3	61	99.1	0.08
4	66	139.9	0.12
5	57	179.1	0.18
6	47	221.4	0.19
7	52	258.6	0.23
8	49	296.8	0.19
9	47	339.8	0.13
10	14	367.5	0.12



Şekil 61. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli

Not: Teorik yarıvariogramın elde edilmesinde “Spherical model ve Fit Method 7 kullanılmıştır.

Çizelge 43 teorik yarıvariograma oturan Bölge 4 için yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin eşik değeri ve etki uzaklığı değerlerini göstermektedir. Buna göre, Bölge 4 için eşik değeri 0.19, etki uzaklığı 315.7 km olarak tespit edilmiştir. Bu etki uzaklığı incelenen bölgeler içerisindeki en büyük uzaklığa sahip bölgedir. Bu durumda bölge sınırının Türkiye’nin güneyini tümünden kuşatması ve doğu kesiminde topografyanın etkisinin az olmasının etkin olduğu düşünülebilir.

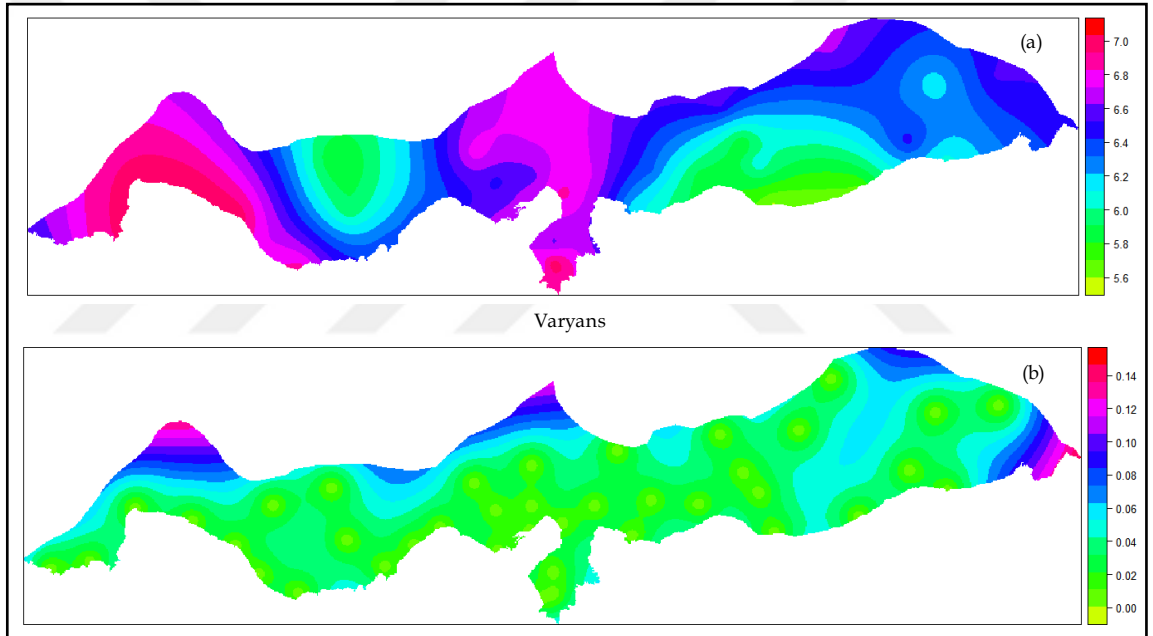
Çizelge 43. Bölge 4 teorik yarıvariogram sonuçları

Model	Eşik değeri	Etki uzaklığı (km)
Nug	0.0	0
Sph	0.19	315.7

Not: Nug, Nugget; Shp, Spherical modellerinin kısaltmasıdır.

5.2.4.3. Bölge 4 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

Gözlemi bulunmayan yerlerin noktasal değerleri OK tahmin yöntemi ile elde edilmiştir. OK tahmin ve varyans haritaları Şekil 62’de gösterilmiştir. Varyans haritası incelendiğinde bölgenin büyük bir kısmı 0.04’den küçük varyans değerine sahiptir. Bölgenin bu değere sahip alanlarında sonuçların güvenilir olduğu ortadadır. Ancak, istasyon ağının azaldığı ve yükseltisinin etkin olduğu kenar kesimlerde bu varyans değeri yükselmektedir.

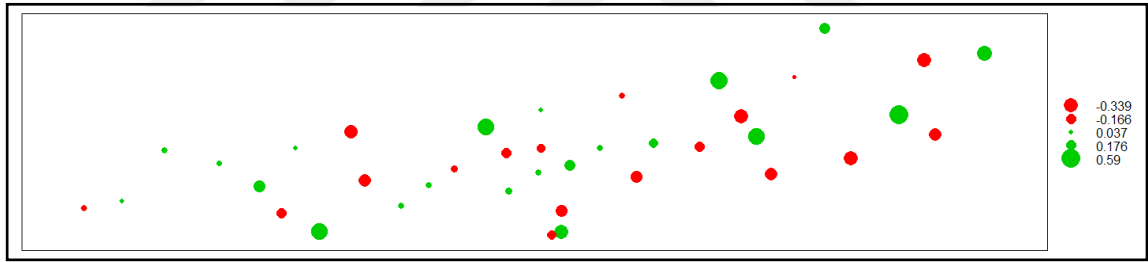


Şekil 62. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü uygulanmıştır.

5.2.4.4. Bölge 4 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi

Kriging analizi Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Bu yöntemle ait sonuç haritası Şekil 63'de gösterilmektedir. Modelin Çapraz Geçerlilik yöntemiyle elde edilen hata haritası incelendiğinde, yağışın genellikle dar derin vadiler içinde, dulda da kalan istasyonlarda veya az yağışlı istasyonlarda yüksek tahmin sonuçları verdiği gözlemlenmektedir. Kıyıda ve düz kesimlerde kalan istasyonlarda düşük tahmin sonuçları bulunmaktadır. Ancak, kıyı kesimlerinde hata payları yüksekken, doğuya doğru gidildikçe hata oranı azalmaktadır.



Şekil 63. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

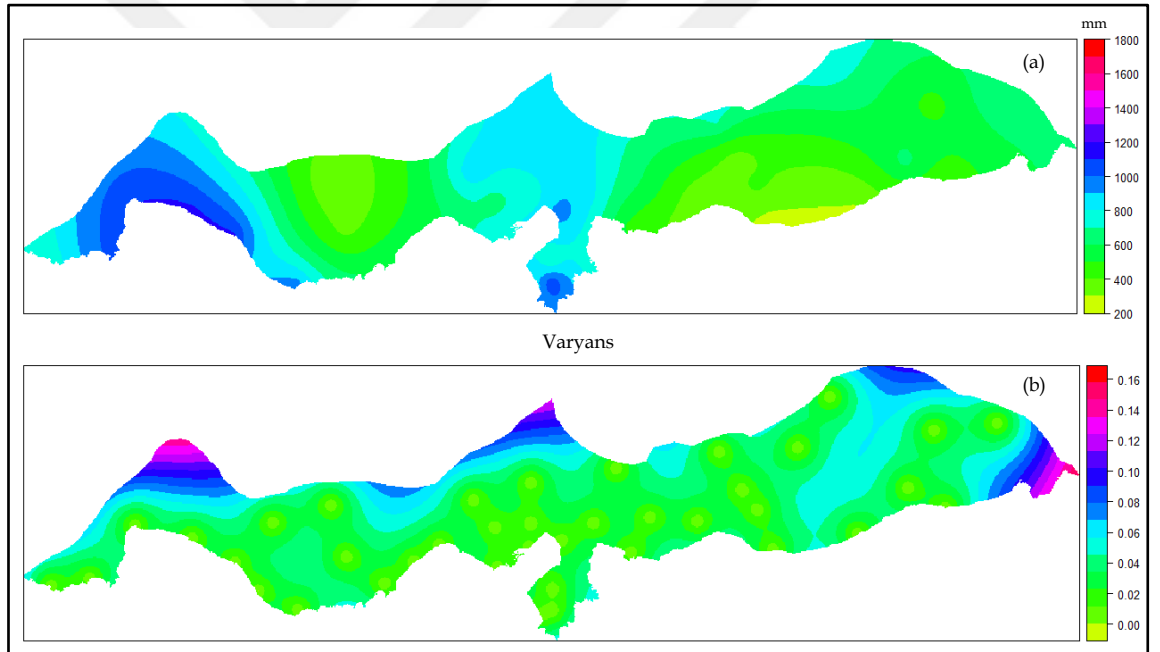
Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 44'de verilmiştir.

Çizelge 44. Bölge 4 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	304.1	268.3
Birinci Bölün	501.0	512.2
Ortanca	639.8	695.2
Ortalama	677.7	687.9
Üçüncü Bölün	812.5	849.0
Maksimum	1069.1	1127.4

Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası ve varyans haritası Şekil 64 (a, b)'de verilmiştir.



Şekil 64. Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası

Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yıllık ortalama toplam yağış dağılışı haritası incelendiğinde topografik etkinin bölgeyi 4 büyük parçaya ayırdığı

görülmektedir. Bölgenin batı kesimlerinde genelde yağış getiren rüzgârlara dönük kısımların yağış değerleri yüksek, duldada kalan Taşeli Platosunda yağış değerleri düşüktür. Yağışa dönük Nur Dağ'ları ve uzantılarında yüksek yağış, karasallığın etkisindeki Güneydoğu Anadolu'da düşük yağış değerleri saptanmıştır. Alanya, Manavgat hattı ve Samandağ, Antakya yöresi ile yüksek Aladağlar'a uzanan alanlarda yağış değerleri yüksektir. Göksu Vadisi'nin içindeki Hadim ve Mut gibi istasyonlarda yağış değerleri düşüktür. Güneydoğu Anadolu'da yağış değerleri sınır bölgesinden, Doğu Toroslar'ın oluşturduğu yüksek kesimlere doğru artmaktadır.

OK yönteminin performans sonuçları Çizelge 45'de gösterilmektedir. R^2 0.63, ME değerleri 0'a yakın ve MAE değerleri kabul edilebilir değerde çıkmıştır. Yine aynı şekilde uç değerleri de hesaplama dâhil eden RMSE değeri de 148.49'dur. Bu değerler yağış gibi mekânsal dağılımın yüksek değişkenlik gösterdiği iklim değişkeni için güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 45. Bölge 4 OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R^2
OK (Bölge 4)	-10.27	125.64	148.49	0.63

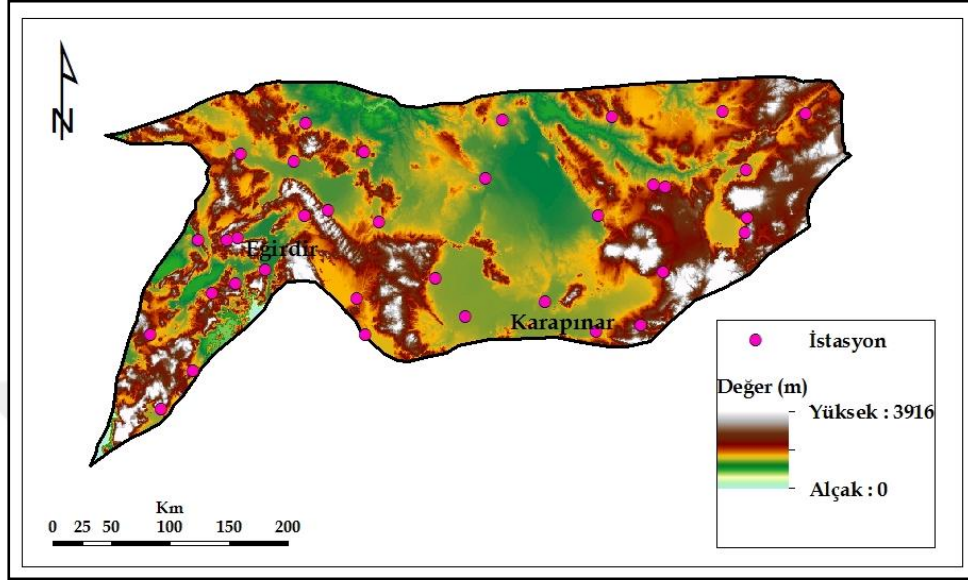
5.2.5. Bölge 5'de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı

Bölge 5, Türkiye'nin kısmen orta kesimini (Göller yöresi ve İç Batı Anadolu kısmını) oluşturmaktadır. Bu nedenle yöre karasal özellikte ama yükselti ve yer şekilleri bakımından farklı iki alandan meydana gelmektedir.

Bölgenin batısı, Göller yöresini oluşturan çöküntü sahaları ve arasındaki dağlık alanlar ile Asıl Ege Bölümü ile İç Anadolu Bölgesi arasındaki yüksek eşik alanlarından oluşmaktadır. Doğu kesimi, Konya ve Tuz Gölü Kapalı Havza'ları ile Toros Dağları'nın kuzey eteklerini kapsamaktadır. Bu nedenle bölgede farklı yer şekilleri yaygındır. Batı kesiminde engebelilik daha belirgindir. Çukur kesimler büyük göllerle işgal edilmiştir. Bölge kıyıya yakın olmasına rağmen, yükseltisi kıyıdan daha karasal bir iklim görülmesine neden olmaktadır. Batı kesimlerindeki Toros dağlarının oluşturduğu yükselti, güney hava sistemlerine kapalıdır. Güneyden gelen nemli hava sistemleri Toros Dağları'nın güney yamaçlarına yağış bırakır ve kuzey yamaçta hava kütlelerinde görülen adyabatik ısınma kuru ve sıcak bir karakter kazanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle Konya, Karapınar alanları ülkenin en az yağışlı yörelerinden birini oluşturmaktadır.

Bölgenin çevresi yüksek dağlarla çevrili olduğundan, denizlerin ılıman havası bölgeye sokulamamaktadır. Bundan dolayı, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlı karasal iklim hâkimdir. Bölgenin karasal karakter göstermesi kış sıcaklık değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. İlkbahar, sağanak tarzında en fazla yağışları aldığı mevsimi oluşturmaktadır. En kurak mevsim yazdır. Tuz Gölü ve çevresi, bölgenin en az yağış alan yeridir. Bölge 5'de toplam 35 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bölge 5 sınırı ve bölgeye düşen meteoroloji istasyonların dağılımı Şekil 65'de verilmiştir. En düşük yıllık ortalama toplam yağış değeri 1004 m'de 288 mm ile Karapınar istasyonu, en

yüksek yıllık ortalama toplam yağış değeri 920 m'de 822.1 mm ile Eğirdir istasyonudur.

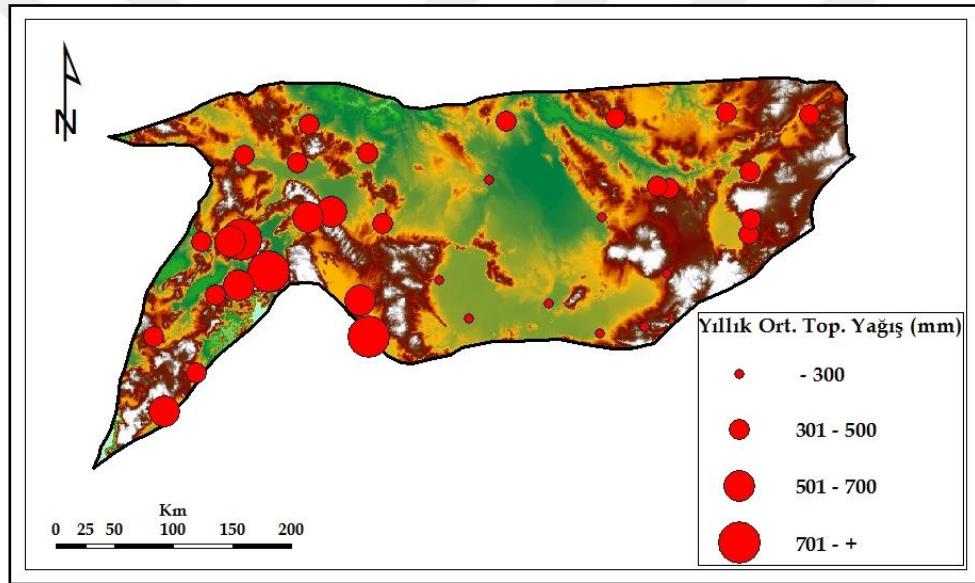


Şekil 65. Bölge 5'deki meteoroloji istasyonlarının dağılışı

5.2.5.1. Bölge 5 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması

1975-2010 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin Bölge 5 için coğrafi dağılış haritası Şekil 66'da gösterilmektedir. Şekil 66 ve Çizelge 46'ya göre, yıllık ortalama toplam yağışın 300 mm'den düşük ve 700 mm'den yüksek olduğu alanlar bölgenin düşük ve yüksek yağışlı yerlerine karşılık gelmektedir. Buna göre, bölgenin batı kesimi ile doğu kesimi arasında yıllık ortalama toplam yağış dağılışı bakımından belirgin farklılıklar vardır. Batı kesimi bölgenin en yağışlı alanlarını oluşturmaktadır. Eğirdir (822 mm) ve Seydişehir (769 mm) istasyonları bölgenin yüksek yağışa sahip istasyonlarıdır. Tuz Gölü ve Konya Ovası ise bölgenin düşük yağışlı kesimini oluşturmaktadır.

Bu kesimdeki Karapınar ve Ereğli istasyonları, Bölge 5'in düşük yağışlı alanlarına karşılık gelmektedir. Bunların yıllık ortalama toplam yağış değerleri sırasıyla 288 mm ve 299.8 mm'dir. Yükseltinin doğuya doğru artması ile yağış değerleri tekrar artmaktadır. Çizelge 46, Bölge 5'te yer alan istasyonların 301-500 mm arasındaki yağış grubunda toplandığını göstermektedir. 35 istasyonun 26'sı yıllık ortalama toplam yağış miktarı değerleriyle bu yağış sınıfı içerisinde yer almaktadır.



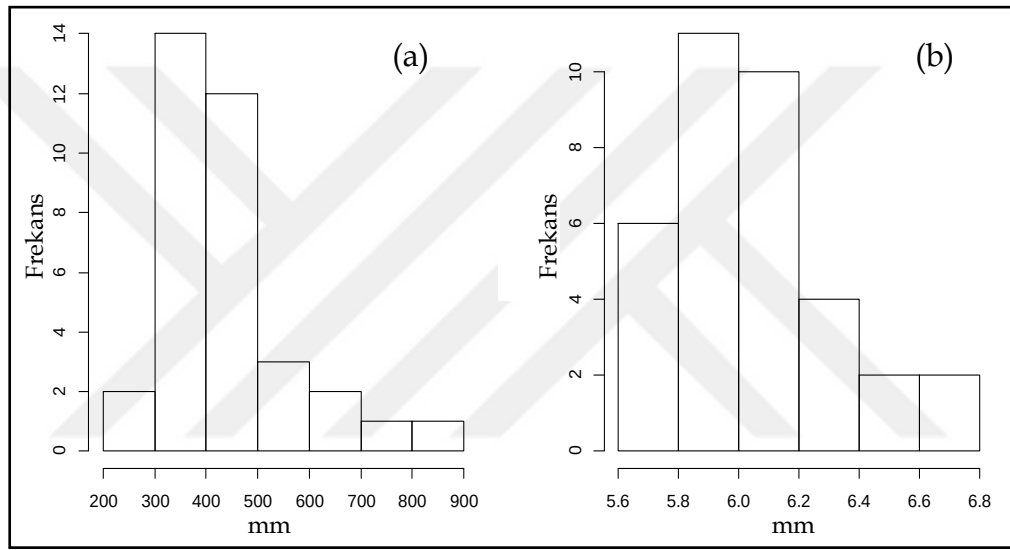
Şekil 66. Bölge 5 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi

(- 300)	(301-500)	(501-700)	(701-+)
Karapınar	Ulukışla	Tomarza	Yalvaç
Ereğli	Konya	Kayseri	Isparta
	Çumra	Emirdağ	Akşehir
	Cihanbeyli	Gemerek	Uluborlu
	Niğde	Nevşehir	Senirkent
	Aksaray	Afyon	
	Develi	Burdur	
	Boğazlıyan	Ilgın	
	Kırşehir	Dinar	
	Korkuteli	Yunak	
	Ürgüp	Tefenni	
	Kulu	Elmalı	
	Bolvadin	Beyşehir	

Çizelge 47. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)

Not: Ort, Ortalama; Std. Sap, Standart Sapma; Min, Minimum; Maks, Maksimum'un kısaltmasıdır.

Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağış verisinin histogram grafiğine (Şekil 67a) göre, logaritmik dönüştürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Logaritmik dönüşüm sonucuna ait grafik Şekil 67b’de gösterilmektedir. OK analizleri logaritmik dönüşümü sağlanmış veriye uygulanmıştır. Her iki frekans dağılımı da sağa çarpık durumdadır. Uygulanan logaritmik dönüşüm verideki çarpıklığı azaltmıştır.



Şekil 67. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım

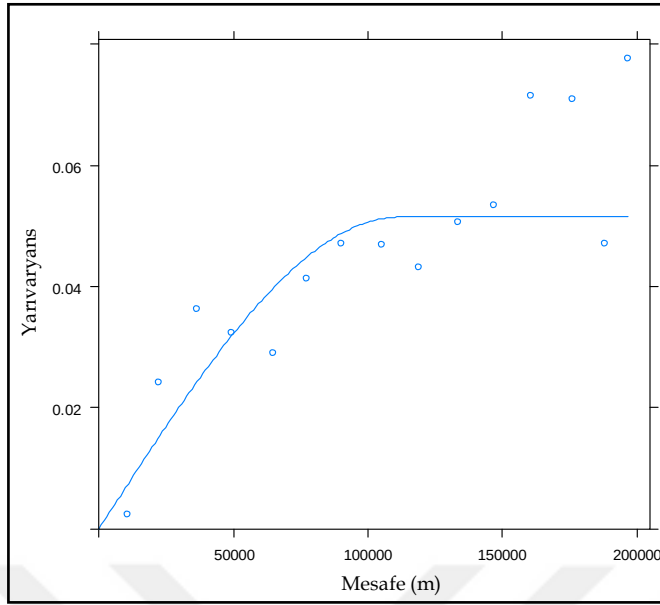
5.2.5.2. Bölge 5 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneysel ve Teorik Yarıvariogramların Oluşturulması

İstasyonlar arasındaki adım mesafesi ve sınıf sayısı, incelenen yıllık ortalama toplam yağış değişkenini temsil edebilecek en uygun model bulununcaya kadar değişik aralık ve sayıda Bölge 5 için işleme alınmıştır. Yıllık ortalama toplam yağış değerlerine ait en uygun adım mesafesinin 14 km ve sınıf

sayısının 15 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 48). Bölge 5 için deneysel yarıvariogram sonuçları incelendiğinde yarıvaryans değeri 0.002'den başlayarak, 0.047 değerine kadar bir artış göstermiştir. 7. adım mesafesinden sonra değer sabitlenmiştir. 9. adım mesafesine kadar düşmüş ve yarıvaryans değeri artma, azalma şeklinde devam ettiği gözlemlenmiştir. Buna göre, 7. adım mesafesinden sonra yıllık ortalama toplam yağış değerlerini gösteren gözlem çiftleri için bir etkileşimin kalmadığı söylenebilmektedir. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağış değişkenine ait teorik yarıvariogram yapısı ise, “Spherical” tip teorik yarıvariogram modeli olarak belirlenmiştir. Spherical teorik yarıvariogram modeli ve Fit Method 7 kullanılarak oluşturulan model Şekil 68’de gösterilmektedir.

Çizelge 48. Bölge 5 için deneysel yarıvariogramın sonuçları

	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Yarıvaryans
1	3	10.7	0.002
2	3	22.4	0.024
3	11	36.5	0.036
4	18	49.5	0.032
5	20	64.7	0.029
6	27	77.3	0.041
7	24	90.2	0.047
8	26	105.3	0.047
9	31	119.1	0.043
10	23	133.6	0.051
11	25	146.9	0.054
12	32	160.7	0.072
13	17	176.0	0.071
14	19	187.9	0.047
15	9	196.9	0.078



Şekil 68. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli

Not: Teorik yarıvariogramın elde edilmesinde “Spherical model ve Fit Method 7 kullanılmıştır.

Teorik yarıvariograma oturan Bölge 5 için yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin eşik değeri 0.052, etki uzaklığı, 111.8 km olarak tespit edilmiştir (Çizelge 49).

Çizelge 49. Bölge 5 teorik yarıvariogram sonuçları

Model	Eşik değeri	Etki uzaklığı (km)
Nug	0.00	0
Sph	0.052	111.8

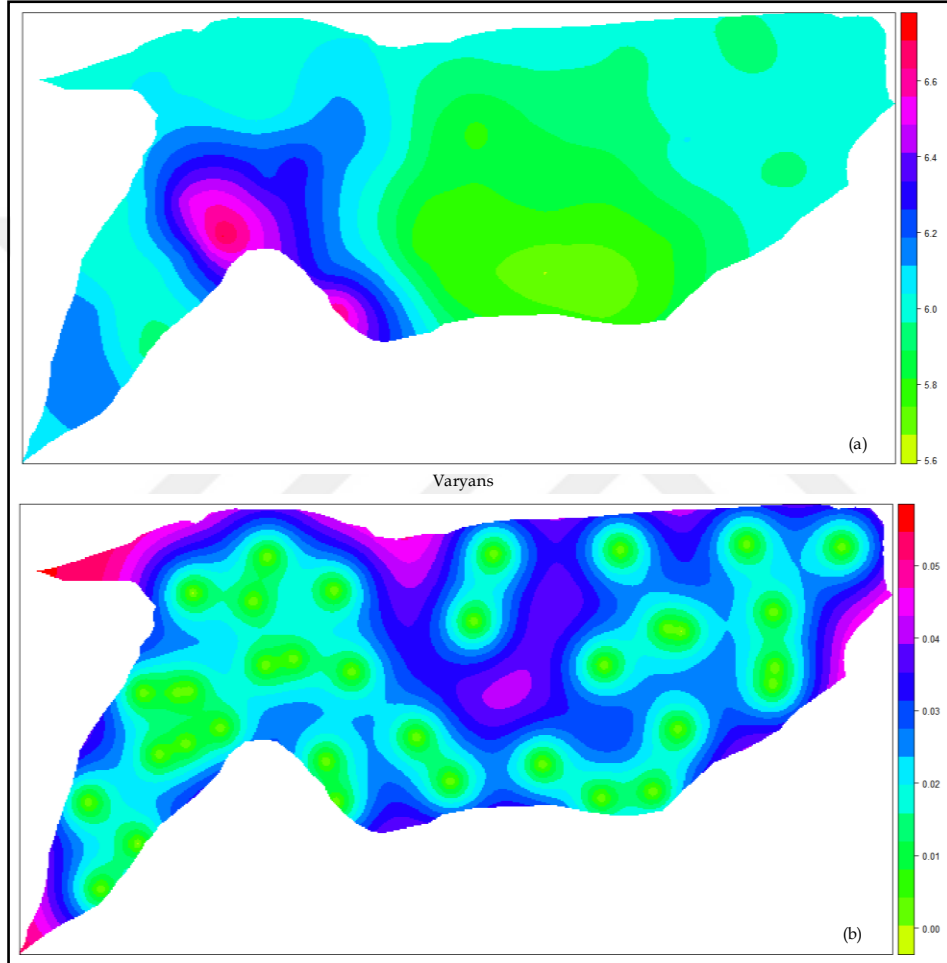
Not: Nug, Nugget; Sph, Spherical modellerinin kısaltmasıdır.

5.2.5.3. Bölge 5 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

Gözlemi bulunmayan yerlerin noktasal değerleri OK tahmin yöntemi ile elde edilmiştir. OK tahmin ve varyans haritaları Şekil 69 (a, b)’da gösterilmiştir.

OK analizi sonucu elde edilen varyans haritası incelendiğinde en yüksek

varyans değeri 0.05 olarak izlenmektedir. Bu durum modelin doğru sonuçlar verdiğinin bir göstergesidir. Ancak, düşük varyans değerine sahip istasyonların küçük kümelenmeler oluşturması bölgenin topografyası ve Konya, Tuz Gölü çevresindeki istasyon ağının sık olmaması ile ilgilidir.



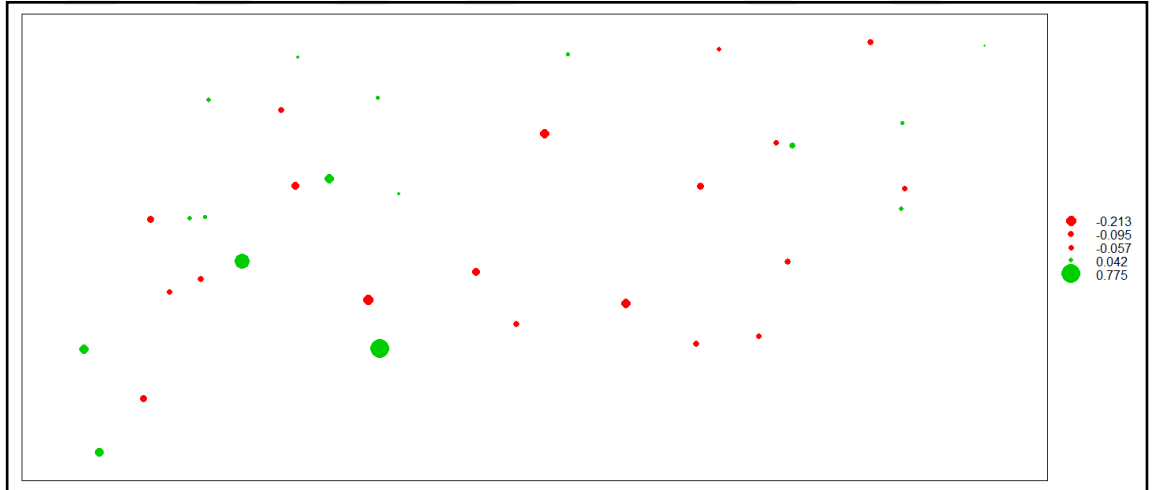
Şekil 69. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü gerçekleştirildikten sonra yapılmıştır.

5.2.5.4. Bölge 5’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini

Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi

Kriging analizi Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Bu yöntemle ait sonuç haritası Şekil 70’de gösterilmektedir. Çapraz Geçerlilik yöntemiyle elde edilen hata haritası değerlendirildiğinde Bölge 5’in diğer bölgeler içerisinde gözlemlenen değerlerle tahmin edilenler arasındaki farkın az olduğu izlenmektedir. Seydişehir ve Eğirdir istasyonlarında düşük tahmin vardır. Bu istasyonlar, bölge içerisindeki yüksek yağış değerine sahiptir. Bölgenin doğusunda gerçeğe yakın tahminler yapılmıştır. Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 50’de verilmiştir.



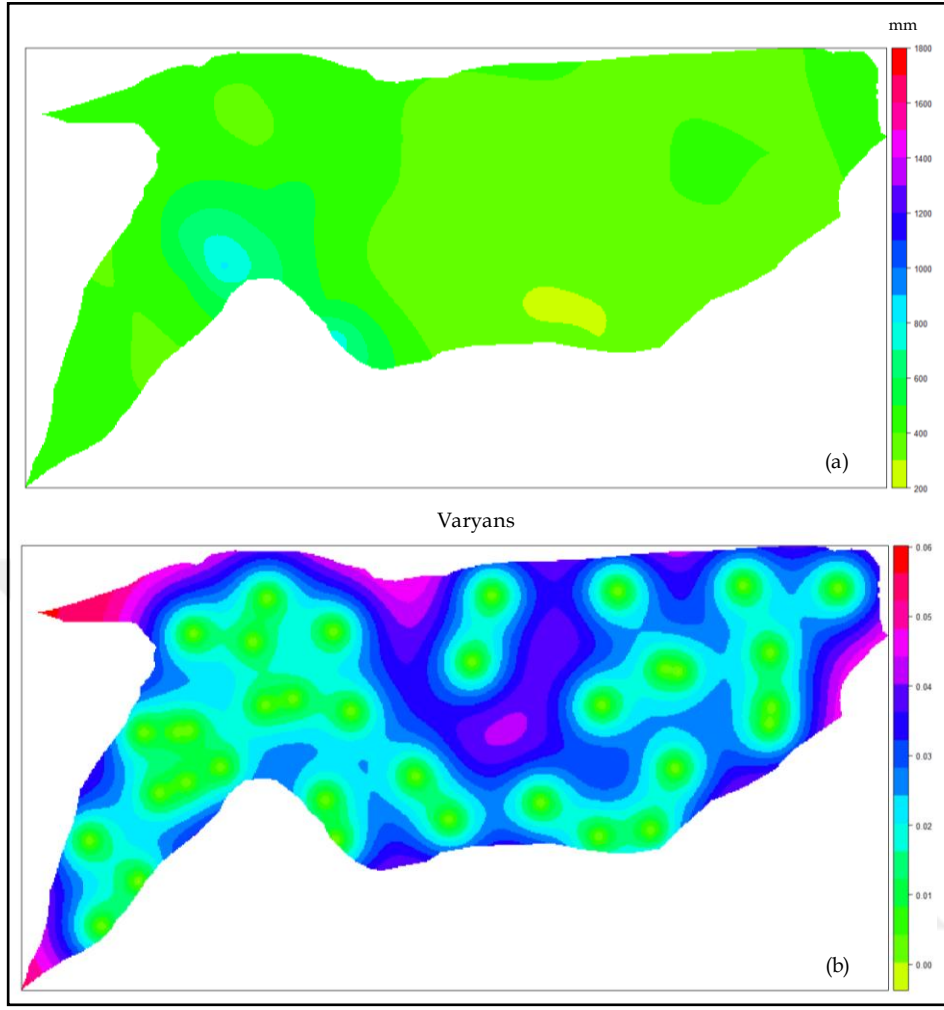
Şekil 70. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Çizelge 50. Bölge 5 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	329.5	287.0
Birinci Bölen	385.0	376.6
Ortanca	405.1	403.5
Ortalama	434.7	438.4
Üçüncü Bölen	446.2	471.8
Maksimum	635.5	821.1

Şekil 71 (a, b) OK enterpolasyon sonuçlarının logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı ve varyans haritalarını göstermektedir. Tahmin haritası incelendiğinde bölgede yağış dağılışının homojen olduğu görülür. Karapınar çevresi bölgenin en az yağışlı bölümüdür. Batı Torosların kavislendiği Göller yöresi Bölge 5'in en fazla yağışlı alanlarını oluşturmaktadır. Ancak, karasallığın hâkim olması bölge genelinde yağışın 300-500 mm arasında kalmasına neden olmuştur. Bu değer Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağış miktarından düşüktür.



Şekil 71. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

OK modelinin performans karşılaştırması Çizelge 51’de verilmiştir. Buna göre, R^2 değeri 0.48’dir. Diğer taraftan MAE ve RMSE değerlerinin yeterince düşük olması modelin kabul edilebilirliğini göstermektedir. Hatanın yanlılık derecesini belirlemek amaçlı kullanılan ME değerinin negatif olması tahmin edilen değerlerin, gözlemlenen değerlerin altında olduğunu ifade etmektedir. Aynı zamanda, ME değeri, 0’a yakın bir değerdedir.

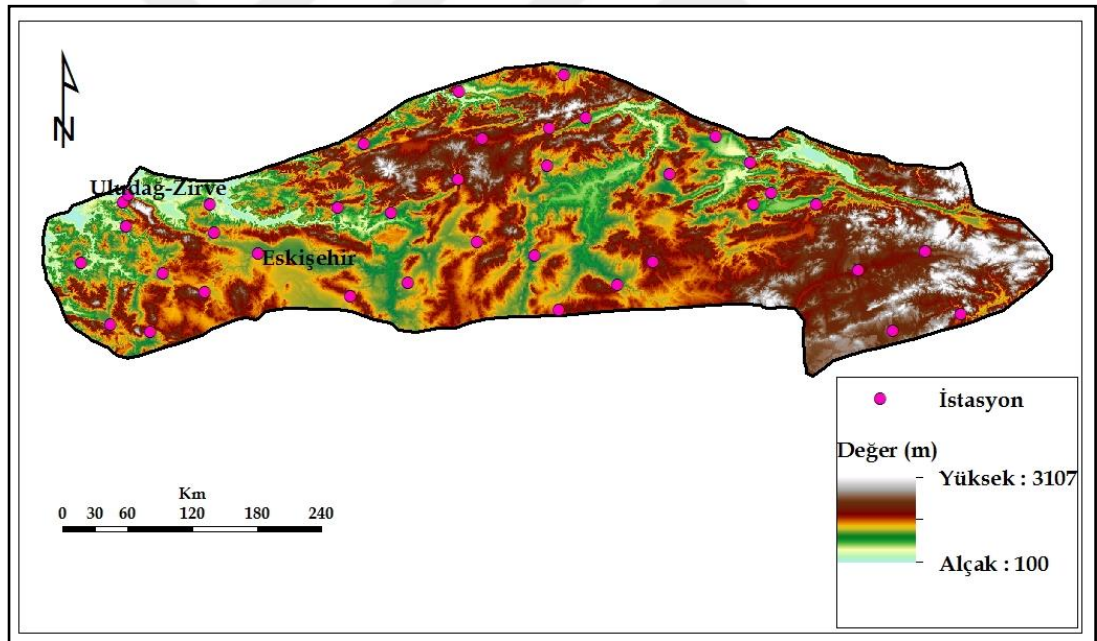
Çizelge 51. Bölge 5 OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
OK (Bölge 5)	-3.68	54.82	87.19	0.48

5.2.6. Bölge 6’da Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Mekânsal Dağılımı

Bölge 6, Batı ve Orta Karadeniz kıyı kesimini kuşatan Köroğlu-Işık Dağları sırasının güney kesimini, doğuda Sivas civarındaki yüksek dağlık alanları ve Tuz Gölü havzasının kuzeyi Haymana Platosu uzantısını oluşturan dalgalı düzlükleri kapsamaktadır. Bölge hemen hemen Bölge 5 ile benzer özellikler göstermektedir. Yeryüzü şekilleri bakımından kısmen sade ve çeşitlilik göstermeyen bir görünüme sahiptir. Bölgenin doğu kesiminde Doğu Anadolu Bölgesi’nin yer şekli koşulları dikkat çekmektedir. Bölgede 1000 m yükseltiye sahip düzlükler, çok sayıda platolar ve ovalar bulunmaktadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlı yarı karasal iklim hâkimken, doğuya doğru gidildikçe yüksekliğin artmasına bağlı olarak karasallık etkisinin arttığı gözlemlenmektedir. Karadeniz Bölgesi’nin denizel koşullarının dağ sıraları nedeniyle iç kesimlere ulaşamaması yörede yarı karasal ve karasal iklim koşullarının hâkim olmasını sağlamıştır. Dağların bu güney yamaçlarında yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlı bir iklim görülür. Genel olarak Bölge 6 ülkenin az yağış alan bölgelerindendir. İlkbahar, fazla yağış alan mevsimi oluşturmaktadır. Yağışlar bu mevsimde sağanak şeklinde izlenir. Denizden gelen nemli hava kütlesi nemini, dağların denize bakan yamaçlarında yağış halinde bırakırken, iç kesimlerde adyabatik ısınma hava kütlelerinin bağlı

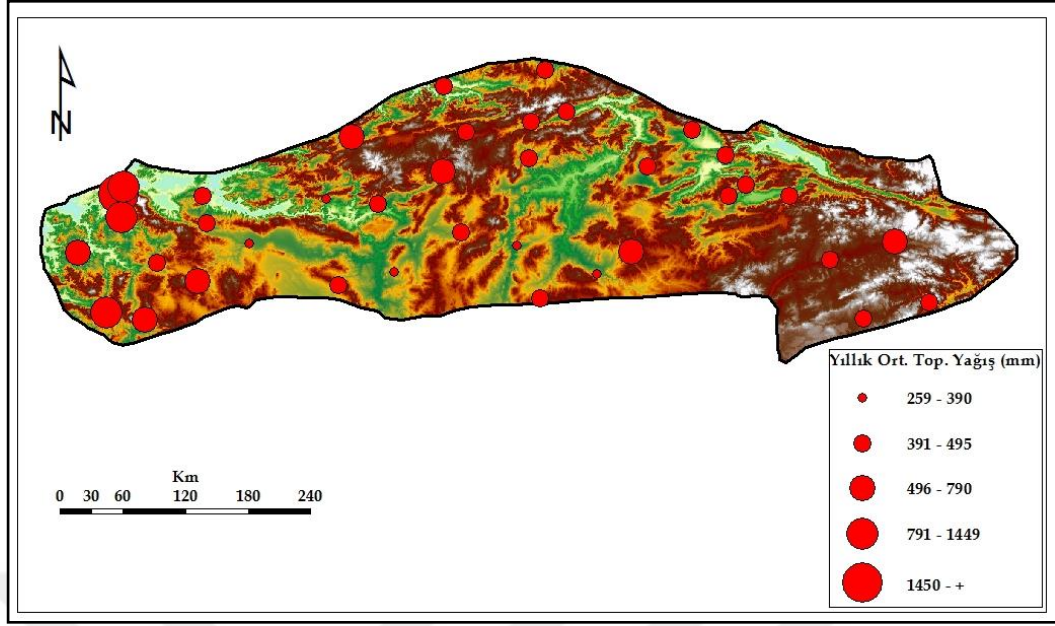
nem miktarlarını düşürerek kuru hale getirir. Bitki örtüsü bu alanlarda kuzeyde orman formasyonundan güneye doğru step formasyonuna doğru geçiş göstermektedir. Bölge 6'da toplam 38 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bölge 6 sınırı ve bölgeye düşen meteoroloji istasyonların dağılımı Şekil 72'de gösterilmektedir. Buna göre, en düşük yıllık ortalama toplam yağış değerine sahip istasyon 802 m'de 259.6 mm ile Eskişehir istasyonudur. 1877 m'de bulunan Uludağ-Zirve istasyonu 1450.9 mm'lik yıllık ortalama toplam yağış değeri ile bölgenin en yüksek yıllık ortalama toplam yağış değerini gösteren istasyonunu oluşturmaktadır.



Şekil 72. Bölge 6'daki meteoroloji istasyonların dağılışı

5.2.6.1. Bölge 6 Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Gösterimi ve Araştırılması

1975-2010 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin coğrafi dağılışı haritası Bölge 6 için Şekil 73’de gösterilmektedir. Bölgenin Uludağ-Zirve istasyonu ve güneyinde Balıkesir-Kütahya arasında kalan yüksek dağlık kesimler yüksek yağışlı alanlarını oluştururken, en düşük yağış değerlerini Eskişehir ve Nallıhan istasyonunun bulunduğu yerler meydana getirmektedir (Şekil 73, Çizelge 52). Eskişehir istasyonu 259.6 mm yıllık ortalama toplam yağış değerine sahiptir. Bunun yanında bölgede ova tabanı ve vadi içlerinde kalan istasyonlar düşük yağış almaktadır. Bu alanları çevreleyen yüksek kesimler daha yüksek yağış almaktadır. İstasyonların yağış dağılışı incelendiğinde yükseltinin yağış dağılışıda önemli bir faktör olduğu çok belirgindir. 100 m yükseklikte yer alan Bursa’da yağış 693.2 mm, 1877 mm yükseklikte bulunan Uludağ-Zirve istasyonu 1450.9 mm’dir. Bu durum sağlıklı modelleme için yüksek dağlık alanlardaki gözlemin önemini ortaya koymaktadır. Bölgede 38 istasyondan 26 tanesi, 391-495 mm arasında yağış değerine sahiptir (Çizelge 52).



Şekil 73. Bölge 6 1976-2010 yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin gösterimi

Çizelge 52. Bölge 6’de yağış frekans tablosu

(259-390)	(391-495)		(496-790)	(791-1449)	1450-+
Eskişehir	Nallıhan	Bilecik	Zara	Keleş	Uludağ-Zirve
	Çiçekdağı	Tokat	Kütahya	Simav	
	Polatlı	Sivas	Bolu		
	Kırıkkale	Çorum	Dursunbey		
	Divriği	Turhal	Gediz		
	Beyşehir	Zile	Kızılcahamam		
	Çerkez	Karabük	Yozgat		
	Ankara	Amasya	Bursa		
	Kangal	Kaman			
	Sivrihisar	Tavşanlı			
	Çankırı	Bozüyük			
	Ilgaz	Tosya			
	Merzifon	Kastamonu			

Uzun süreli yağış gözlemi yapan 38 meteoroloji istasyondan elde edilen yıllık ortalama toplam yağış değişkenine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Çizelge 53’de verilmiştir. Bölge 6 için yıllık ortalama toplam yağışın maksimum değeri 1450.9 mm, minimum değeri 259.6 mm, arasında değişir. Yağış genişliği 1191.3 mm’dir. Bu değerlerin ortalama yağış değeri 500.4 mm’nin iki katından

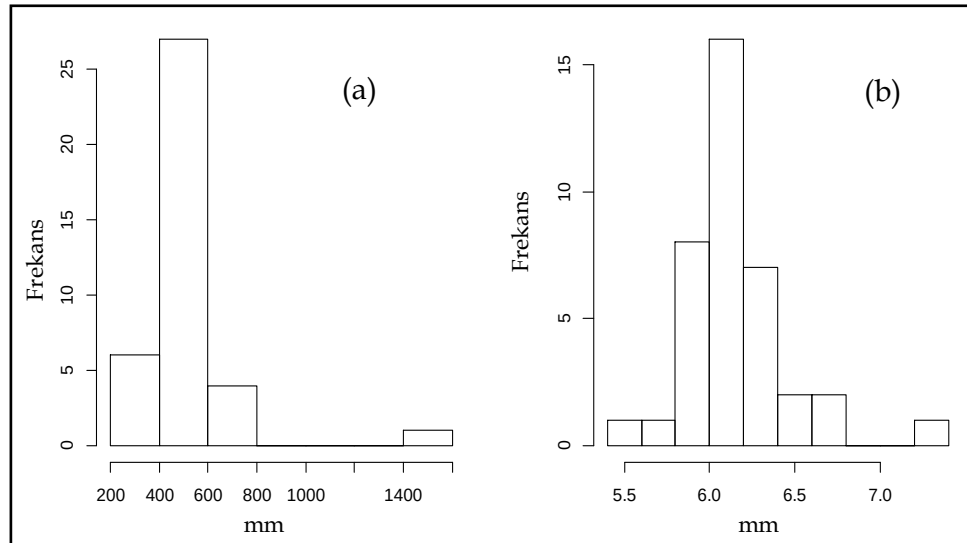
fazla olması, bölgedeki yağış değişkenliği ve yükselti farkının önemini vurgulamaktadır. Yağışın standart sapma değeri 191.2 mm'dir. Uludağ-Zirve istasyonunun bulunması yağış genişliğini arttırmakta, standart sapmanın büyümesine neden olmaktadır.

Çizelge 53. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)

Ort.	Std. Sap.	Min.	Ortanca	Maks.	Mod
500.4	191.2	259.6	461.5	1450.9	450.2

Not: Ort, Ortalama; Std. Sap, Standart Sapma; Min, Minimum; Maks, Maksimum'un kısaltmasıdır.

Ortalama değerin ortanca değerden, ortanca değerinden mod değerinden büyük olması verinin sağa çarpık olduğunu ifade etmektedir. Bu durum Şekil 74a'da gözlemlenen frekans dağılımından anlaşılmaktadır. Bu nedenle bölgedeki yağış dağılışına, logaritmik dönüştürme işlemi uygulanmıştır. Logaritmik dönüşüm sonucuna ait grafik Şekil 74b'de gösterilmektedir. OK işlemleri logaritmik dönüşümü sağlanmış veriye uygulanmıştır.



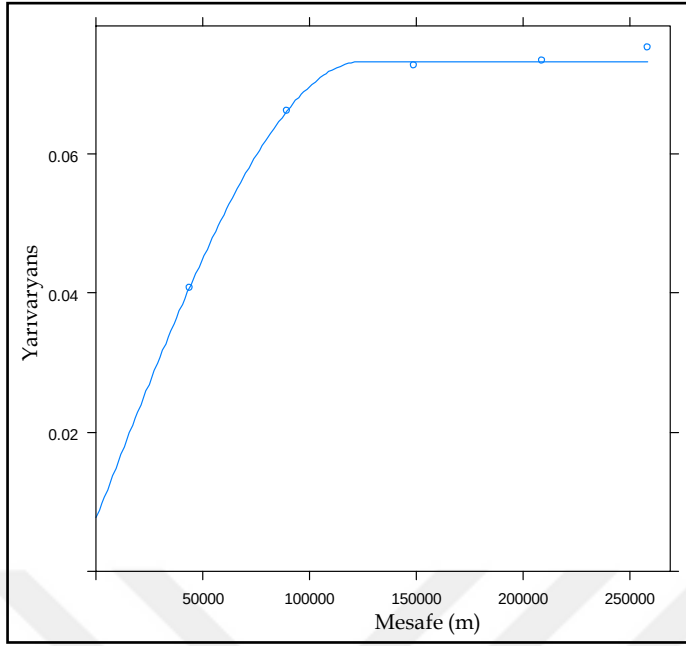
Şekil 74. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm yapılmış dağılım

5.2.6.2. Bölge 6 Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Deneysel ve Teorik Yarivariogramların Oluşturulması

İstasyonlar arasındaki adım mesafesi ve sınıf sayısı, incelenen yıllık ortalama toplam yağış değişkenini temsil edebilecek en uygun model bulununcaya kadar değişik aralık ve sayıda Bölge 6 için işleme alınmıştır. Yıllık ortalama toplam yağış değerlerine ait en uygun adım mesafesinin 60 km ve sınıf sayısının 5 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 54). Yarivaryans değeri 0.04-0.08 değerleri arasında değişmektedir. 3. adım mesafesinden sonra yarivaryans değeri sabittir. Bu adım mesafesinden sonra mekânsal etki azalmıştır. Bölge 3 yıllık ortalama toplam yağış değişkenine ait teorik yarivariogram yapısı, "Spherical" tip teorik yarivariogram modeli olarak belirlenmiştir. Şekil 75 Spherical teorik yarivariogram modeli ile Fit Method 7 kullanılarak oluşturulan yarivariogram modelini göstermektedir.

Çizelge 54. Bölge 6 için deneysel yarivariogramın sonuçları

	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Yarivaryans
1	31	43.6	0.04
2	95	89.5	0.07
3	95	149.1	0.07
4	91	208.8	0.07
5	60	258.7	0.08



Şekil 75. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel ve teorik yarıvariogram modeli

Not: Teorik yarıvariogramın elde edilmesinde “*Spherical model ve Fit Method 7*” kullanılmıştır.

Çizelge 55 teorik yarıvariograma oturan Bölge 6 için yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin eşik değeri ve etki uzaklığı değerlerini göstermektedir. Buna göre, Bölge 6 için eşik değeri 0.07, etki uzaklığı, 124.7 km’dir.

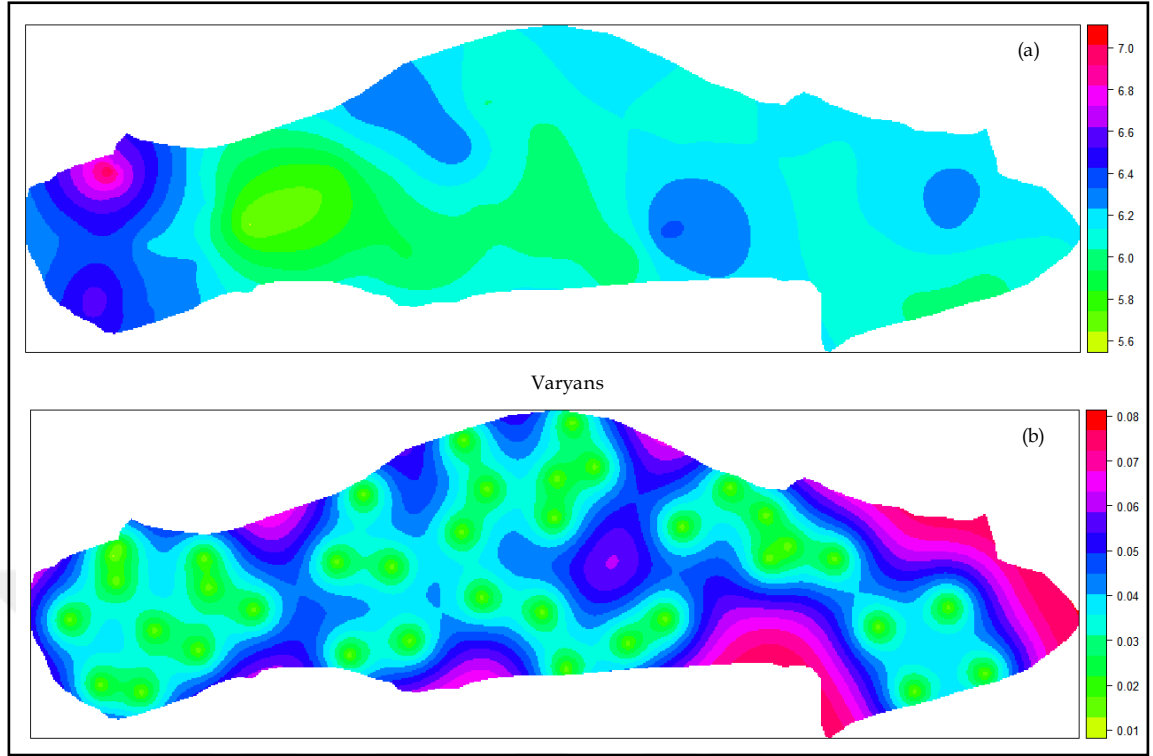
Çizelge 55. Bölge 6 teorik yarıvariogram sonuçları

Model	Eşik değeri	Etki uzaklığı (km)
Nug	0.01	0
Sph	0.07	124.7

Not: Nug, Nugget; Shp, Spherical modellerinin kısaltmasıdır.

5.2.6.3. Bölge 6 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

Bölge 6 için teorik yarıvariogram modeli belirlendikten sonra gözlemi bulunmayan yerlerin noktasal değerleri OK tahmin yöntemi ile elde edilmiştir. OK tahmin ve varyans haritaları Şekil 76 (a, b)'da gösterilmiştir. Varyans haritasında varyans değerleri 0.01-0.08 arasında değişmektedir. Düşük varyans değerleri kapalı eğriler şeklindedir. Bu durum bölgedeki istasyonların vadi ve ova içerisinde olmaları ve aralarında eşikler bulunması ile ilişkilidir. Varyans değerleri yükseltiyle artmaktadır. Bölge doğusunda Orta Karadeniz Dağları'nın güney etekleri ve Sivas-Zara çevresindeki dağlık kesimlerinde bu durum belirgindir. Bu durum, istasyon sayısının az olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek seviyede istasyon bulunan alanlarda varyans değerleri düşüktür. Uludağ-Zirve istasyonu güzel bir örnektir. Bursa ve Keleş istasyonları ve 1500 m'den daha yüksekte bulunan Uludağ-Zirve istasyonları sayesinde model iyi tahmin sonuçları vermiş ve varyans değerleri düşük çıkmıştır. Bu durum Türkiye gibi topografik bakımdan değişkenliğin yüksek olduğu alanlarda yüksek seviye ölçümlerinin önemini göstermektedir.



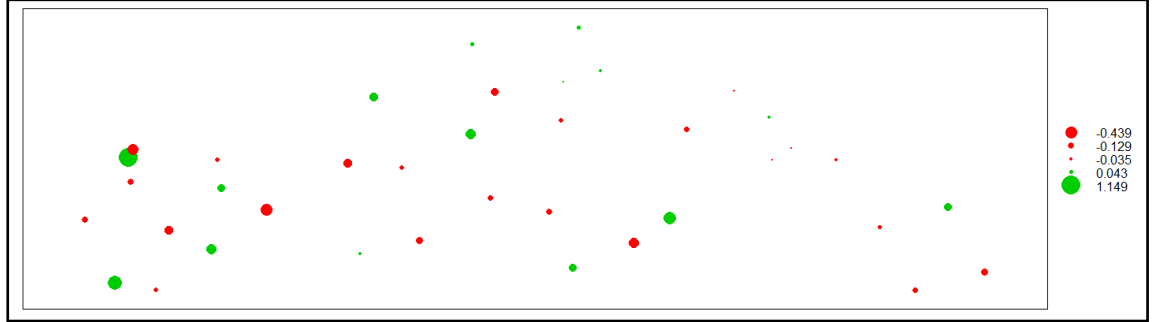
Şekil 76. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü uygulanmıştır.

5.2.6.4. Bölge 6 Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmini Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi

OK analizi Çapraz Geçerlilik yöntemi kullanılarak test edilmiş olup, yöntemle ait sonuç haritası Şekil 77'de gösterilmektedir. Çapraz Geçerlilik yöntemiyle elde edilen hata haritası incelendiğinde bölgenin doğusunda genelde daha az hata payları, batıda göreceli olarak daha fazla hata payları karşımıza çıkmaktadır. Doğudaki istasyonların tektonik hatlarla birbirine bağlı çöküntü ovaları içerisinde olması, batıda istasyonların genelde belirgin eşikler ile birbirine bağlı depresyonlarda bulunması bu durumla ilişkilidir. İç Anadolu

Bölgesinin kuzey kesimi, Doğu Anadolu'ya geçişi oluşturan Divriği-Kangal-Sivas gibi istasyonlar daha yüksek tahmin hata değerlerine sahiptir.



Şekil 77. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

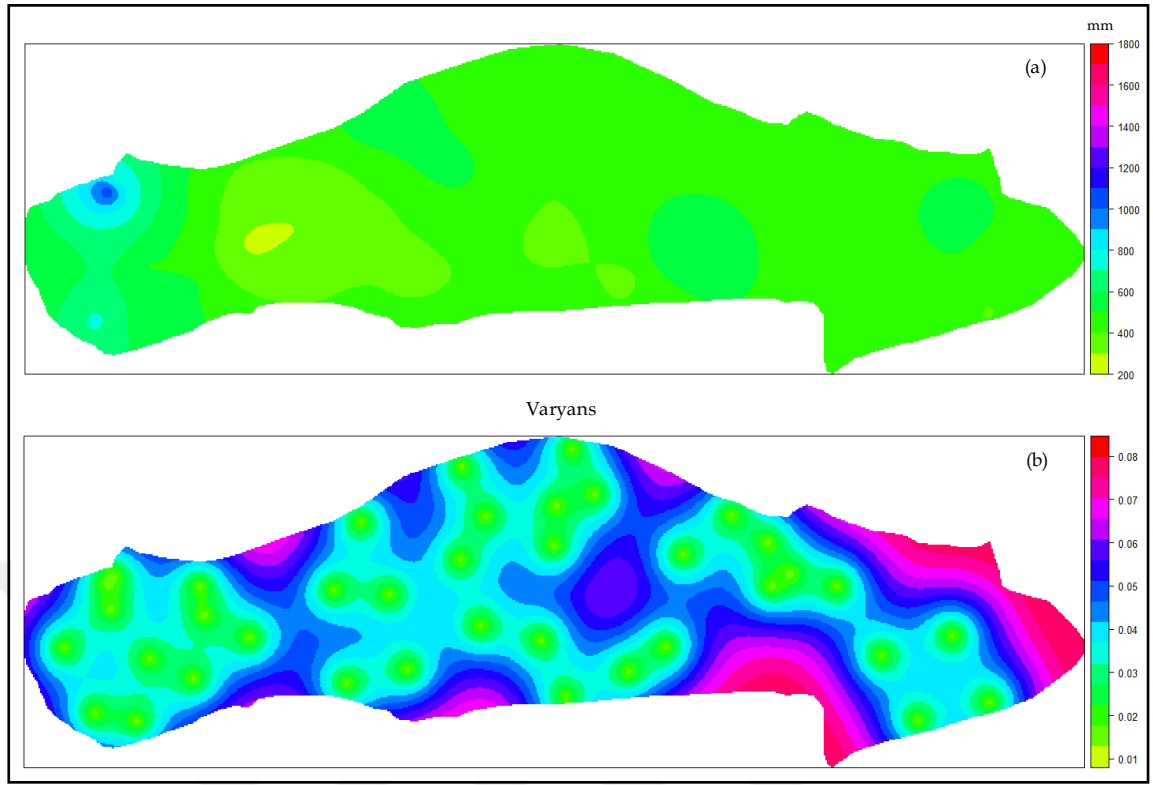
Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 56'da verilmiştir. Tahmin edilen ile gözlemlenen değerlerin ortancada birbirine yakın olduğu, bu değerden uzaklaştıkça gözlemlenen ile tahmin edilen değer arasındaki farkın büyüdüğü ve minimum ve maksimum değerlerin en fazla olduğu dikkat çekmektedir. Topografik etkilerle yağışın büyük değişiklik göstermesi ve denizellik-karasallık farkının belirgin olması bu alanlardaki hata paylarının yüksek olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 56. Bölge 6 yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	393.0	258.6
Birinci Bölen	433.3	402.2
Ortanca	457.8	460.4
Ortalama	496.3	499.4
Üçüncü Bölen	487.2	537.7
Maksimum	1126.4	1449.9

Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası Şekil 78a’da, varyans haritası Şekil 78b’de gösterilmektedir. Bölgenin modelleme sonucu elde edilen yağış haritası incelendiğinde bölgenin genelde 400-600 mm arasında yağış aldığı dikkat çekmektedir. Uludağ-Zirve en yüksek yağışlı, Eskişehir ve çevresinin en düşük yağışlı olduğu alanlar olarak izlenir. Eş yağış eğrilerinin dağılışı batı kesimlerde kuzey-güney, doğu kesimlerde doğu-batı uzanıslıdır. Bu durum batıdaki denizellik etkisinin içerilere sokulmasını ve topografya etkisini sağlamıştır. Doğuda tektonik hatların belirginliği eş yağış eğrilerini doğu-batı yöneline sahip olmasını etkilemiştir. Bölgenin genelde denizel etkilere kapalı olması yağış değerlerinin düşük ve benzeşik olmasına neden olmuştur.



Şekil 78. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

Çizelge 57 OK modelinin performans değerlerini göstermektedir. Bölge 6 için R^2 değeri 0.22'dir. Bölgede bulunan istasyonların büyük kısmı 300-500 mm arasında yağış almaktadır. Yağış değerleri bakımından genelde bir homojenlik durumu söz konusudur. Modelin R^2 değerinin düşük çıkması büyük olasılıkla denizellik etkisi ile ilişkilidir. Batı kesimde denizellik daha yüksektir. Doğuya doğru gidildikçe karasallık etkisi artmaktadır. Batı kesim hem kuzeyden hem de batı ve güneybatıdan gelen sistemlere açıktır. Doğu kesim, kuzey ve güneyden gelen sistemlere kapalıdır. Bu durum karasal yağışların görülmesine neden olmaktadır.

Çizelge 57. Bölge 6 OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
OK (Bölge 6)	-3.09	101.69	173.97	0.22

5.2.7. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Oluşturulan Lokal Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması

Türkiye’de meteoroloji istasyonu bulunmayan yerlerin yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin doğru tahminini sağlamak amacıyla, Türkiye’nin jeomorfolojik özellikleri ve her bir bölgeye asgari 35 ölçüm noktası düşecek şekilde düzenlenmiş 6 bölge sınırı oluşturulmuştur. Her bölge sınırı için farklı teorik yarıvariogramlar ve bu teorik yarıvariogramlar kullanılarak OK analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçta altı ayrı bölge için farklı teorik yarıvariogramlar kullanılarak gerçekleştirilen lokal OK analiz sonuçlarının performans karşılaştırılması Çizelge 58’de gösterilmektedir. Buna göre, ME değeri Bölge 1, Bölge 5, Bölge 6 için 0’a yakın bir değere, Bölge 2 için, en yüksek ME değerine sahiptir. RMSE değerleri, Bölge 1 ve Bölge 5’de küçük, Bölge 2’de en yüksek değerdedir. Diğer taraftan MAE değeri Bölge 2’de de en yüksek değere sahiptir. Bölgelere ait R² değerleri dikkate alındığında Bölge 3 ve Bölge 6 için düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Bölge 3 yükselti farkının belirgin olduğu, yükseklikler arası hızlı değişimlerin gözlemlendiği bir alana denk gelmektedir. Diğer taraftan Bölge 6 yükselti farkının az olduğu ve yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin düşük olduğu bir bölgeyi oluşturmaktadır. Bölge 1, Bölge 2, Bölge 4 ve Bölge 5 için R² değerleri, modellerin alansal ilişkilerinin kabul edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 58. Lokal OK modellerinin performans karşılaştırılması

Bölge	Model	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
1	Exponential/Fit Method 7	-2.35	68.05	99.09	0.60
2	Spherical/Fit Method 7	-41.40	210.26	321.14	0.50
3	Spherical/Fit Method 7	-19.92	121.39	160.81	0.21
4	Spherical/Fit Method 7	-10.27	125.64	148.49	0.63
5	Spherical/Fit Method 7	-3.68	54.82	87.19	0.48
6	Spherical/Fit Method 7	-3.09	101.69	173.97	0.22

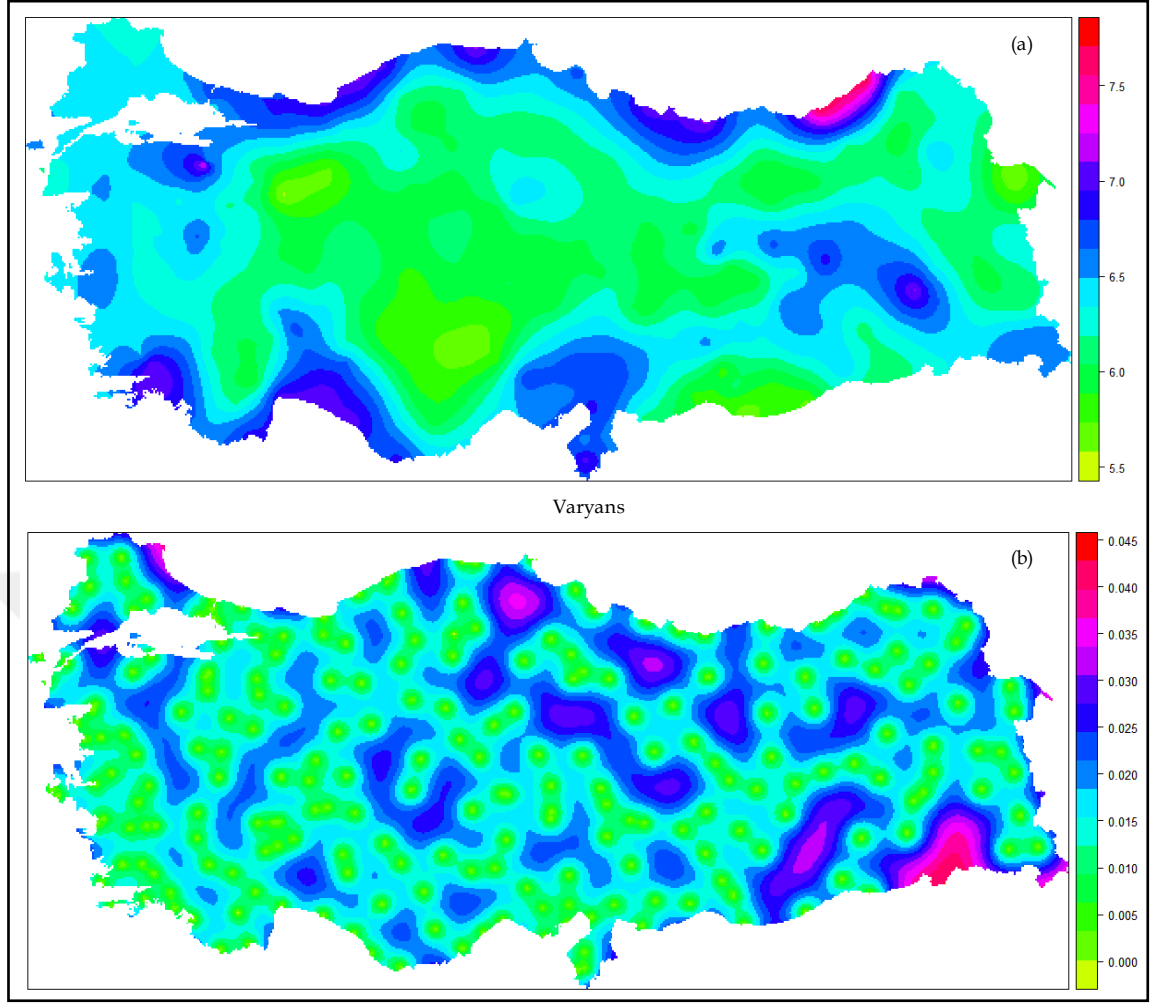
Su toplama havzalarına düşen yağış miktarlarının hesaplanmasında, altı bölge için oluşturulan tahmin haritalarından faydalanılmıştır.

5.3. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Lokal Yarivariogram Modelleri Kullanılarak Global Kriging Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Bu çalışmanın üçüncü bölümünü, her bölge sınırı ve istasyon değerlerine göre özel olarak oturtulmuş lokal alanda oluşturulan altı teorik yarivariogram modellerinden faydalanılarak, altı ayrı global tahmin haritasının elde edilmesi oluşturmaktadır. Bu bölümde amaç, lokal mekânsal özelliklerin global mekânı daha iyi karakterize edip edemeyeceğini tespit etmektir. Lokal teorik yarivariogram modellerinin global Kriging yöntemlerinde kullanılması bu çalışmanın önemli bir adımıdır. Daha önceden jeomorfolojik özelliklere ve Haas vd. (1990a)’ın çalışmasındaki kriterleri dikkate alınarak altı ayrı bölge için oluşturulan altı farklı lokal teorik yarivariogram modelleri tek tek kullanılarak global tahmin haritaları elde etmektir. Kriging sonuçlarından elde edilen altı ayrı tahmin haritaları birbirleri arasında karşılaştırılmıştır.

5.3.1. Bölge 1 Lokal Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

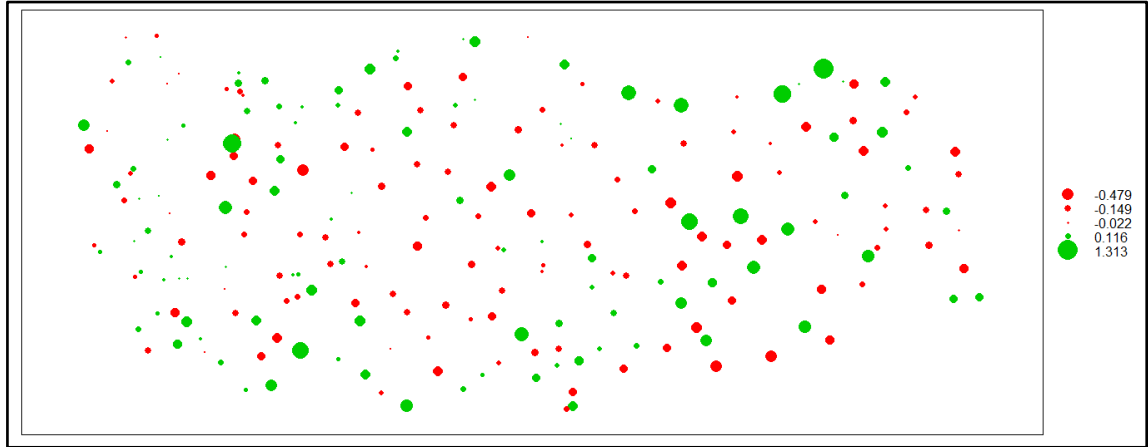
Bölge 1' in teorik yarivariogram modeli kullanılarak Türkiye geneli istasyon bulunmayan yerlerin OK yöntemiyle yağış tahmini gerçekleştirilmiştir. Diğer bir ifadeyle Bölge 1 için elde edilen teorik yarivariogram tüm Türkiye'nin mekânsal özelliklerini açıkladığı kabul edilmektedir. Bu şekilde elde edilen OK tahmin ve varyans haritaları Şekil 79 (a, b)'da gösterilmektedir. Varyans değerleri 0.00-0.045 arasında değişmektedir. Düşük varyans değerlerine sahip alanlar kapalı eğriler şeklinde gözükmemektedir. Düşük varyans değerine sahip alanların sonuçları güvenilirdir. En yüksek varyans değerine sahip Şırnak ili ve çevresinde, istasyon ağının seyrek olduğu izlenmektedir.



Şekil 79 . Bölge 1 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü uygulanmıştır.

Kriging analizi, Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Bu yöntemle ait sonuç haritası Şekil 80’de gösterilmektedir. Düşük tahmin değerleri, ülke genelinin kuzey ve güney kesimlerine denk gelmektedir. Batı kesimlerinde gözlenen 0’a yakın değerler daha doğru tahminlerin yapıldığını göstermektedir. Yüksek tahmin değerleri, ülkenin iç kesimleri ve kısmen de doğu kesimlerine denk gelmektedir.



Şekil 80. Bölge 1 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

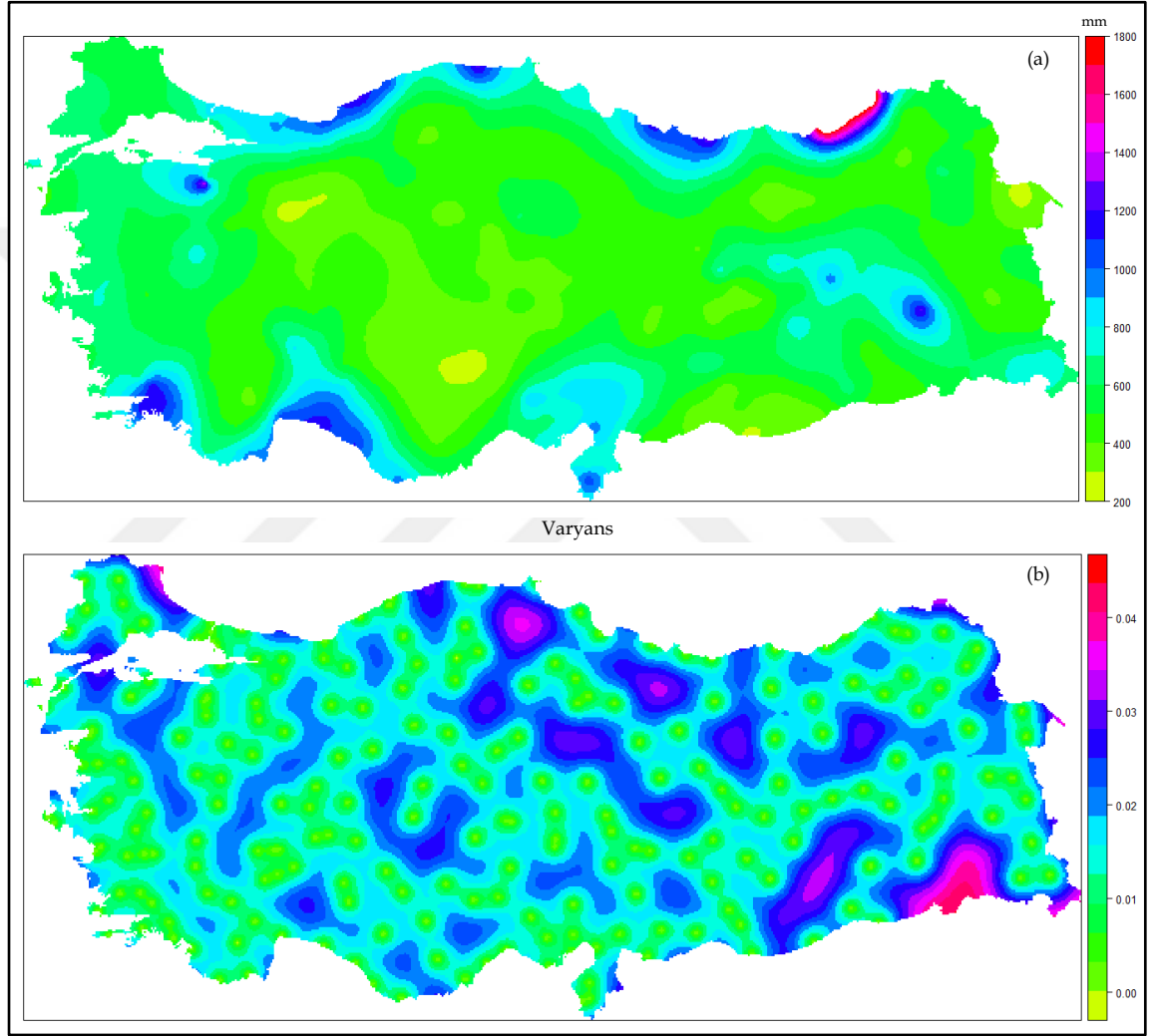
Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 59'dadır.

Çizelge 59. Bölge 1 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	299.7	258.6
Birinci Bölün	472.4	439.2
Ortanca	583.2	564.6
Ortalama	606.3	624.7
Üçüncü Bölün	681.6	727.9
Maksimum	2022.9	2249.9

Şekil 81a, OK analizi sonucu elde edilen tahmin haritasındaki logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesiyle elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritasını, Şekil 81b varyans haritasını göstermektedir.



Şekil 81. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

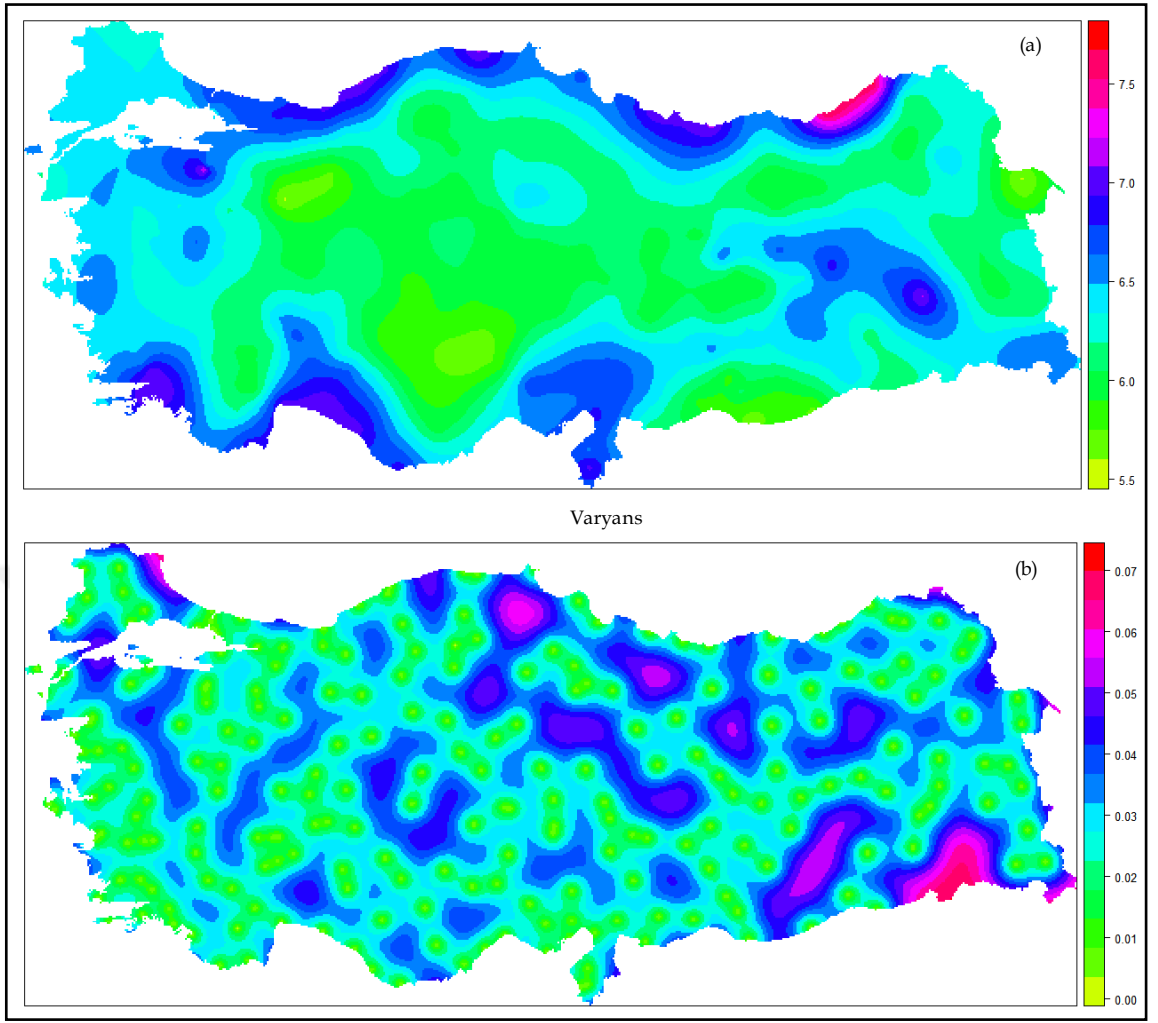
Bölge 1 teorik yarıvariogram kullanılarak elde edilen global tahminin performans sonuçları Çizelge 60'da gösterilmektedir.

Çizelge 60. Bölge 1 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
OK (Model 1)	-18.4	122.2	194.7	0.55

5.3.2. Bölge 2 Lokal Yarıvariogram Modeli ile Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

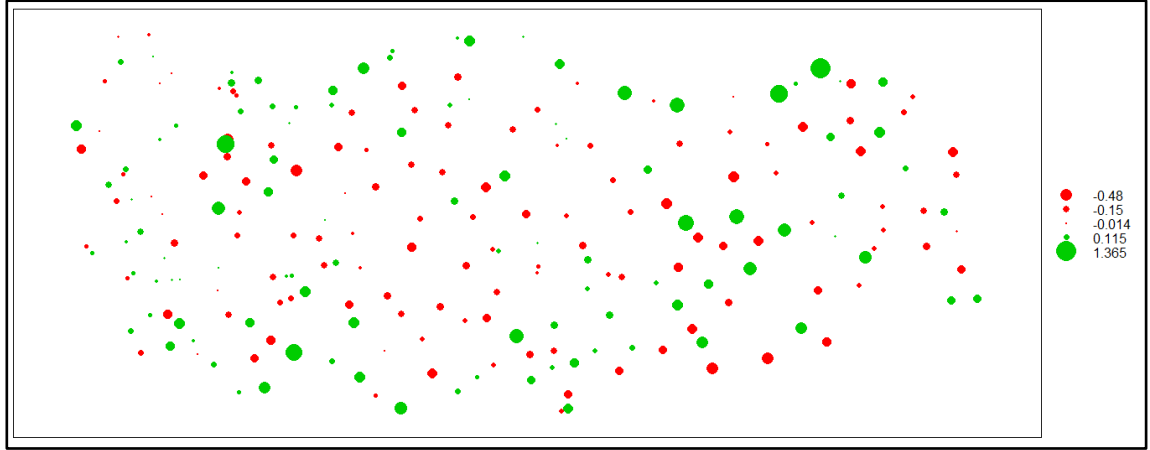
Bölge 2 teorik yarıvariogram modeli kullanılarak Türkiye geneli gözlemi bulunmayan yerlerin OK yöntemiyle tahmini gerçekleştirilmiştir. OK tahmin ve varyans haritaları Şekil 82 (a, b)'de gösterilmektedir. Varyans haritası incelendiğinde değerler 0.00-0.07 arasında değişmektedir ve Bölge 1 teorik yarıvariogram kullanılarak oluşturulan Türkiye yıllık ortalama toplam yağış tahmin varyans haritasına benzer sonuçlar göstermektedir.



Şekil 82. Bölge 2 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü uygulanmıştır.

Kriging analizi Çapraz Geçerlilik yöntemiyle test edilmiştir. Sonuç haritası Şekil 83’de gösterilmektedir. Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 61’de verilmiştir. Buna göre ortalama gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasında 20.5’lik bir tahmin farkı vardır.



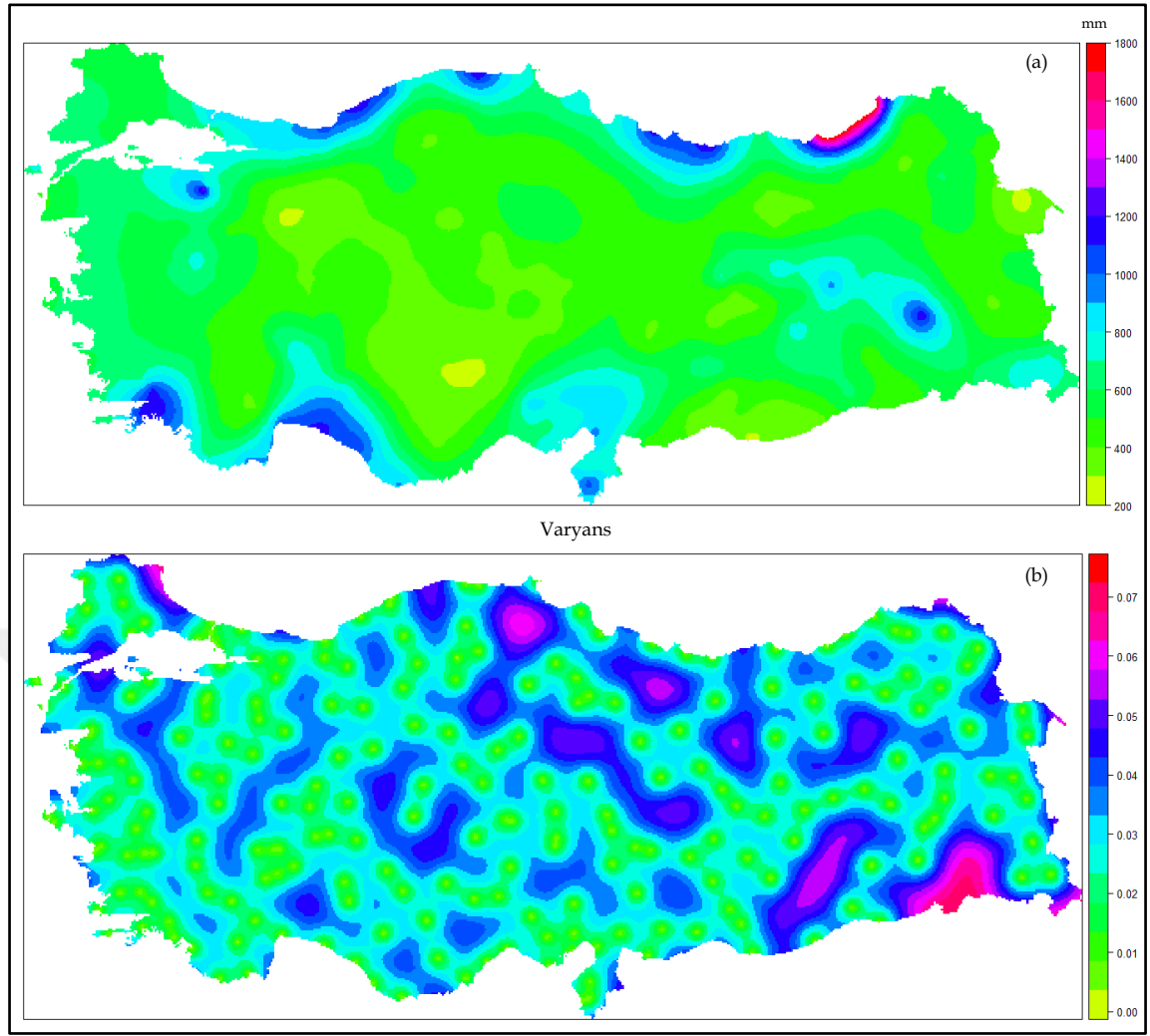
Şekil 83. Bölge 2 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Çizelge 61. Bölge 2 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	305.8	258.6
Birinci Bölen	477.3	439.2
Ortanca	583.4	564.6
Ortalama	604.2	624.7
Üçüncü Bölen	672.2	727.9
Maksimum	1945.6	2249.9

Logaritmik değerlerden tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası ve varyans haritası Şekil 84 (a, b)'de gösterilmektedir.



Şekil 84. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

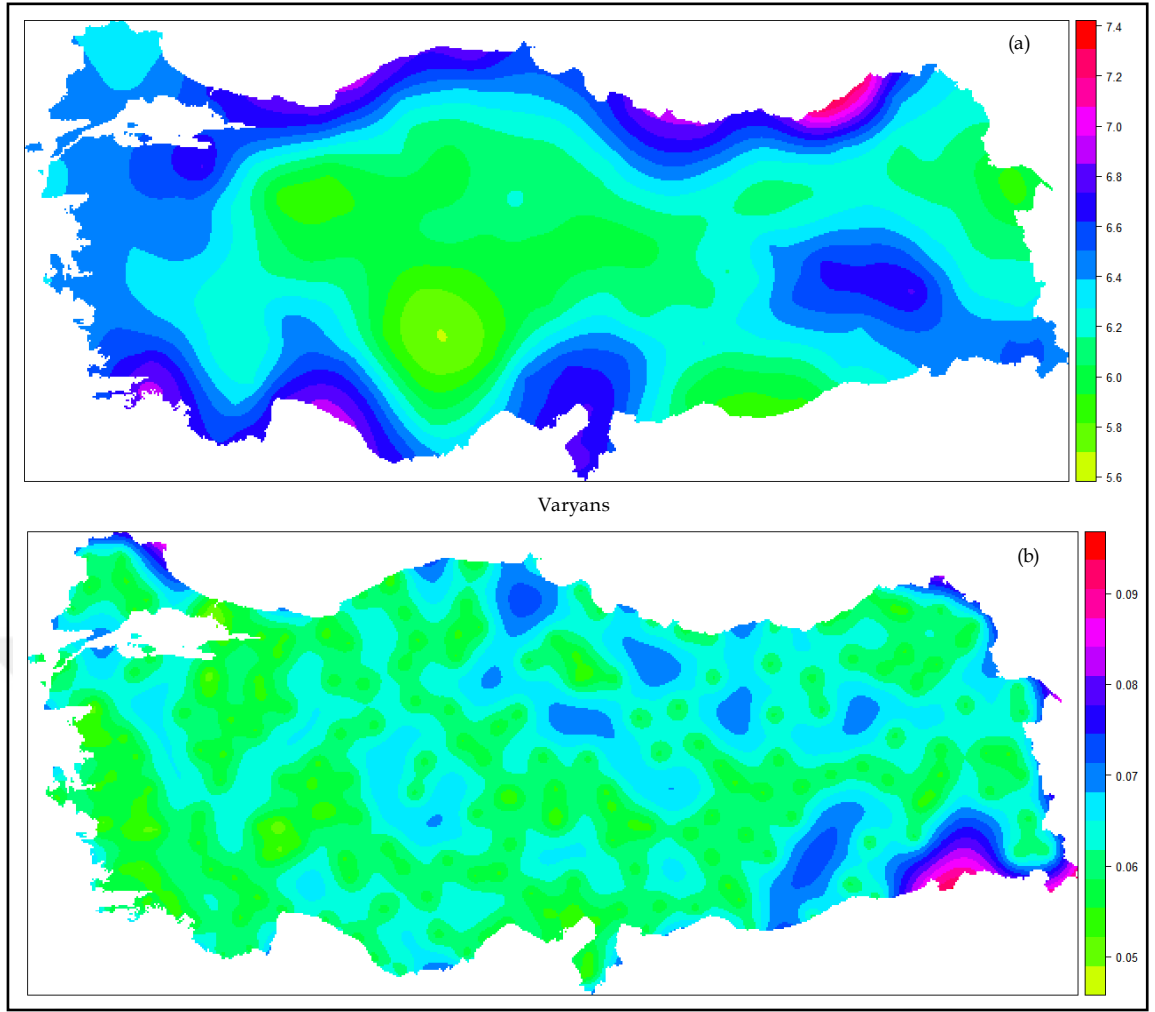
Çizelge 62’de OK yönteminin performans sonuçları verilmiştir.

Çizelge 62. Bölge 2 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
OK (Model 2)	-20.52	123.11	196.22	0.55

5.3.3. Bölge 3 Lokal Yarıvariogram Modeli ile Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

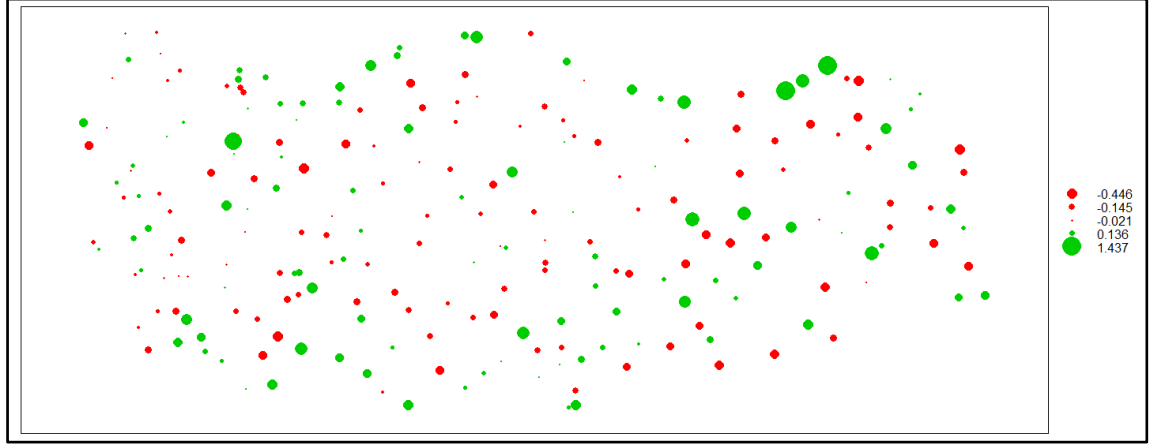
Bölge 3 için oluşturulan teorik yarıvariogram modeli global Kriging hesaplamalarında kullanılarak, Türkiye geneli gözlemi bulunmayan yerlerin tahmini gerçekleştirilmiştir. OK tahmin ve varyans haritaları Şekil 85 (a, b)'de gösterilmektedir. Varyans değerleri 0.05-0.09 arasında değişmektedir. Düşük varyans değerine sahip alanlar Bölge 1 ve Bölge 2'deki gibi kapalı eğriler şeklinde olmayıp, daha büyük alanlara yayılmaktadır. Ayrıca yüksek varyans değerine sahip alan Şırnak ve çevresinde görülmekte ve diğer iki modelin aksine başka alanlarda izlenmemektedir. Bölge 1 ve Bölge 2 için oluşturulan modellere göre, varyans değerlerinin daha homojen olması 3. Bölge için oluşturulan modelde yüksek dağ sıraları ile depresyonların iç içe geçmesi ve modelin içinde doğrudan yükseklik verisi olmasa bile dolaylı olarak bunun modele katılması ile ilgilidir. Oysa Ege kıyı kesimi ve Marmara Bölgesi'ni içeren Bölge 1 ve sadece kıyıdaki istasyonlardan oluşan Bölge 2'ye ait modellerde istasyonların yükseklik dağılışı ile birbirine yakın olması varyans değerlerinde adalanmayı arttırmaktadır.



Şekil 85. Bölge 3 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü uygulanmıştır.

Çapraz Geçerlilik yöntemiyle Kriging analizi test edilmiştir. Sonuç haritası Şekil 86'da gösterilmektedir. Bölge 1 ve 2'de yüksek tahmin değerlerinin Bölge 3'e göre daha yüksek olduğu, düşük tahmin değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 86. Bölge 3 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

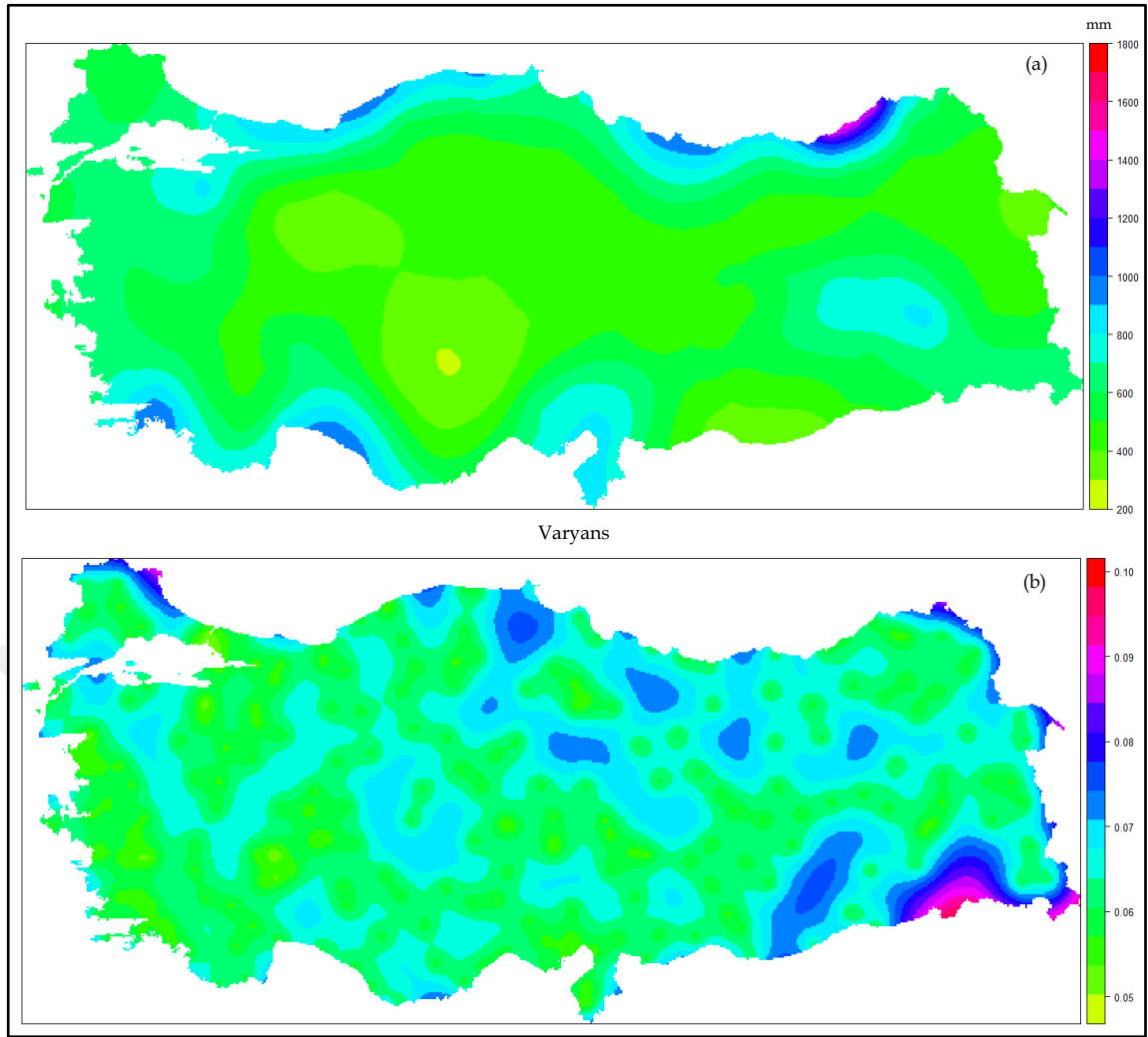
Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 63’de verilmiştir.

Çizelge 63. Bölge 3 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	307.2	258.6
Birinci Bölün	474.3	439.2
Ortanca	579.5	564.6
Ortalama	595.1	624.7
Üçüncü Bölün	693.5	727.9
Maksimum	1203.2	2249.9

Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası Şekil 87a’da, varyans haritası Şekil 87b’de verilmiştir.



Şekil 87. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

Çizelge 64’de OK yönteminin performans sonuçları verilmiştir.

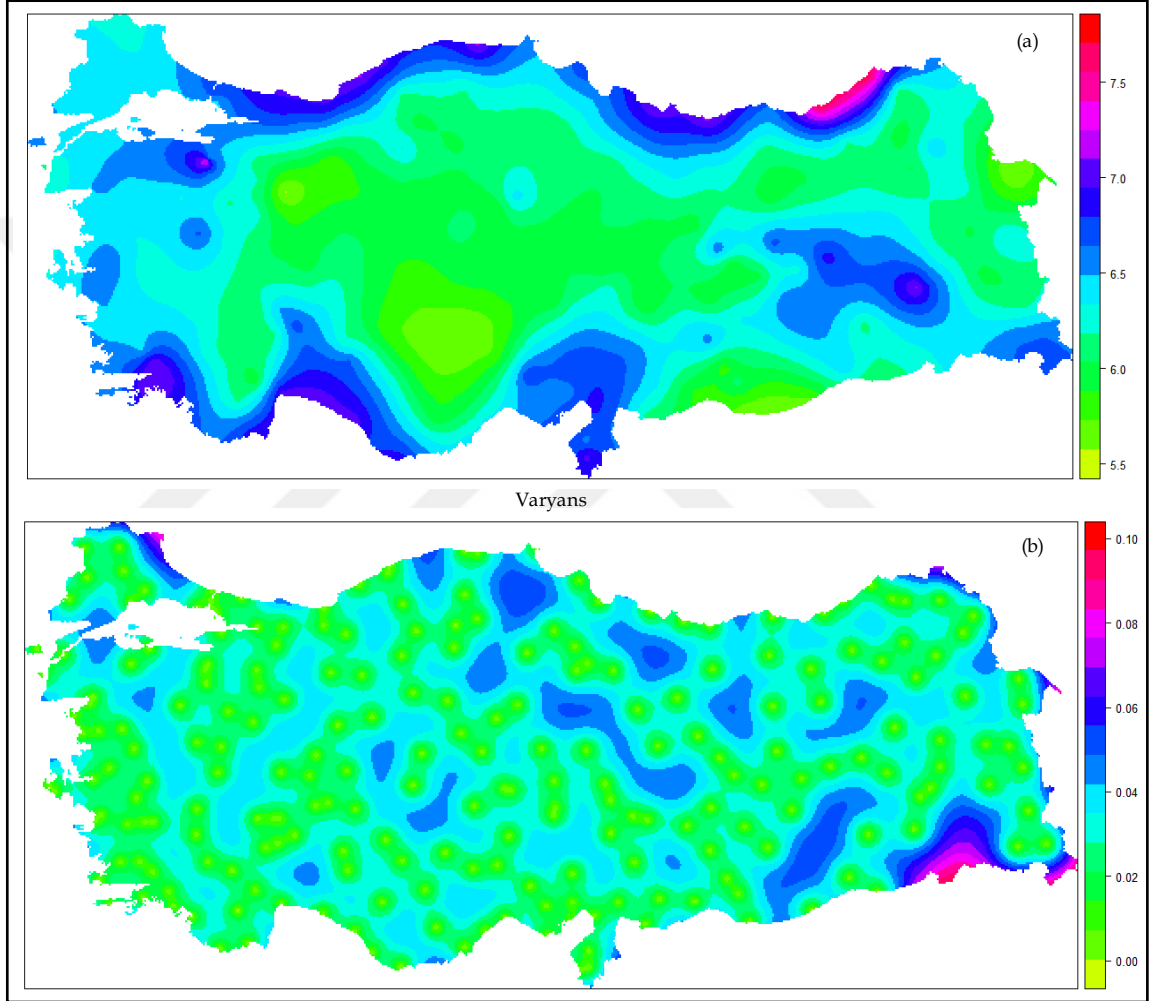
Çizelge 64. Bölge 3 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
OK (Model 3)	-29.66	124.31	206.27	0.55

5.3.4. Bölge 4 Lokal Yarıvariogram Modeli ile Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

Bölge 4 model parametreleri kullanılarak Türkiye geneli gözlemi bulunmayan yerlerin OK yöntemiyle tahmini gerçekleştirilmiştir. OK tahmin ve

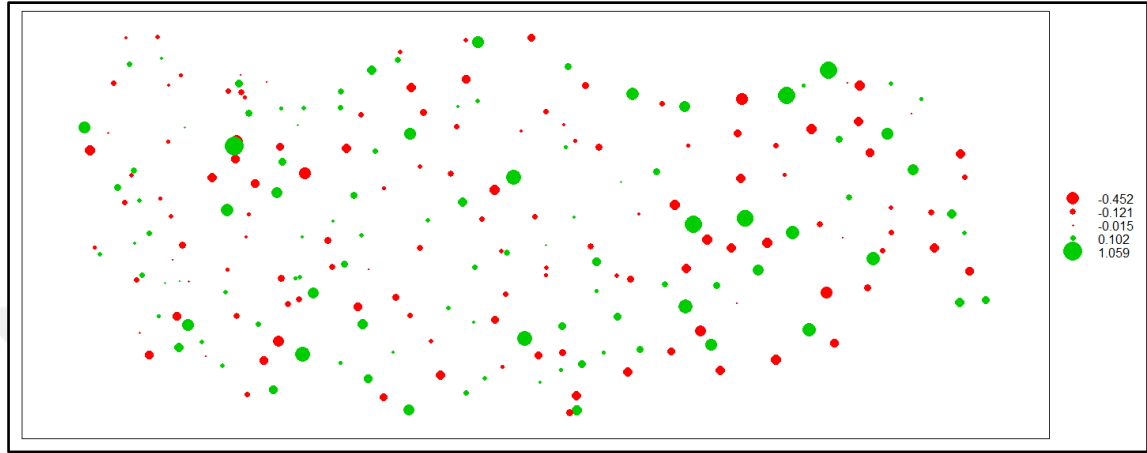
varyans haritaları Şekil 88’de gösterilmektedir. Varyans değerleri 0.00-0.10 arasındadır. Düşük varyans değerleri kapalı eğriler şeklinde olup, 0.02-0.04 arasında değişim göstermektedir.



Şekil 88. Bölge 4 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü uygulanmıştır.

Çapraz Geçerlilik ile Kriging analizi test edilmiştir. Sonuç haritası Şekil 89'da gösterilmektedir. Hata değerlerinin çalışma sahasının genelinde 0 değerine yakın olduğu gözlemlenmektedir.



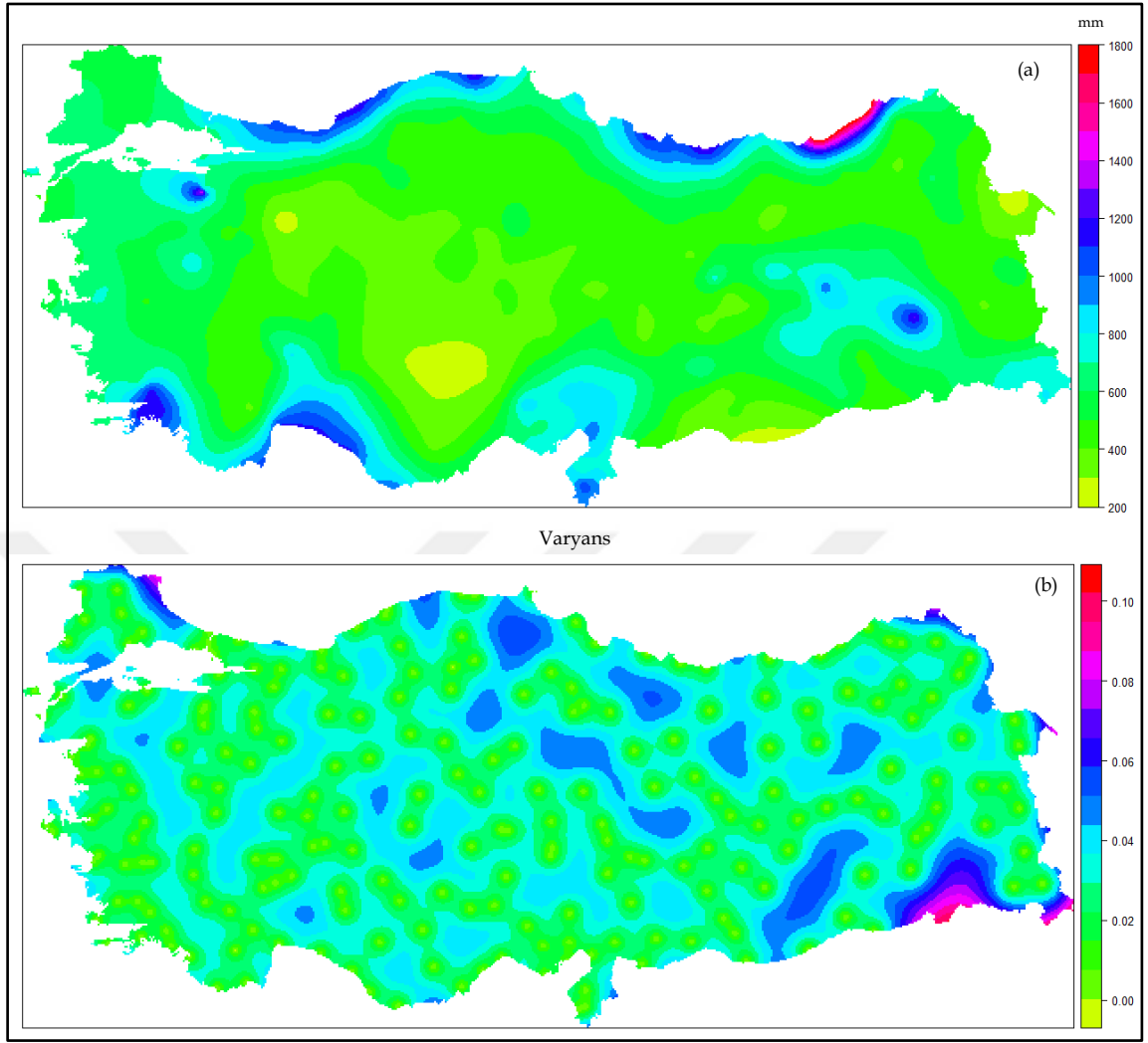
Şekil 89. Bölge 4 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış değışkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Çizelge 65. Bölge 4 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	268.9	258.6
Birinci Bölün	455.7	439.2
Ortanca	580.5	564.6
Ortalama	611.2	624.7
Üçüncü Bölün	700.7	727.9
Maksimum	1966.9	2249.9

Şekil 90a logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlere dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerine sahip yıllık ortalama toplam yağış dağılışı haritasını, Şekil 90b varyans haritasını göstermektedir.



Şekil 90. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

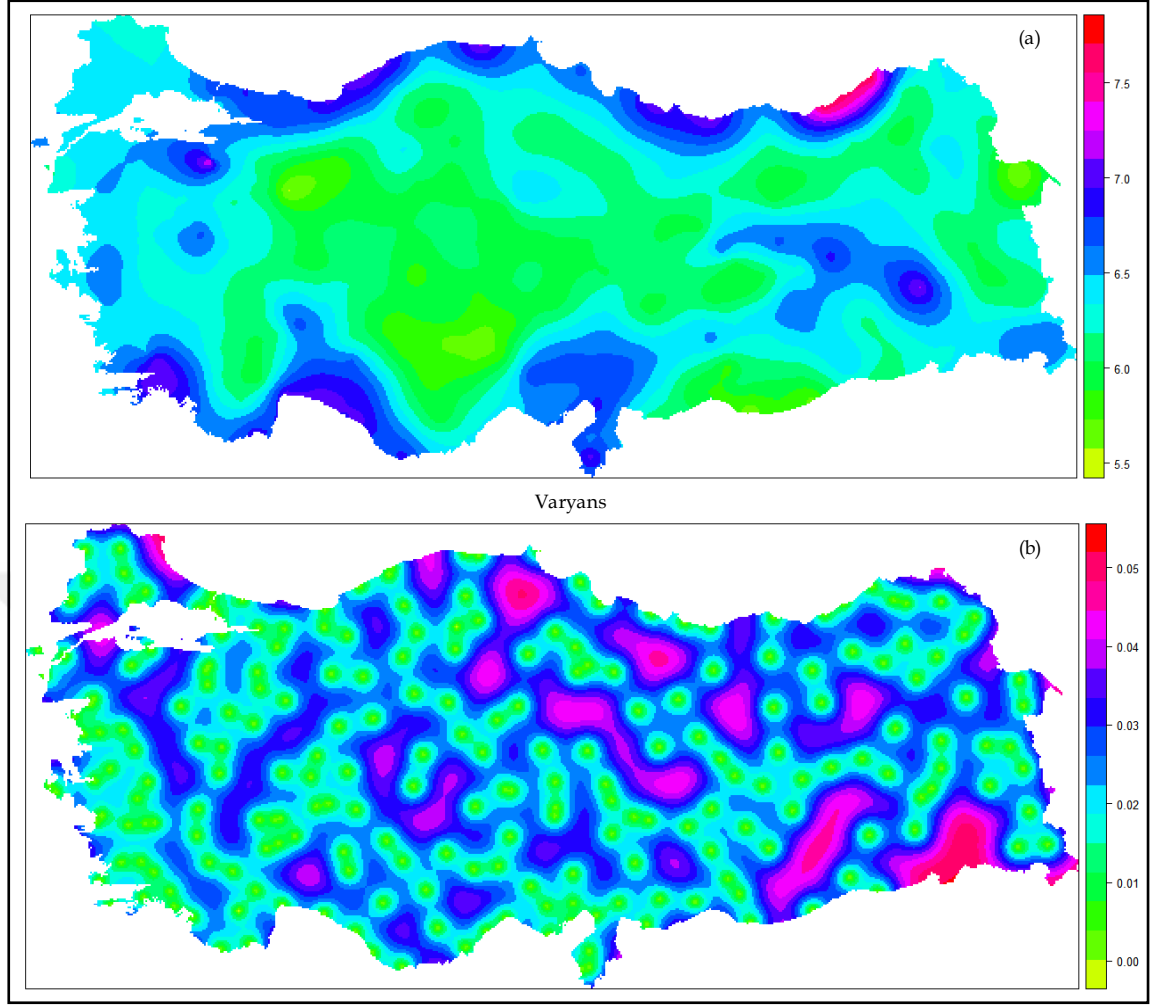
Çizelge 66’de OK yönteminin performans sonuçları verilmiştir. Bölge 4 lokal yarıvariogram modeli ile elde edilen Türkiye yıllık ortalama toplam yağış tahmin performans sonuçlarına göre diğer bölgelerin içinde en yüksek R^2 değerine sahiptir. Bu da gözlemlenen değerlerle tahmin edilen değerler arasındaki farkın az olduğunu göstermektedir.

Çizelge 66. Bölge 4 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
OK (Model 4)	-13.50	111.76	178.50	0.63

5.3.5. Bölge 5 Lokal Yarıvariogram Modeli ile Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

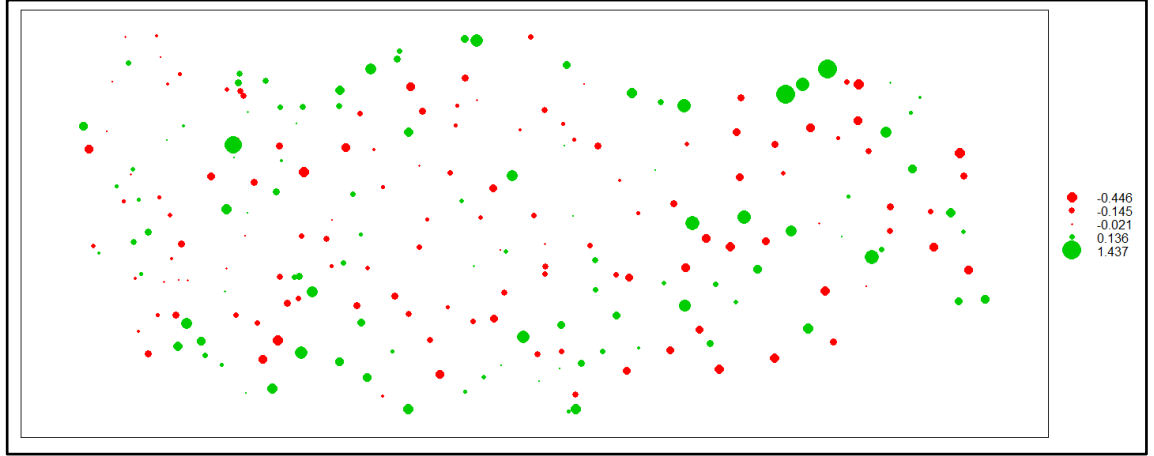
Bölge 5'e ait teorik yarıvariogram modeli kullanılarak global Kriging tahmin analizi yapılmış olup, analize ait OK tahmin ve varyans haritaları Şekil 91 (a, b)'de gösterilmektedir. Bölge 5'e ait varyans haritası incelendiğinde uç değerlerdeki yüksek varyans alanlarının daha çok olduğu görülmektedir. Kapalı eğriler şeklinde olan düşük varyans değerlerine sahip alanların etrafı göreceli olarak daha yüksek varyans değerine sahip alanlar ile çevrilidir.



Şekil 91. Bölge 5 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü uygulanmıştır.

Kriging analizi, Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Sonuç haritası Şekil 92’de gösterilmektedir. Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 67’de verilmiştir. Buna göre, ortalama gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasında 22.8’lik bir tahmin farkı vardır.



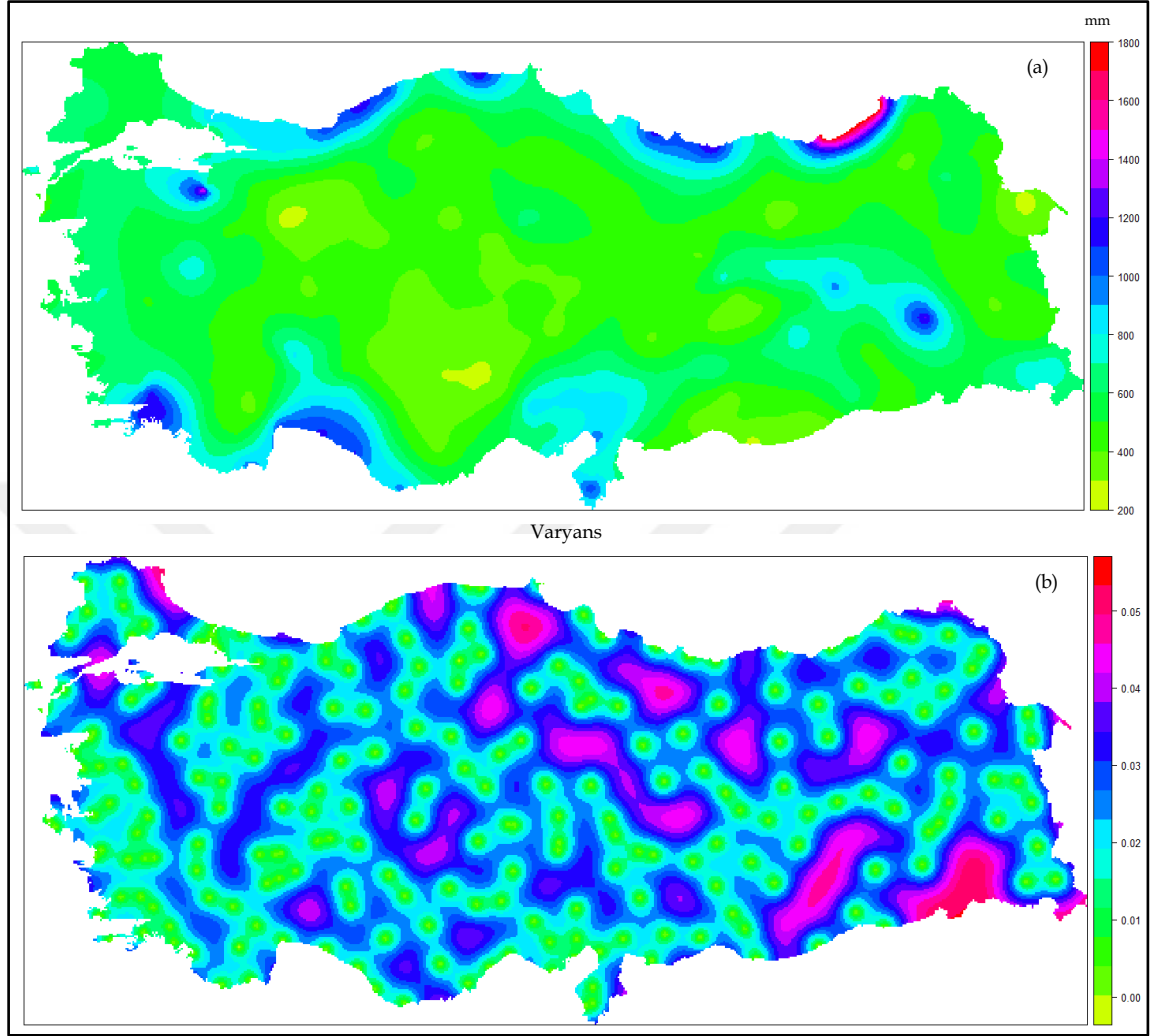
Şekil 92. Bölge 5 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Çizelge 67. Bölge 5 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	309.3	258.6
Birinci Bölün	485.0	439.2
Ortanca	581.5	564.6
Ortalama	601.9	624.7
Üçüncü Bölün	652.3	727.9
Maksimum	1854.4	2249.9

Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası Şekil 93a'da, varyans haritası Şekil 93b'de gösterilmektedir.



Şekil 93. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

OK yönteminin performans sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 68'de verilmiştir.

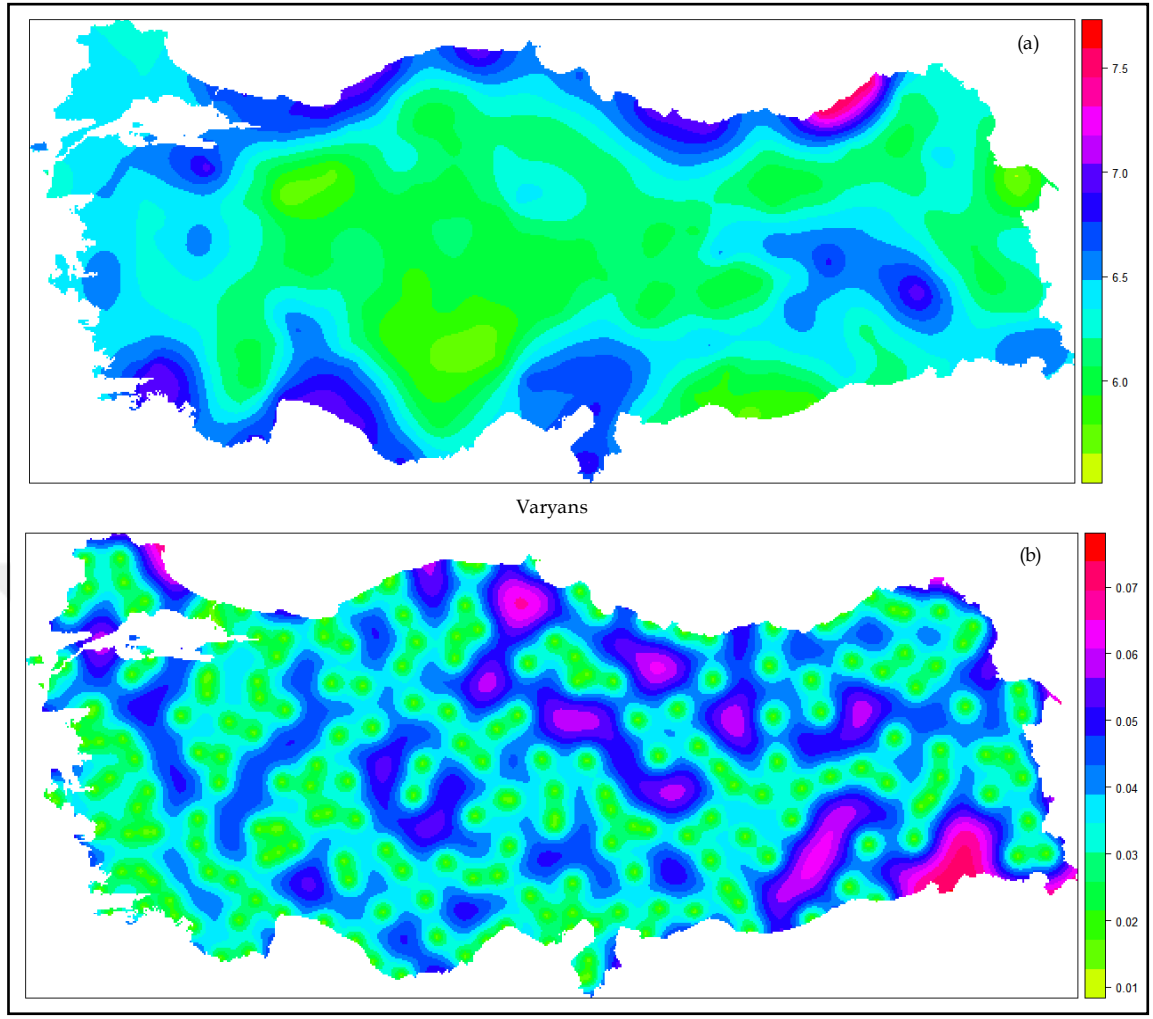
Çizelge 68. Bölge 5 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
OK (Model 5)	-22.85	128.28	204.69	0.51

5.3.6. Bölge 6 Lokal Yarıvariogram Modeli ile Türkiye Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Haritası

Bölge 6 teorik yarıvariogram modeli kullanılarak Türkiye geneli gözlemi bulunmayan yerlerin OK yöntemiyle tahmini gerçekleştirilmiştir. Şekil 94 (a, b), OK tahmin ve varyans haritalarını göstermektedir. Bölge 6'ya ait varyans haritası incelendiğinde, Bölge 5 lokal yarıvariogram modeli ile Türkiye yıllık ortalama toplam yağış varyans haritasına benzer sonuçlar vermektedir.

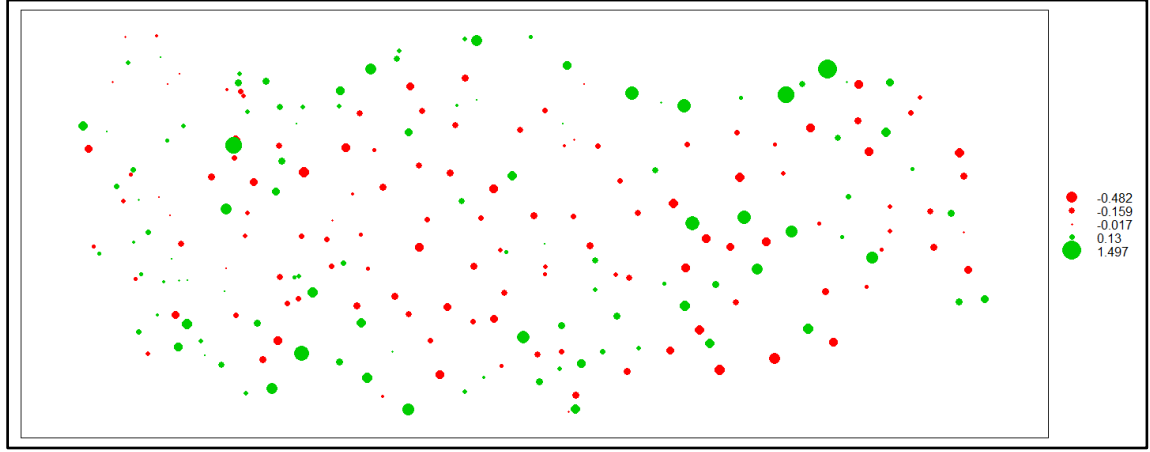




Şekil 94. Bölge 6 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve varyans haritaları

Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü uygulanmıştır.

Kriging analizi, Çapraz Geçerlilik ile test edilmiştir. Sonuç haritası Şekil 95’de gösterilmektedir. Yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçlarına ait bilgiler Çizelge 69’da verilmiştir.



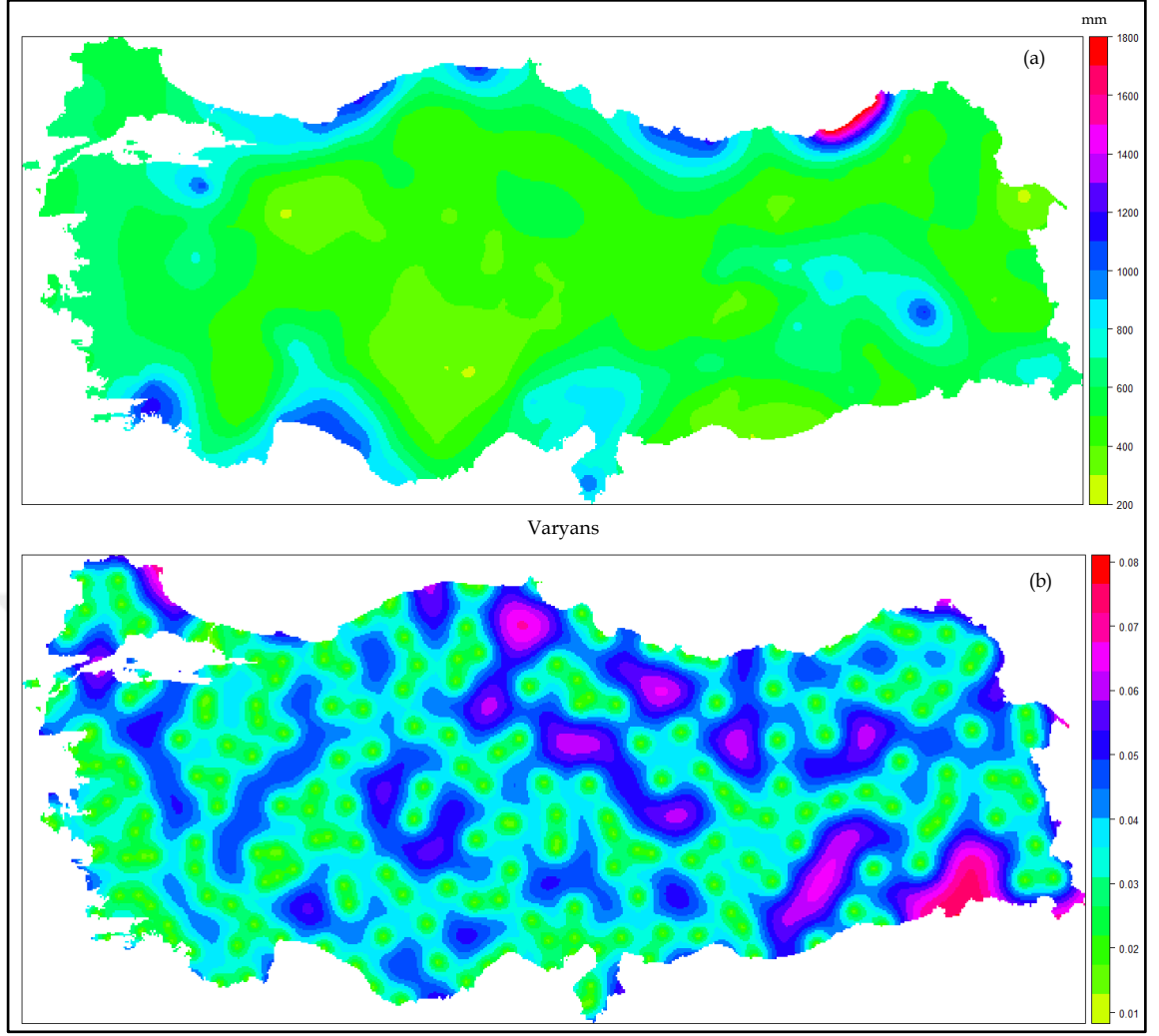
Şekil 95. Bölge 6 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritası

Not: Hata tahmin haritasında yeşil renkler, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden düşük olduğunu (düşük tahmin); kırmızı renkler ise tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlerden yüksek olduğunu (yüksek tahmin) göstermektedir.

Çizelge 69. Bölge 6 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli yıllık ortalama toplam yağış için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin tanımsal istatistik analiz sonuçları

	Tahmin edilen	Gözlemlenen
Minimum	323.4	258.6
Birinci Bölün	483.4	439.2
Ortanca	582.4	564.6
Ortalama	599.5	624.7
Üçüncü Bölün	668.1	727.9
Maksimum	1738.6	2249.9

Şekil 96a, logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritasını, Şekil 96b varyans haritasını göstermektedir.



Şekil 96. (a) Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılışı haritası; (b) varyans haritası

Çizelge 70 ise, OK yönteminin performans değerlerini göstermektedir.

Çizelge 70. Bölge 6 lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modelinin performans değerleri

	ME	MAE	RMSE (mm)	R ²
OK (Model 6)	-25.26	125.89	200.58	0.55

5.3.7. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış için Lokal Yarivariogram Modelleri ile Oluşturulan Global Modellerin Karşılaştırılması

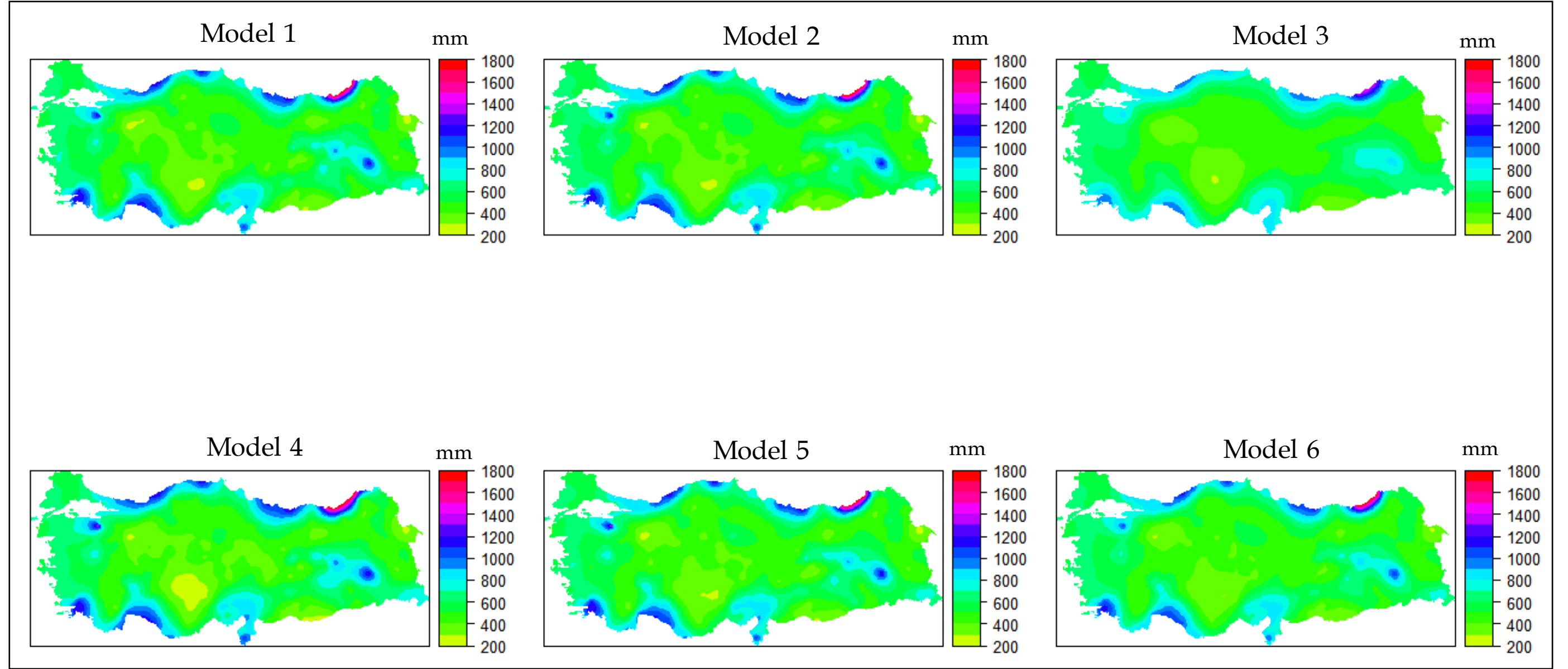
Bu çalışmanın üçüncü bölümünü, lokal mekânsal özelliklerin global mekânı daha iyi karakterize edip edemeyeceğini tespit etmek için, lokal alanda oluşturulan altı teorik yarivariogram modellerinden, altı ayrı global Kriging analizi ile yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritasının elde edilmesi oluşturmaktadır (Şekil 97). Bölgesel teorik yarivariogram modellerinin tüm Türkiye’ye uyarlanması ile elde edilen haritalarda önemli varyans farklılıkları görülmektedir. Ancak, tüm modellerde Şırnak, Boyabat, İğne ada gibi alanlarda yüksek varyans değerlerine rastlanılmıştır. Bu da hata payının bu alanlarda yüksek olduğunu göstermektedir. Modellerin varyans değerleri karşılaştırıldığında topografik olarak engebenin fazla ve istasyonlar arasında yükseklik farkının olduğu modellerde istasyonların varyans değerleri daha alansal bir dağılışı göstermektedir. Yarılmanın az ve istasyonlar arasında yükseklik farkının az olduğu modellerde varyans değerlerinin alansal dağılıştan çok birbirinden bağımsız noktasal dağılışı izlediği görülmektedir. Bu durum, model duyarlılığını düşürmektedir.

Lokal yarivariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modellerinin performans değerleri karşılaştırılması Çizelge 71’de verilmektedir. Modellerin R^2 değerleri 0.50 değerinden yüksektir. Bu lokal Kriging yöntemlerinin tüm alanda kullanılabileceği anlamına gelmektedir.

Bölge 4'e ait teorik yarıvariogram modelinin global Kriging analizi sonucunda bu değer 0.63 olarak kaydedilmiştir. ME, MAE, RMSE değerleri de diğer modellerin performans sonuçlarından düşüktür. Bu durum modelin başarı performansının diğer model sonuçlarına göre yüksek olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 71. Lokal yarıvariogram modeli kullanılarak gerçekleştirilen Türkiye geneli OK modellerin performans değerleri

	Model	ME	MAE	RMSE (mm)	R²
Model 1	Exponential/FitMethod 7	-18.40	122.20	194.70	0.55
Model 2	Spherical/Fit Method 7	-20.52	123.11	196.22	0.55
Model 3	Spherical/Fit Method 7	-29.66	124.31	206.27	0.55
Model 4	Spherical/Fit Method 7	-13.50	111.76	178.50	0.63
Model 5	Spherical/Fit Method 7	-22.85	128.28	204.69	0.51
Model 6	Spherical/Fit Method 7	-25.26	125.89	200.58	0.55



Şekil 97. Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış için lokal teorik yarıvariogram modelleri ile oluşturulan global modellerin karşılaştırılması

Not: OK tahmin modelleri logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilmiştir. Model 1, Exponential teorik yarıvariogram ve Fit Method 7; Model 2, Spherical teorik yarıvariogram, Fit Method 7; Model 3, Spherical teorik yarıvariogram, Fit Method 7; Model 4, Spherical teorik yarıvariogram, Fit Method 7; Model 5, Spherical teorik yarıvariogramma, Fit Method 7; Model 6, Spherical teorik yarıvariogram, Fit Method 7 kullanılarak oluşturulmuştur.

5.4. Genel Değerlendirme

Çevresel analizlerde çevresel değişkenler önemli bir girdi bilgisini oluşturmaktadır. Bu nedenle çevresel çalışmalarda çevresel değişkenlerin mekânsal olarak modellenmesi oldukça önemlidir. Pek çok uygulamalı yer ve çevre biliminde doğal kaynakların başarılı bir şekilde yönetimi için ilgili ve detaylı çevresel değişkenlerin doğru olarak üretilmesi önkoşuldur. Çevresel değişkenlerin üretilmesinde kullanılan yöntemler tecrübeye dayalı ve istatistiksel yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tecrübeye dayalı yöntemler, kişilerin bilgi ve deneyimlerini kullanılır. Özellikle 1970'li yıllara kadar olan süreçte tecrübeye dayalı çevresel değişkenlerin üretilmesi yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak, 1970'li yıllardan sonra çevresel değişkenlerin belirlenmesinde istatistiksel yaklaşımlar tercih edilmiştir. İstatistiksel yöntemlere geçiş sürecinde etkili olan en önemli faktör bilgisayar teknolojisinin çalışma ortamlarındaki kullanım yaygınlığı olmuştur. Bununla birlikte GIS'de meydana gelen gelişmeler sonucunda da, istatistiksel yaklaşımlar GIS ile etkili bir biçimde uygulanabilir hale gelmiştir. GIS, istatistik metodlarla birleştiğinde, mekânsal verinin analiz edilmesini, görüntülenmesini ve yönetimini sağlayacak etkili bir dizi araç sağlamaktadır (Krivoruchko, vd., 2003; Anselin, 2003; Wong ve Lee, 2005). Bu sebeple, istatistik teknikleri ile GIS'in bir arada kullanımı karmaşık coğrafi problemlerin çözümünde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Jeostatistik ilk olarak madencilik araştırmalarında kullanılmış olsa da özellikle 1980'li yıllardan sonra hidroloji olmak üzere, yeraltısuları hidroliği, toprak

bilimi, klimatoloji, ekoloji, çevre gibi farklı bilim alanlarında da sıkça kullanılmaya başlanmıştır. İklim değişikliği, yağış miktarı ve düzeninde belirgin ölçülerde sapmalara, bu çerçevede kuraklık ve seller ile fırtınalar gibi felaketlerin şiddetinin ve sıklığının artmasına, okyanuslarda tuzlanma ve asitlenmeye neden olmaktadır (Özkaya, 2013). Sera etkisiyle daha yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Bunun etkisi daha güçlü bir hidrolojik döngüye ve alışla gelmeyen yağışların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (IPCC, 1995). İklim değişim modelleri, uzun sürelerde düşen daha az şiddetli yağışlar yerine, sıcak hava dalgaları sonucu oluşan şiddetli yağışların oluşma olasılığının arttırdığını göstermektedir (Mc Farlane, vd., 1992; Johns, vd., 1997). Bu nedenle sera etkisinin sadece sıcaklıkları yükselteceği değil, yağış karakteristiklerini de önemli derecede etkileyeceği beklenilmektedir (Sauerborn, vd., 1999). İklim değişiminin yağış özelliklerinde meydana getirdiği değişimler belirgindir. Türkiye'nin bulunduğu hassas konumundan ötürü doğal ve sosyal ortamda çeşitli olumsuzluklara neden olabilecektir. Türkiye'nin 1951-2004 tarihleri arasında, yıllık ortalama toplam yağış miktarı incelendiğinde; sonbahar ve kış dönemlerinde önemli değişiklikler bulunmaktadır. Kış aylarında, yağışların Türkiye'nin batı bölgelerinde son 50 yılda azaldığı, Orta Anadolu'nun kuzey bölgelerinde sonbahar aylarında arttığı gözlenmiştir. Karadeniz sahili boyunca yağışların artış gösterdiği, Ege ve Akdeniz sahilleri boyunca da düşüş gösterdiği izlenmiştir (Kömüşçü, vd., 2003). Orta Anadolu'daki yağışlarda çok az veya hiç değişiklik gözlemlenmemektedir. Diğer taraftan, sel ve taşkın olayları bakımından da Türkiye'nin özellikle kıyı bölgeleri ciddi bir meteoroloji

afet olarak ortaya çıkmakta ve önemli derecede can ve mal kaybına neden olmaktadır (Ceylan ve Kömüşçü, 2007). Yüksek yağış miktarlarının kısa zaman aralıklarında düşmesi ile yüksek enerjili ve şiddetli kasırgalar ve bununla birlikte seller ve taşkınların şiddeti ve sıklığının artması öngörülmektedir (Karaca, vd., 2008). Bu sebeple, yağış ve etkileri özellikle araştırılması gereken en önemli iklim değişimi bileşenlerinden biridir. Yağış dağılışının en iyi şekilde belirlenmesi etkisi altında bıraktığı tüm etmenler açısından büyük önem arz etmektedir. Yağış özellikle karmaşık topografyaya sahip olan alanlarda çok kısa mesafelerde değişiklik göstermekte ve birçok faktörlerden etkilenmektedir. Gerçekte bu kadar değişkenlik gösteren yağış değişkeninin çok sık dağıtılmış meteoroloji istasyon ağları ile gözlemlenmesi gerekmektedir. Genel olarak gelişmiş ülkelerde gelişmekte olan ülkelere göre bu istasyon ağlarının daha yoğun olarak oluşturulduğu ortadadır. Ekonomik etken gelişmiş olan ülkelerde buna imkân tanımaktayken, Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkeler de bu çok kolay değildir. Ancak, teknolojik gelişmeyle birlikte modelleme çalışmalarının gelişmesi sonucunda yağış gibi çok değişkenlik gösteren çevresel değişkenlerin hassas bir şekilde değerlendirilebilmesi kolay hale gelmiştir.

Bölgelerin topografik özellikleri, gözlem değeri alınan meteoroloji istasyon sayısı gibi faktörlere bağlı olarak değerlendirilen ve sonuçta önerilen teorik yarıvariogram modelleri farklılık göstermektedir. Bir bölge için uygun olan model diğer bir bölgedeki karakteristikleri doğru olarak

modelleyememektedir. Bu nedenle global yarıvariogram modelleriyle yapılan tahminlerin yanında bölgesel farklılıklardan kaynaklanabilecek farklılıklar göz önünde bulundurularak lokal modellerin Kriging tahmininde kullanılması yağışın modellenmesinde daha doğru sonuçların elde edilmesini sağlayabilir (Haas, vd., 1990a, 1990b). Bu nedenle bu çalışmada, farklı yöntemlerle elde edilen global teorik yarıvariogram modelleri ile oluşturulan Kriging tahmin haritalarının yanı sıra, lokal karakteristikleri yansıtan altı ayrı bölge için altı farklı teorik yarıvariogramdan elde edilen lokal Kriging tahmin haritaları oluşturulmuştur.

Çalışmanın diğer bir aşamasını ise, mekânın lokal karakteristiklerini belirleyen lokal teorik yarıvariogramların global Kriging tahminlerinde girdi olarak kullanılıp, global Kriging tahmin haritalarının oluşturulmasıdır. Buradaki amaç, bazı durumlarda lokal teorik yarıvariogramların global Kriging yöntemlerinde daha iyi tahmin sonuçları elde edilmesini sağlayacağı ihtimalidir (Haas, vd., 1990a, 1990b, 1995; Whelan, vd., 2002).

Çapraz Geçerlilik için Wilmott'un (1982) önerdiği şekilde tahmin edilen veri ile gerçek veri arasındaki hatayı gösteren istatistiksel hesaplamalardan yararlanılmıştır. R^2 değeri ile model performansı arasındaki ilişkinin yeterli belirlenememesi nedeniyle çalışmada ME, MAE ve RMSE gibi diğer istatistiksel yöntemlerden de faydalanılmıştır. Gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin ortalama farkı RMSE ve MAE ile diğer yöntemlere göre daha iyi model performans değerlendirme sağlamaktadır (Wilmott, 1982). Bu nedenle,

çalışmada R^2 ve ME'nin yanı sıra, RMSE ve MAE değerleri de hesaplanmıştır. RMSE hesaplamalarında hata üzerine çok fazla ağırlık verilirken, MAE uç değerlere daha az hassastır. Enterpolasyon sonuçlarına göre MAE değerleri RMSE değerlerine göre daha düşüktür. Bu da MAE'un uç değerlerden az etkilenmesiyle açıklanabilir. Enterpolasyon sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan istatistiksel hesaplama araçlarının yanı sıra, Daly vd. (2002), sonuçların yorumlanması ve değerlendirilmesinin de göz ardı edilmemesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu nedenle yağışın mekânsal dağılımıyla ilgili bilgiye dayalı yorumlar da yapılmıştır.

5.5. Türkiye'de Yıllık Ortalama Toplam Yağış Tahmin Sonuçlarından Su Potansiyelinin Hesaplanması

Bir ülkenin su potansiyeli, bulunduğu yerin enlemine, boylamına, jeolojik, topografik yapısına ve bitki örtüsüne göre oluşmaktadır. Türkiye bu özellikler altında 26 hidrolojik su havzasına ayrılmış olup, yer altı ve yüzey suyu potansiyelinde önemli bir farklılık göstermektedir. Yağış, su potansiyelini etkileyen en önemli unsurdur. Türkiye'nin topografik yapısı, kısa mesafede yükseklik farklılıklarının bulunması, kıyılara paralel yüksek dağ sıralarının varlığı, gibi pek çok sebep hidrolojik su havzalarına düşen yağışı etkilemektedir. Bundan dolayı, su havzalarının su potansiyelleri farklılık göstermektedir. Bir ülkenin su varlığının gerçeğe yakın olarak hesaplanması, yıllık ortalama toplam yağış miktarının ve yağışın alansal dağılışının iyi

bilinmesiyle mümkündür. Türkiye’de istasyon ağının özellikle dağlık alanlarda yetersiz olması, bu değerin hesaplanmasında en önemli sorunu oluşturmaktadır. Bu sebeple, doğru yağış dağılışı haritalarının elde edilmesi önemlidir. Türkiye yakın gelecekte su sıkıntısı çeken ülke haline gelecektir. Bu duruma karşı önlem alabilmek, yağış miktarının tam olarak hesaplanmasıyla mümkündür. DSİ tarafından Türkiye’nin yıllık ortalama toplam yağış değeri 643 mm ve toplam yağış miktarı 501 milyar m³ olarak hesap edilmiştir. Global Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası kullanılarak hesap edilen yağış ortalaması Türkiye genelinde 559.2 mm ve toplam yağış miktarı 433.9 milyar m³ olarak çıkmıştır. Altı bölgenin lokal Kriging tahmin haritalarından faydalanılarak hesaplanan yağış ortalaması 582.1 mm ve toplam yağış miktarı 451.7 milyar m³ olarak saptanmıştır. Bölge 4’ün teorik yarıvariogramı kullanılarak global Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritasından Türkiye yağış ortalaması 559.2 mm ve yağış toplamı 433.9 milyar m³ elde edilmiştir. Her üç modelden çıkan sonuçlar DSİ tarafından hesap edilen değerlerden düşüktür. Global Kriging yöntemiyle elde edilen Türkiye yağış toplamı her iki modelde de 501 milyar m³ olan değerinden 67.1 milyar m³ daha düşük tahminler yapmıştır. Lokal Kriging yöntemiyle oluşturulan modelde ise bu miktar 49.3 milyar m³’e düşmektedir. Her 3 modelde %13.4 ve 9.8 arasında az tahmin yapmıştır. Bu değer Türkiye gibi kullanılabilir su açısından sınırda bulunan bir ülke için oldukça önemlidir. Bu durum su potansiyelinin doğru olarak hesaplanmasında ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

OK tekniği kullanılarak elde edilen yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritaları ile 26 su hidrolojik havzanın yağış değerleri hesap edilmiştir. Çizelge 72, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından hesaplanan havzalara düşen yıllık ortalama toplam yağış değerlerini ve farklı yöntemler kullanılarak elde edilen tahmin haritalarından havzalara düşen yıllık ortalama toplam yağış değerlerini göstermektedir. Havzalara düşen yıllık ortalama toplam yağış miktarlarının karşılaştırılması Çizelge 73’de gösterilmektedir. Şekil 98, Çizelge 72 ve 73’e göre Nested (Hole&Matern) teorik yarıvariogram kullanılarak elde edilen yıllık ortalama toplam yağış tahmin ve Bölge 4 için oluşturulan lokal teorik yarıvariogram kullanılarak elde edilen global Kriging tahmin haritalarından hesaplanan su potansiyel değerleri DSİ’nin hesapları ile karşılaştırıldığında, daha düşük değerler tahmin ettiği görölmektedir. Bunlar sırasıyla 19 ve 20 su toplama havzası için düşük tahmin yapmıştır. Diğer taraftan, lokal Kriging analizleri sonucu elde edilen 6 bölgenin haritalarından hesap edilen su potansiyel değerlerinin, DSİ’nin hesaplarından daha yüksek değerler verdiği gözlemlenmiştir.

Üretilen modellerden elde edilen havza yağış ortalamaları ile DSİ’nin havza yağış ortalamaları kıyaslandığında genellikle plato sahalarından oluşan havzaların büyük bir kesimi ve iç bölgelerde kalan havzalarda yağış değerleri yüksek veya DSİ’nin değerlerine yakın sonuçlar vermiştir. Örneğin Kızılırmak, Yeşilirmak, Meriç-Ergene, Burdur, Van Gölü, Aras, Akarçay havzalarında yağış değerleri DSİ’nin değerlerinden yüksek, Konya gibi havzalarda yakındır.

Bunun dışında Doğu ve Batı Karadeniz, Antalya, Doğu Akdeniz gibi yüksek dağ sıralarından kaynaklarını alan havzalarda yükselti etkisinin bulunduğu alanlarda yağış tahmin modelleri düşük çıkmıştır. Lokal Kriging analizleri sonucu elde edilen 6 bölgenin yağış tahmin haritalarından hesap edilen su potansiyel değerleri, diğer modellerden faydalanılarak hesap edilen değerlerden daha yüksektir ve DSİ'nin tahmin değerlerine yakındır.

Türkiye ve havzalar genelinde hesap edilen değerler üç modelde DSİ'nin değerlerine göre az tahmin yapmıştır. Bu durum özellikle dağlık havzalarda daha belirgindir. Global modellerde tahminin daha düşük olma olasılığı fazladır. Bölgesel modellerde yağış homojenliğinin daha fazla olması nedeniyle bu az tahmin daha düşük değerlerde görülmektedir.

Çizelge 72 Havzalara düşen yıllık ortalama toplam yağış miktarı

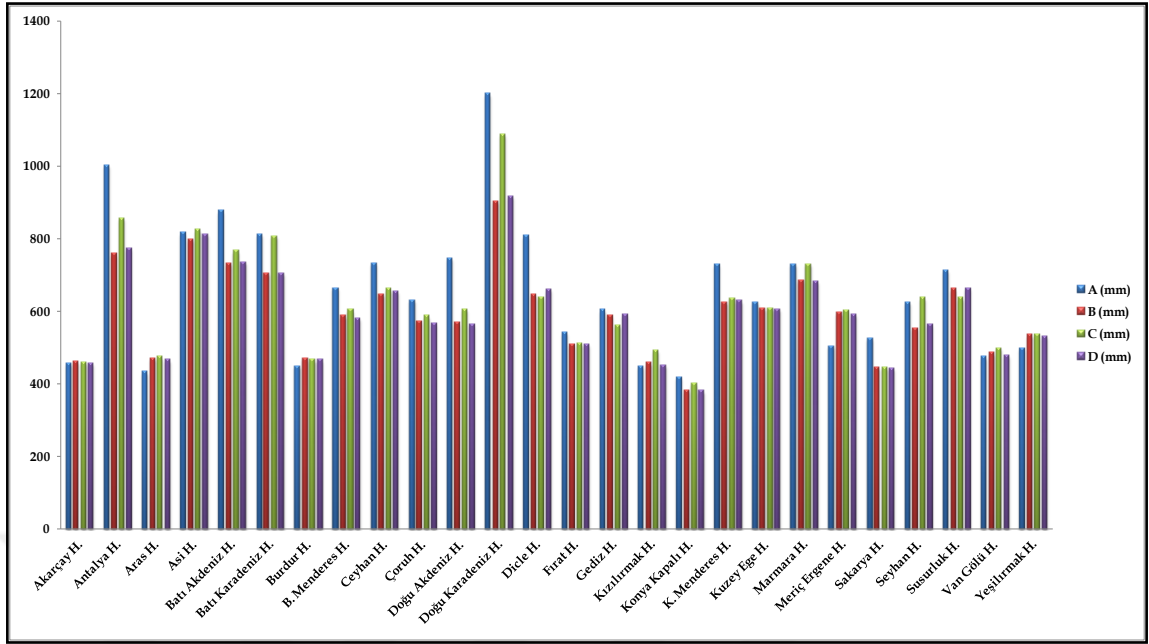
Havza Adı	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
Akarçay Havzası	455.8	462.3	460	455.7
Antalya Havzası	1000.4	757.4	855.9	771.1
Aras Havzası	432.4	469.9	473.4	464.8
Asi Havzası	815.6	796.9	823.9	810.6
Batı Akdeniz Havzası	875.8	731.8	766.4	734.1
Batı Karadeniz Havzası	811	702.7	805.5	702.1
Burdur Havzası	446.3	468.8	464.5	466.4
Büyük Menderes Havzası	664.3	586.3	602	579.9
Ceyhan Havzası	731.6	647.3	660.6	654.8
Çoruh Havzası	629.4	570.9	587.2	566.3
Doğu Akdeniz Havzası	745	567.5	604.3	563.7
Doğu Karadeniz Havzası	1198.2	903.9	1086.5	915.6
Dicle Havzası	807.2	647.6	637.6	660.1
Fırat Havzası	540.1	508.2	511.8	506.8
Gediz Havzası	603	588.5	561.8	590.8
Kızılırmak Havzası	446.1	456.9	491.3	450.5
Konya Kapalı Havzası	416.8	382.7	400.1	379.7
Küçük Menderes Havzası	727.4	624.3	634.2	628.7
Kuzey Ege Havzası	624.2	606.2	606.6	605.8
Marmara Havzası	728.7	683.4	728.8	682.6
Meriç Ergene Havzası	504	595.2	600.7	590.1
Sakarya Havzası	524.7	444.7	444.7	442
Seyhan Havzası	624	553.9	635.8	563.2
Susurluk Havzası	711.6	662.0	635.4	663.6
Van Gölü Havzası	474.3	483.4	496.1	478.8
Yeşilırmak Havzası	496.5	533.9	535.4	530.6

Not: Çizelgede A, DSİ tarafından hesaplanan yağış miktarını; B, global Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritasından hesaplanan yağış miktarını; C, lokal Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritalarından hesaplanan yağış miktarını; D, lokal teorik yarıvariogram kullanılarak global Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritasından hesaplanan yağış miktarını göstermektedir.

Çizelge 73.Havzalara düşen yıllık ortalama toplam yağış miktarlarının karşılaştırılması

Havza Adı	A-B (mm)	A-B (%)	A-C (mm)	A-C (%)	A-D (mm)	A-D (%)
Akarçay Havzası	6.5	1.4	4.2	0.9	-0.1	0.0
Antalya Havzası	-243	-32.1	-144.5	-16.9	-229.3	-29.7
Aras Havzası	37.5	8.0	41	8.7	32.4	7.0
Asi Havzası	-18.7	-2.3	8.3	1.0	-5	-0.6
Batı Akdeniz Havzası	-144	-19.7	-109.4	-14.3	-141.7	-19.3
Batı Karadeniz Havzası	-108.3	-15.4	4.5	-0.7	-108.9	-15.5
Burdur Havzası	22.3	4.8	18.2	3.9	20.1	4.3
Büyük Menderes Havzası	-78	-13.3	-62.3	-10.3	-84.4	-14.6
Ceyhan Havzası	-84.3	-13.0	-71	-10.7	-76.8	-11.7
Çoruh Havzası	-58.5	-10.2	-42.2	-7.2	-63.1	-11.1
Doğu Akdeniz Havzası	-177.5	-31.3	-140.7	-23.3	-181.3	-32.2
Doğu Karadeniz Havzası	-294.3	-32.6	-111.5	-10.3	-282.6	-30.9
Dicle Havzası	-159.6	-24.6	-169.6	-26.6	-147.1	-22.3
Fırat Havzası	-31.9	-6.3	-28.3	-5.5	-33.3	-6.6
Gediz Havzası	-14.3	-2.5	-41.2	-7.3	-12.2	-2.1
Kızılırmak Havzası	10.8	2.4	45.2	9.2	4.4	1.0
Konya Kapalı Havzası	-34.1	-8.9	-16.7	-4.2	-37.1	-9.8
Küçük Menderes Havzası	-103.1	-16.5	-93.2	-14.7	-98.7	-15.7
Kuzey Ege Havzası	-18	-3.0	-17.6	-2.9	-18.4	-3.0
Marmara Havzası	-45.3	-6.6	0.1	0.0	-46.1	-6.8
Meriç Ergene Havzası	91.2	15.3	96.7	16.1	86.1	14.6
Sakarya Havzası	-80	-18.0	-80	-18.0	-82.7	-18.7
Seyhan Havzası	-70.1	-12.7	11.8	1.9	-60.8	-10.8
Susurluk Havzası	-49.6	-7.5	-76.2	-12.0	-48	-7.2
Van Gölü Havzası	9.1	1.9	21.8	4.4	4.5	0.9
Yeşilırmak Havzası	37.4	7.0	38.9	7.3	34.1	6.4

Not: Çizelgede A, DSİ tarafından hesaplanan yağış miktarını; B, global Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritasından hesaplanan yağış miktarını; C, lokal Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritalarından hesaplanan yağış miktarını; D, lokal teorik yarıvariogram kullanılarak global Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritasından hesaplanan yağış miktarını göstermektedir. DSİ'den fazla olan değerler pozitif, az olan değerler negatif olarak belirtilmiştir.



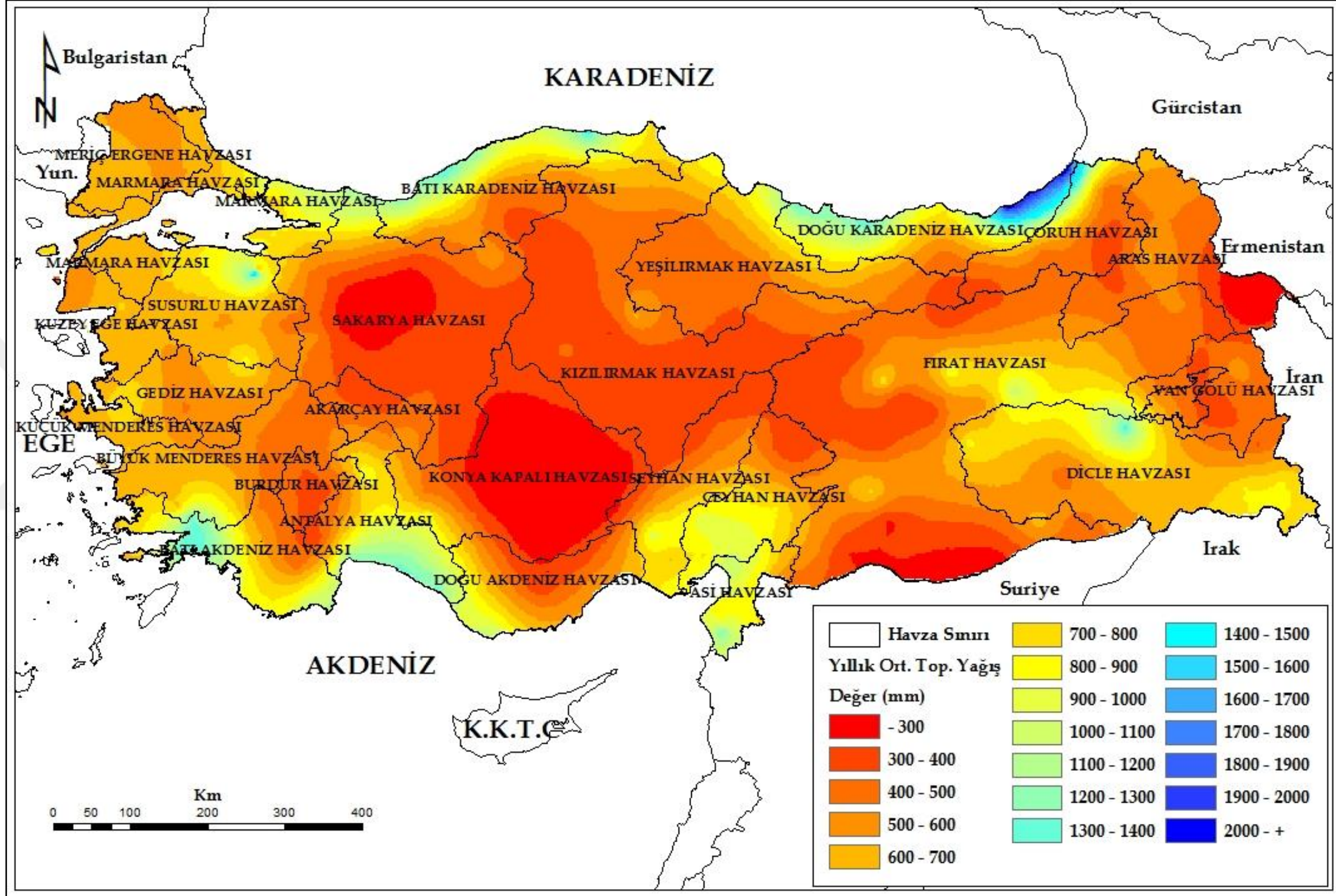
Şekil 98. Havzalara düşen yıllık ortalama toplam yağış miktarı (mm)

Not: Çizelgede A, DSİ tarafından hesaplanan yağış miktarını; B, global Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritasından hesaplanan yağış miktarını; C, lokal Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritalarından hesaplanan yağış miktarını; D, lokal teorik yarıvariogram kullanılarak global Kriging yöntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritasından hesaplanan yağış miktarını göstermektedir.

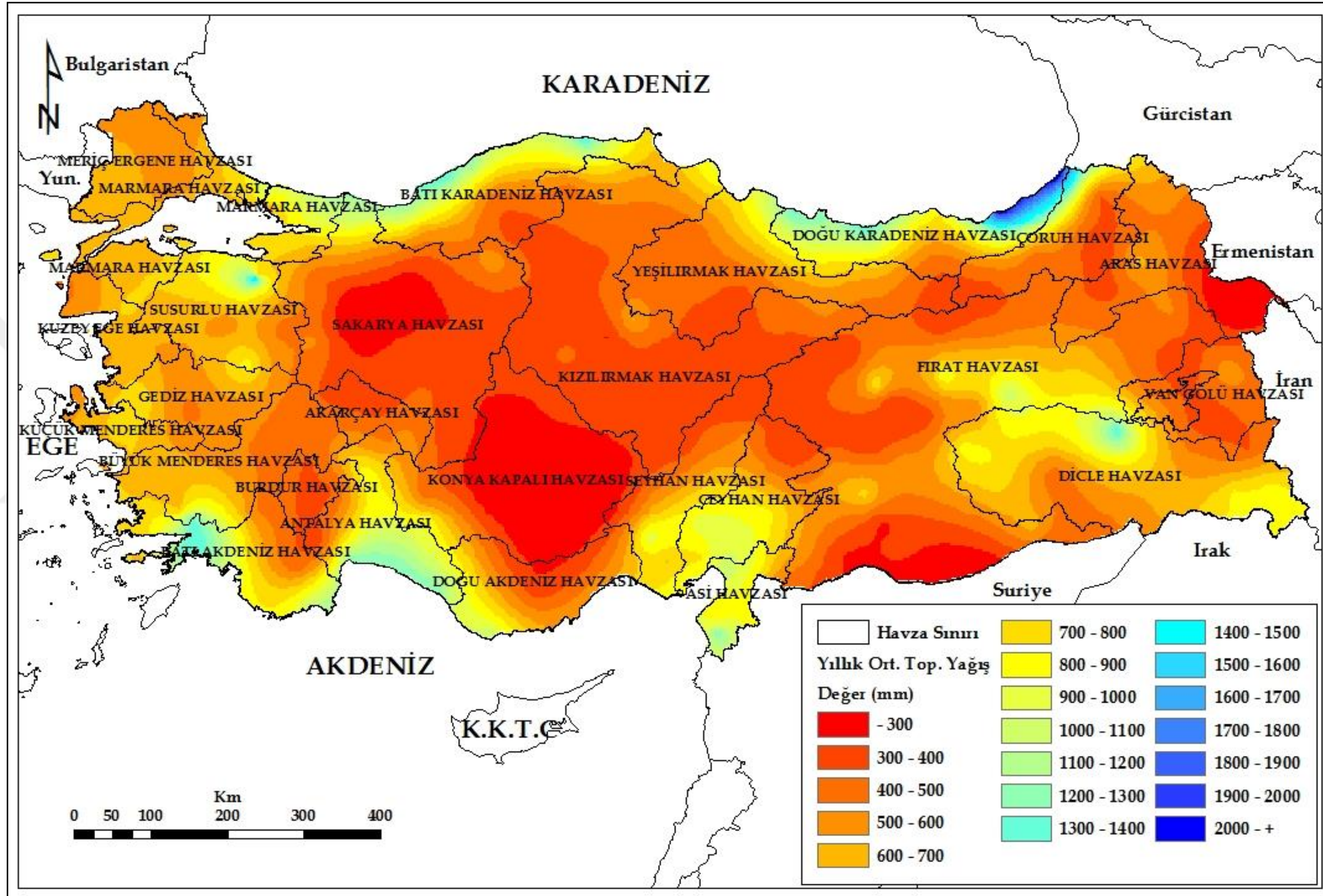
Şekil 99'da Nested (Hole&Matérn) teorik yarıvariogramı kullanılarak elde edilen yağış dağılışı haritası görülmektedir. Buna göre, Türkiye'de yağış dağılışı yükseklik değişimine hassas olduğu alansal korelasyon yaparken, buna ait bilgilerin doğruya yakın yansıtıldığı görülmektedir. Özellikle Bitlis-Bingöl çevresi, Simav Dağları ve Uludağ-Zirve alanları kapalı eş yağış eğrileri oluşturmaktadır. Bu durum modelin, yüksekliğe bağlı yağış dağılışına hassas olduğunu ortaya koymaktadır. Kelkit ve Çoruh Nehirlerinin çukur alanlarındaki ve Göller yöresindeki yağış azlığının haritaya yansımaları yüksektir. Bu yöntem ile elde edilen harita yağış dağılışının alansal dağılışıda önemli görsel sorunlar içermektedir. Yüksekliğin yağış dağılışı modellerine entegre edilmemesi nedeniyle

ve Türkiye’de dağların denize bakan yamaçları ile yağış gölgesinde kalan yamaçlar arasında büyük yağış zıtlıkları görülmesi anormal eş yağış eğrisi ilişkilerine neden olmuştur. Karadeniz Dağları’nın kuzeye bakan yamaçlarını içeren Bölge 2 ile kabaca Doğu Anadolu Bölgesini kapsayan Bölge 3’ün sınır bölgesinde 1500 mm yağış alan kıyı kesimi ile 400 mm yağış alan kesim anormal dokunak oluşturmaktadır. Bu durumun benzerini Akdeniz ile İç Anadolu arasında da görmek mümkündür. Bunun nedeni 6 farklı modelin farklı yağış tahminlerini bir araya getirmesidir. Ancak topografyanın etkisinin azaldığı Batı Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Marmara Bölgesi gibi alanlarda yağış dağılışı diğer modellere uygundur. Bu nedenle farklı lokal hesaplamalardan daha doğru tahmin haritaları elde etmek için mutlaka yükseklik ve bakı faktörünün modele entegre edilmesi gerekmektedir. Bölge 4 için oluşturulan lokal teorik yarivariogramın tüm Türkiye’ye uygulanması ile elde edilen yağış dağılışı haritası Şekil 100’de görülmektedir. Bu modelde de alansal korelasyon yüksektir. Güneybatı Anadolu’daki yüksek yağış ile Antalya körfezindeki asimetric yağış dağılışı, Bingöl-Bitlis çevresindeki yüksek yağış ile Elazığ, Kahramanmaraş gibi topografik olarak çevresinden alçak alanlardaki yağış azalışı teorik yarivariogram modeli ile gözlenen arasındaki uyumu iyi yansıtmaktadır. Benzer durumu Doğu Karadeniz’de Trabzon’daki Fener (Yoroz) Burnu’nun batı ve doğusundaki yağış azalış ve artışı da doğrulamaktadır¹.

¹ OK Kriging analizleri sonucu elde edilen yağış tahminlerinin her bir pikseldeki değerlerini içeren tablolar ekteki CD’de sunulmuştur.



Şekil 99. Nested teorik yarıvariogram kullanılarak elde edilen Türkiye yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası



Şekil 100. Bölge 4 için oluşturulan lokal teorik yarıvariogram kullanılarak Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağış tahmin modeli

6. SONUÇ

Türkiye'nin topografik yapısı, kısa mesafede büyük yükseklik farklılıklarının bulunması, kıyılara paralel yüksek dağ sıralarının varlığı gibi pek çok neden, yağış dağılışının karmaşık bir yapı göstermesine neden olmaktadır. Meteoroloji gözlem ağının yatayda ve dikeyde yetersiz ve heterojen dağılımı yine yıllık ortalama toplam yağış dağılışının tam olarak değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu gibi etmenler geleneksel yöntemlerle su potansiyelinin belirlenmesi ve planlanmasında sorunlara yol açabilmektedir. İklim değişikliği sonucunda yağışta görülecek değişimlere neden olan girdilerin temelini ülkenin yağış dağılışının doğru şekilde hesap edilmesi oluşturur. Böylece havzalara düşen yıllık ortalama toplam yağış değerlerinin hesap edilmesi ileriye dönük planlamalardaki tahminlerin daha gerçekçi olmasını sağlamaktadır. Günümüze kadar Türkiye'de yağış dağılışı tam olarak ortaya çıkarılamamıştır. Bu durum klimatoloji ve hidroloji gibi çalışmalarda önemli sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle geleneksel deterministik yöntemler yerine model temelli jeostatistik yöntemler kullanılarak, Türkiye'deki (1976-2010) yağış istasyon verilerinden elde edilen yıllık ortalama toplam yağış verileriyle yıllık ortalama toplam yağış paterni ortaya konulmuş ve en doğru yağış modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan yıllık ortalama toplam yağış değerleri, Türkiye geneline dağılmış 228 meteoroloji istasyonlarının aylık yağış değerlerinin ortalaması hesap edilerek elde edilmiştir. Öncelikle mekânsal verinin gösterimi daha sonra verinin

araştırılması aşamaları gerçekleştirilmiştir. Türkiye geneli ve bölgeler için verinin histogram dağılımları değerlendirilmiştir. Her ne kadar Kriging yöntemleri verilerin normal dağılım göstermemesinden etkilenmese de bu çalışmada çarpık dağılım gösteren orijinal yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü yapılmıştır. Tahmin analizleri logaritmik dönüşüm uygulanmış veri üzerinden yapılmıştır. Daha sonra, mekânsal modelin oluşturulması için mekânda bulunan bağımlılık kuralının (mekândaki özelliğin matematiksel bir fonksiyonla ifadesi) bulunması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bağımlılık kuralına göre çalışma sahası içinde gözlem yapılmamış noktaların tahmin edilmesi için global teorik yarıvariogramla global Kriging, lokal teorik yarıvariogramlarla lokal Kriging ve yine lokal teorik yarıvariogramlarla global Kriging analizleri uygulanmıştır. Analiz sonuçlarında elde edilen tahmin modellerinin geri dönüşümü yapıldıktan sonra her biri için doğruluk testi yapılarak model performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sınırları içinde Türkiye'deki yağış modelleriyle ilgili olarak;

- Global teorik yarıvariogramla oluşturulan global Kriging tahmin haritaları içinden en iyi sonucu veren Nested (Hole&Mátern) OK tahmin haritası, Bölge 4' ten elde edilen lokal teorik yarıvariogram ile oluşturulan global Kriging tahmin haritası ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, Bölge 4'ün (lokal) mekânsal karakteristiklerinin, tüm Türkiye'nin (global) özelliklerini yansıttığı söylenebilir.

- Bölge 4' ten elde edilen lokal teorik yarıvariogram ile oluşturulan global Kriging tahmin haritasına ait R^2 , RMSE, ME ve MAE sonuçları en iyi yağış modeli değerlerini vermiştir. Bu modeli global Kriging tahmin modelleri içerisinde Nested (Hole&Matern) teorik yarıvariogram sonucu oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin modeli takip etmektedir.
- Lokal Kriging tahmin haritaları incelendiğinde bazı yerlerde bölgelerin sınırlarındaki geçişlerin birbirine benzememesi bu çalışmada da öngörüldüğü şekilde mekânsal karakteristiklerin her zaman tek bir global teorik yarıvariogramla tam olarak açıklanamadığını göstermektedir. Bu durum özellikle yağışın yoğun olduğu Karadeniz Bölgesi'nden (Bölge 2), İç Anadolu (Bölge 6) ve Doğu Anadolu (Bölge 3) kuşağına geçişte görülmektedir. Benzer şekilde yağışın fazla olduğu Akdeniz, Ege gibi kıyı bölgelerinden diğer bölgelere geçişteki bölgesel tahmin farklılıkları daha hafif olarak gözlenmektedir.
- Lokal Kriging tahmin modellerinin performans sonuçları birbirleriyle karşılaştırıldığında sırasıyla Bölge 4, Bölge 1, Bölge 5, Bölge 2, Bölge 6 ve Bölge 3 başarılı sonuçlar verdiği gözlenmektedir. Bu sonuçlarda en büyük etkiyi topografik yapı oluşturmaktadır.

Global, lokal ve lokal teorik yarıvariogram kullanılarak oluşturulan global Kriging yöntemleri ile elde edilen yağış tahmin modellerinden Türkiye'nin 26 su toplama havzası için su potansiyelleri hesaplanmış ve elde

edilen değerler, DSİ tarafından hesaplanan havzalara dūřen yıllık ortalama toplam yağış değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Global ve lokal teorik yarıvariogram kullanılarak global Kriging yōntemiyle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritalarından hesaplanan su potansiyel değerleri sırasıyla 19 ve 20 su toplama havzasında, DSİ'lerinin değerlerinden dūřuk çıkmıştır. Bu durum lokal Kriging yōntemiyle elde edilen tahmin haritalarında değerlendirildiğinde yalnız 16 su toplama havzası için geçerli olmuştur. Geriye kalan diğer 10 su toplama havzasında su potansiyel miktarları yūksektir.
- Tūrkiye ve havzalar genelinde hesap edilen deęerler ū modelde DSİ'nin deęerlerine gōre az tahmin sonuçları vermiřtir. Bu durum ūzellikle daęlık havzalarda daha belirgin olarak izlenmektedir.

İklim değişiminde meydana gelen değişimlerle ilişkili olarak su kaynakları azalmaktadır. Su kaynaklarının devamlılığı açısından ūnem arz eden yağışların doğru olarak modellenmesi, su kaynaklarının geliştirilmesi, korunması ve kullanımının sūrdūrūlebilir nitelikte yapılabilmesi için planlamaların gerçekleştirilebilmesinde ūnemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle doğru su potansiyel hesaplamalarının yapılması gerekmektedir.

Coęrafi bir mekānda meydana gelen çevresel olayların jeostatistik teknikleri yardımıyla araştırılması coğrafya çalışmalarında ūnemli bir konuyu oluşturmaktadır. Coğrafyacının olaylara mekānsal yaklaşımı, bu bilim dalını

diğer bilim dallarından ayıran en büyük özelliğidir. Bu amaçla gözlemlerin yapıldığı yerin coğrafi konumu ve gözlemler arası mekânsal bağımlılığını dikkate alan yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Geleneksel istatistik yöntemleri ile yapılan analizlerde bir değişkenin varyans ve ortalaması hesaplanırken bu özellikler dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle çalışmanın en büyük önemini yıllık ortalama toplam yağış değişkeninin coğrafi konumunu ve gözlemler arası mekânsal bağımlılığını göz önünde bulundurması oluşturmaktadır. Bu araştırmada gerçekleştirilen jeostatistik analiz tekniklerinin coğrafya çalışmalarındaki önemi bu sayede vurgulanmıştır. Çalışmanın bir diğer önemli kısmını yağış değişkeninin en doğru şekilde modellenmesi ve bu sayede hesap edilecek su potansiyelleri çıktılarının doğru olarak hesaplanabilmesi oluşturmaktadır. Bu bağlamda yağışın etkisi altında kalan pek çok faktör için doğru girdi oluşturulmakta ve diğer bilim dallarında çalışan araştırmacılara referans olmaktadır. Örneğin, yağış su kaynaklarının devamlılığı açısından gerekli ve havza planlaması çalışmaları için önemli bir altlıktır. Diğer taraftan meteoroloji ve hidroloji çalışmalarında istasyon olmayan yerlerin yağış değerlerinin bilinmesi kuraklık ve sel gibi olayların tahmin edilebilmesi, yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının bilinmesi gibi konularda da gereklilik arz etmekte ve doğru analizlerin gerçekleştirilebilmesine yardımcı olmaktadır. Bu yönüyle çalışmanın sadece coğrafyacılara açısından değil diğer bilim dallarında çalışan araştırmacılar açısından da faydalanılabileceği düşünüldüğünden interdisipliner bir bakış açısı sağlamaktadır.

Jeoistatistik teknikler kullanılarak gerçekleştirilen yağış modelleri sadece yağış değişkeni kullanılarak değil aynı zamanda yağışı etkileyen yükseklik, eğim, bakı, kıyıya uzaklık, arazi kullanımı, güneşlenme süresi, sıcaklık ve rüzgâr gibi daha pek çok faktöre bağlı olarak oluşturulabilmektedir. Bu çalışmanın kapsamında sadece yağış tahmin modelleri yıllık ortalama toplam yağış değişkeni kullanılarak hem global, hem de Türkiye'nin özellikle jeomorfolojik özellikleri dikkate alınarak ayrılmış 6 bölgeye göre incelenmiş ve en uygun teorik yarıvariogram modeller belirlenmeye çalışılmıştır. Oysaki yağış yukarıda belirtilen pek çok faktörün etkisi altında değişim göstermektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak araştırmalar için belli öneriler ileri sürülebilir.

- (1) Yağışı etkileyen diğer etmenler (yükseklik, eğim, bakı, kıyıya uzaklık, su buharı basıncı, basınç ve rüzgâr vb. gibi) göz önünde bulundurularak gerçekleştirilecek jeoistatistik yöntemlerin uygulanmasıdır.
- (2) Uzaktan algılama tabanlı görüntülerin analizlere yağışı etkileyen faktörlerin yanında yardımcı değişken olarak dâhil edilmesi model performans sonuçlarını daha da iyileştirebilir. Yüksek R^2 değerleri, düşük RMSE değerleri elde edilebilir.
- (3) Kriging yöntemleri yerine zamansal-mekânsal Kriging teknikleri kullanılarak, çalışmaya mekân boyutunun yanında zaman boyutunun da katılmasıyla araştırma farklı bir perspektiften değerlendirilebilir.

(4) İleriye dönük yağış tahmin modelleri elde edilebilir. Böylece, Türkiye genelinde 26 su toplama havzası için geleceğe yönelik su potansiyel değerleri daha doğru hesap edilerek ileriye dönük stratejik planlar gerçekleştirilebilir.

Sonuç olarak, Türkiye’de yağışın modellenmesinde lokal Kriging yöntemleri de dikkate alınarak, tüm mekânı daha doğru açıklayabilen modeller elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma yağışın mekânsal değişiminin araştırılması ve tahmininde önemli bir yaklaşım olan jeostatistik yöntemlerini kullanarak yapılmış bir fiziki coğrafya araştırmasıdır.

KAYNAKÇA

- Abtew, W.; Obeysekera, J.; Shih, G. (1993) "Spatial anaysis for monthly rainfall in South Florida", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 29(2), 179-188.
- Agterberg, F. (1974) *Geomathematics. Mathematical Background and Geo-Science Applications*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Anselin, L. (1988) *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Academic Publishers, The Netherlands.
- Anselin, L. (2003) "Spatial externalities, spatial multipliers, and spatial econometrics", *International Regional Science Review*, 26(2), 153-166.
- Antonić, O.; Kušan, V.; Bakran-Petricioli, T.; Alegro, A.; Gottstein-Matočec, S.; Peterel, H.; Tkalčec, Z. (2005) "Mapping the habitats of the republic of Croatia (2000-2004), the project overview (in Croatian), *Drypis, Journal for Applied Ecology*, 1(1), 40.
- Apaydin, H.; Anli, A.S.; Ozturk, F. (2011) "Evaluation of topographical and geographical effects on some climate parameters in the Central Anatolia Region of Turkey", *International Journal of Climatology*, 31, 1264-1279.
- Arnell, N.W.; Reynard, N.S. (1996) "The effects of climate change due to global warming on river flows in Great Britain", *Journal of Hydrology*, 183, 397-424.

- Ashraf, M.; Habib-ur-Rehman (1999) "Interactive effects of nitrate and long-term waterlogging on growth, water relations, and gaseous exchange properties of maize (*Zea mays* L.)", *Plant Science*, 144, 35-43.
- Atkinson, P.M.; Lloyd, C.D. (1998) "Mapping precipitation in Switzerland with ordinary and indicator kriging, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2(2), 65-76.
- Aydın, O.; Çiçek, İ. (2013) "Ege Bölgesi'nde yağışın mekânsal dağılımı", *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 101-120.
- Bailey, T.C.; Gatrell, A.C. (1995) *Interactive Spatial Data Analysis*, Addison Wesley Longman Limited, Harlow, UK.
- Barnsley, M.J. (2007) *Environmental Modeling*, CRC Press, USA.
- Beek, E.G.; Stein, A.; Janssen, L.L.F. (1992) "Spatial variability and interpolation of daily precipitation amount", *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 6, 304-320.
- Berry, B.J.L.; Marble, D.F. (1968) *Spatial Analysis: A Reader in Statistical Geography*, Englewood Cliffs (N.J), Prentice Hall.
- Bhowmik, A.K.; Costa, A.C. (2012) "A geostatistical approach to the seasonal precipitation effect on boro rice production in Bangladesh", *International Journal of Geosciences*, 3, 443-462.

- Bivand, R.S.; Pebesma, E.J.; Gómez-Rubio, V. (2008) *Applied Spatial Data Analysis with R (Use R)*, Springer, New York.
- Bjorlykke, K. (2011) *Petroleum Geoscience: From Sedimentary Environments to Rock Physics*, Springer, New York.
- Boer, E.P.J.; Beurs de, K.M.; Hartkamp, A.D. (2001) "Kriging and thin plate splines for mapping climate variables", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3(2), 146-154.
- Bostan, P.A.; Akyürek, S.Z. (2007) "İkinci veriler kullanılarak Türkiye ortalama yıllık yağış değerlerinin mekânsal dağılımının modellenmesi", *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 30 Ekim-02 Kasım 2007, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Bostan, P.A.; Heuvelink, G.B.M.; Akyurek, S.Z. (2012) "Comparison of regression and kriging techniques for mapping the average annual precipitation of Turkey", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19, 115-126.
- Carrera-Hernandez, J.J.; Gaskin, S.J. (2007) "Spatio temporal analysis of dairly precipitation and temperature in the Basin of Mexico", *Journal of Hydrology*, 336, 231-249.
- Caruso, C.; Quarta, F. (1998) "Interpolation methods comparison", *Computers and Mathematics with Applications*, 35(12), 109-126.

- Ceylan, A.; Kömüşçü, A.Ü. (2007) "Meteorolojik karakterli doğal afetlerin uzun yıllar ve mevsimsel dağılımları", *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TIKDEK*, 11-13 Nisan 2007, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Changnon, S.A.; Hewings, G.J.D. (2001) "Losses from weather extremes in the United States", *Natural Hazards Review*, 2(3), 113.
- Chilés, J.P.; Delfiner, P. (2012) *Geostatistics: Modelling Spatial Uncertainty (Wiley series in Probability and Statistics)*, Second Edition, John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Christakos, G. (2005) *Random Field Models in Earth Sciences*, Academic Press Inc., San Diego.
- Chua, S.H.; Bras, R.L. (1982) "Optimal estimators of mean areal precipitation in regions of orographic influence", *Journal of Hydrology*, 57(1-2), 23-48.
- Chun, Y.; Griffith, D.A. (2013) *Spatial Statistics&Geostatistics*, SAGE Publications Ltd., London.
- Clark, I. (1979) *Practical Geostatistics*, Elsevier Science&Technology, London.
- Clark, M.P.; Slater, A.G. (2006) "Probabilistic quantitative precipitation estimation in complex terrain", *Journal of Hydrometeorology*, 7(1), 3-22.
- Cliff, A.D.; Ord, J.K. (1973) *Spatial Autocorrelation*, Pion Ltd, London, UK.
- Cliff, A.D.; Ord, J.K. (1981) *Spatial Process: Models and Applications*, Pion Ltd, London, UK.

- Coppock, J.I., Rhind, D.W. (1991) *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Harlow, Longman.
- Cressie, N. (1993) *Statistics for Spatial Data (Revised Edition)*, John Wiley&Sons, New York.
- Cressie, N.; Wikle, C.K. (2011) *Statistics for Spatio-Temporal Data (Wiley Desktop Editions)*, John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Çetin, M.; Tölücü, K. (1998) "Doğu Akdeniz Bölgesi'nde aylık yağışların yersel değişimlerinin jeostatistik yöntemle incelenmesi", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 22, 279-288.
- Çiçek, İ. (2001a) "Türkiye'de mevsimlere göre yağış şiddetleri ve sıklıkları", *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 8, 1-27.
- Çiçek, İ. (2001b) "Türkiye'de günlük yağış şiddetleri ve sıklıkları", *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 8, 27-49.
- Daly, C.; Gibson, W.P.; Taylor, G.H.; Johnson, G.L.; Pasteris, P. (2002) "A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate", *Climate Research*, 22(2), 99-113.
- Darkot, B.; Tuncel, M. (1988) *Ege Bölgesi Coğrafyası*, İstanbul Üniversitesi Yayınları/Coğrafya Enstitüsü Yayınları, 2.Baskı, İstanbul
- David, M. (1977) *Geostatistical Ore Reserve Estimation*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.

Demir, İ.; Kılıç, G.; Çoşkun, M. (2008) “Türkiye’de maksimum, minimum ve ortalama hava sıcaklıkları ile yağış dizilerinde gözlenen değişiklikler ve eğilimler”, *TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, TMMOB adına TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, 13-14 Mart 2008, Ankara.

Dingman, S.L.; Seely-Reynolds, D.M.; Reynolds III, R.C. (1988) “Application of kriging to estimating mean annual precipitation in a region of orographic influence”, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 24(2), 329-339.

Diodato, N. (2005) “The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain”, *International Journal of Climatology*, 25, 351-363.

Di Piazza, A.; Conti, F.L.; Noto, L.V.; Viola, F.; La Loggia, G. (2011) “Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 396-408.

Dore, M.H.I. (2005) “Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know?”, *Environment International*, 31, 1167-1181.

Dönmez, Y. (1990) *Umumi Klimatoloji ve İklim Çalışmaları*, İstanbul Üniversitesi Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul.

- Erbekçi, E. (2006) *Türkiye’de Yağış Olasılığının Zamansal ve Alansal Değişimleri*, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Erinç, S. (1996) *Klimatoloji ve Metodları*, Alfa Basım ve Dağıtım, İstanbul.
- Erlat, E. (1996) “Türkiye’de günlük yağışların şiddeti üzerine bir inceleme”, *Ege Coğrafya Dergisi*, 9, 159-184.
- Erlat, E. (1999) “El nino, la nina ve güneyli salınım”, *Ege Coğrafya Dergisi*, 10, 195-217.
- Erol, O. (2004) *Genel Klimatoloji*, Çantay Kitabevi, 6.Baskı, Ankara.
- Fotheringham, A.; Brunson, C.; Charlton, M. (2000) *Quantitative Geography Perspectives on Spatial Data Analysis*, SAGE, London.
- Gambolati, G.; Volpi, G. (1979) “A conceptual deterministic analysis of the kriging technique in hydrology”, *Water Resources Research*, 15(3), 625-629.
- Giorgi, F.; Whetton, P.H.; Jones, R.G.; Christensen, J.H.; Mearns, L.O.; Hewitson, B.; vonStorch, H.; Francisco, R.; Jack, C. (2001) “Emerging patterns of simulated regional climatic changes for the 21st century due to anthropogenic forcings”, *Geophysical Research Letters*, 28(17), 3317-3320.
- Goodchild, M.F.; Haining, R.P. (2004) “GIS and spatial data analysis: converging perspectives”, *Papers in Regional Science*, 83(1), 363-385.

- Gelfand, A.E.; Diggle, P.J.; Fuentes, M.; Guttorp, P. (2010) *Handbook of Spatial Statistics (Chapman&Hall/CRC Handbooks of Modern Statistical Methods)*, CRC Press, USA.
- Gemmer, M.; Becker, S.; Jiang, T. (2004) "Observed monthly precipitation trends in China 1951–2002", *Theoretical and Applied Climatology*, 77, 39–45.
- Gilgen, H. (2010) *Univariate Time in Geoscience: Theory and Examples*, Second Edition, Springer, Zurich.
- Goovaerts, P. (1997) *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, Oxford University Press, UK.
- Goovaerts, P. (2000) "Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall", *Journal of Hydrology*, 228, 113–129.
- Goudenhoofdt, E.; Delobbe, L. (2009) "Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates", *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 195–203.
- Gruijter, J.; Bierkens, M.F.P.; Brus, D.J.; Knotters, M. (2010) *Sampling for Natural Resource Monitoring*, Springer, The Netherlands.
- Haas, T.C. (1990a) "Kriging and automated variogram modeling within a moving window", *Atmospheric Environment, Part A, General Topics*, 24(7), 1759–1769.

- Haas, T.C. (1990b) "Lognormal and moving window methods of estimating acid deposition", *Journal of the American Statistical Association*, 85, 950-963.
- Haas, T.C. (1995) "Local prediction of a spatial-temporal process with an application to wet sulfate deposition", *Journal of the American Statistical Association*, 90, 1189-1199.
- Haining, R. (1993) *Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Sciences*, Cambridge, Cambridge University Press, UK.
- Haining, R.; Kerry, R.; Oliver, M.A. (2010) "Geography, spatial data analysis, and geostatistics: an overview", *Geographical Analysis*, 42, 7-31.
- Handcock, M.S.; Stein, M.L. (1993) "A bayesian analysis of kriging", *Technometrics*, 35(4), 403-410.
- Hansen, H.S. (1997) "Avenue-a powerful environment for developing spatial data analysis tools", *12th ESRI European User Conference*, 29 Eylül-1 Ekim 1997, Copenhagen, Denmark.
- Harris, P.; Brunson, C.; Fotheringham, A.S. (2011) "Links, comparisons and extensions of the geographically weighted regression model when used as a spatial predictor", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 123-138.
- Hengl, T. (2009) *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Henley, S. (1981) *Non-Parametric Geostatistics*, Halsted Press, New York.

Hernandez-Stefanoni, J.L.; Ponce-Hernandez, R. (2006) "Mapping the spatial variability of plant diversity in a tropical forest: comparison of spatial interpolation methods", *Environmental Monitoring and Assessment*, 117, 307-334.

Hession, S.L.; Moore, N. (2011) "A spatial regression analysis of the influence of topography on monthly rainfall in East Africa", *International Journal of Climatology*, 31(10), 1440-1456.

Hofierka, J.; Parajka, J.; Mitasova, H.; Mitas L. (2002) "Multivariate interpolation of precipitation using regularized spline with tension", *Transactions in GIS*, 6(2), 135-150.

Hohn, M.E. (1999) *Geostatistics and Petroleum Geology*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

Holawe, F.; Dutter, R. (1999) "Geostatistical study of precipitation series in Austria: time and space", *Journal of Hydrology*, 219, 70-82.

Hulme, M., Osborn, T.J., Johns, T.C., (1998) "Precipitation sensitivity to global warming: comparison of observations with HadCM2 simulations", *Geophysical Research Letters*, 25(17), 3379-3382.

- Hutchinson, M.F. (1998) "Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines-part II: analysis of topographic dependence", *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2(2), 152-167.
- IPCC (1995) Draft Summary Makes Headlines, Global Environment Change Report, 1-3.
- IPCC (2007) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, In Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L. (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, 3379-3382.
- Isaaks, E.; Srivastava, R. (1989) *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- İlker, A.; Terzi, Ö. (2012) *Akdeniz Bölgesi'nde Yağışın Alansal Dağılımı*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitim Anabilim Dalı, Isparta.
- İrdem, C. (2005) *Türkiye'de Yağışların Şiddet Bakımından Alansal ve Zamansal Değişkenliği*, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Jagannathan, P.; Arlery, R.; Ten, K.H.; Zavarina, M. (1967) "A note on climatological normals", *World Meteorological Organization, Technical Note 84*, WMO, Geneva.

- Johansson, B.; Chen, D. (2003) "The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: statistical analysis and modelling", *International Journal of Climatology*, 23, 1523-1535.
- Johns, T. C.; Carnell, R.E.; Crossley, J.F.; Gregory, J.M.; Mitchell, J.F.B.; Senior, C.A.; Tett, S.F.B.; Wood, R.A. (1997) "The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: model description, spinup and validation", *Climate Dynamics*, 13, 103-134.
- Johnston, K.; Ver Huef, J.M.; Krivoruchko, K.; Lucas, N. (2001) *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*, ESRI Press, Redlands, CA, USA.
- Journel, A.G.; Huijbregts, Ch. J. (1978) *Mining Geostatistics*, San Francisco Academic Press, New York.
- Journel, A.G. (1983) "Non-Parametric estimation of spatial distribution", *Mathematical Geology*, 15(3), 445-468.
- Journel, A.G. (1987) Non-Parametric Geostatistics for Risk and Additional Sampling Assessment, In: Keith, L.H. (ed.), *ACS Symposium Series: Principles of Environmental Sampling*, 45-72.
- Kadioğlu, M. (1997) "Şehirleşmenin Marmara Bölgesi'ndeki yağışlara etkisi", *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Su ve Çevre Sempozyumu*, 2-5 Haziran 1997, İstanbul.
- Kadioğlu, M. (2001) *Bildiğimiz Havaaların Sonu*, Güncel Yayıncılık, İstanbul.

- Kalkhan, M.A. (2011) *Spatial Statistics: GeoSpatial Information Modelling and Thematic Mapping*, CRC Press, USA.
- Karaca, A.; Öztürk, H.S.; Bayramin, İ.; Erpul, G.; Suiçmez, B.K. (2008) “Küresel ısınma ve ülkemiz tarımına etkileri”, *Türktarım, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Dergisi*, 179, 24-29.
- Kieffer Weisse, A.; Bois, P.H. (2002) “A comparison of methods for mapping statistical characteristics of heavy rainfall in the French Alps: the use of dairly information”, *Hydrological Sciences Journal*, 47(5), 739-752.
- Koç, T. (2001) *Kuzeybatı Anadolu’da İklim ve Ortam: Sinoptik, İstatistik ve Uygulama Boyutlarıyla*, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Koç, T.; İrdem, C. (2007) “Türkiye’de yağışların şiddet bakımından zamansal ve alansal değişkenliği”, *Türk Coğrafya Dergisi*, 49, 1-42.
- Koçman, A. (1993a) *Ege Ovaları’nın İklimi*, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Koçman, A. (1993b) *Türkiye İklimi*, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İzmir.
- Koçman, A.; Işık, S.; Mutluer, M. (1996) “Ege Ova’larında yağış değişkenliği ve kuraklık sorunu”, *Ege Coğrafya Dergisi*, 8, 25-36.

- Kömüşçü, A.Ü.; Dorum, A.; Ceylan, A. (2003) "Yağış şiddeti ve tekerrür sürelerine göre sel ve taşkın riski analizi", *III. Atmosfer Bilimi Sempozyumu*, 19-21 Mart 2003, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kravchenko, A.; Zhang, R.; Tung, Y.K. (1996) "Estimation of mean annual precipitation in Wyoming using geostatistical analysis", *Proceedings of American Geophysical Union 16th Annual Hydrology Days*, April 15-18, Fort Collins, Colorado.
- Krivoruchko, K.; Gotway, C.; Zhigimont, A. (2003) "Statistical tools for regional data analysis using GIS", *GIS'03 Proceedings of the 11th Association for Computing Machinery (ACM) International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 7 Kasım 2003, USA.
- Kunkel, K.E. (2003) "North American trends in extreme precipitation", *Natural Hazards*, 29, 291-305.
- Kutiel, H.; Türkeş, M. (2005) "New evidence about the role of the North Sea-Caspian Pattern (NCP) on the temperature and precipitation regimes in Continental Central Turkey", *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 87, 501-513.
- Kyriakidis, P.C.; Kim, J.; Miller, N.L. (2001) "Geostatistical mapping of precipitation from rain gauge data using atmospheric and terrain characteristics", *Journal of Applied Meteorology*, 40, 1855-1877.

- Latimer, A.M.; Wu, S.; Gelfand, A.E.; Silander, Jr., J.A. (2004) "Building statistical models to analyze species distributions, *Ecological Applications*, 16(1), 33-50.
- Leuanqthong, O.; Khan, K.D.; Deutsch, C.V. (2008), *Solved Problems in Geostatistics*, JohnWiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Leung, L.R.; Wigmosta, M.S. (1999) "Potential climate change impacts on mountain watersheds in the Pacific Northwest", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 35(6), 1463-1471.
- Li, L.; Hao, Z.C.; Wang, J.H.; Wang, Z.H.; Yu, Z.B. (2008) "Impact of future climate change on runoff in the head region of the Yellow River", *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(5), 347-354.
- Lloyd, C.D. (2005) "Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain", *Journal of Hydrology*, 308, 128-150.
- Lloyd, C.D. (2010) "Nonstationary models for exploring and mapping monthly precipitation in the United Kingdom", *International Journal of Climatology*, 30(3), 390-405.
- Ly, S.; Charles, C.; Degré, A. (2011) "Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium", *Hydrology Earth System Sciences*, 15, 2259-2274.

- Manabe, S.; Wetherald, R.T. (1967) "Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity", *Journal of the Atmospheric Sciences*, 24, 241-259.
- Martínez-Cob, A. (1996) "Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain", *Journal of Hydrology*, 174(1-2), 19-35.
- Marquínez, J.; Lastra, J.; García, P. (2003) Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis", *Journal of Hydrology*, 270 (1-2), 1-11.
- Matheron, G. (1963) "Principles of geostatistics", *Economic Geology*, 58(8), 1246-1266.
- McCarthy, J.J. (2001) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge.
- McFarlane, N.A.; Boer, G.J.; Blanchet, J.P.; Lazare, M. (1992) "The Canadian climate centre second-generation general circulation model and its equilibrium climate", *Journal of Climate*, 5, 1013-1044.
- Moral, F.J. (2010) "Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: application to precipitation", *International Journal of Climatology*, 30(4), 620-631.

- Myers, D. (1982) "Matrix formulation of co-kriging", *Mathematical Geology*, 14(3), 249-257.
- Myers, D.; Begovich, C.; Butz, T.; Kane, V. (1982) "Variogram models for regional groundwater geochemical data", *Mathematical Geology*, 14(6), 629-644.
- Myers, D. (1983) "Estimation of linear combinations and co-kriging", *Mathematical Geology*, 15(5), 633-637.
- Olea, R.A. (1975) *Optimum Mapping Techniques Using Regionalized Variable Theory*, Kansas Geological Survey, Series on Spatial Analysis, 2, Lawrence, Kansas.
- Olea, R.A. (1977) *Measuring Spatial Dependence with Semivariograms*, Kansas Geological Survey, Series on Spatial Analysis, 3, Lawrence, Kansas.
- Olea, R.A. (1982) *Optimization of the High Plains Aquifer Observation Network, Kansas*, Kansas Geological Survey, Groundwater Series, 7, Kansas.
- Olea, R.A. (1994) Fundamentals of semivariogram estimation, modeling, and usage: In Yarus, J.M.; Chambers, R.L. (eds), *Stochastic Modelling and Geostatistics: Principles, Methods, and Case Studies*, The American Association of Petroleum Geologists, Computer Applications in Geology, 3, 27-35.

- Ölgen, K.M. (2010) "Türkiye’de yıllık ve mevsimsel yağış değişkenliğinin alansal dağılımı", *Ege Coğrafya Dergisi*, 19(1), 85-95.
- Özkaya, S.Y. (2013) "İklim değişikliği ve etik prensipler", *Uluslararası Ekonomik Sorunlar*, 46, 123-132.
- Öztürk, D.; Batuk, F. (2010) "Meteorolojik verilerin CBS ve çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleriyle konumsal enterpolasyonu", *DMI*, 1. *Meteoroloji Sempozyumu*, Ankara.
- Pardo-Igúzquiza, E.; Dowd, P.A.; Grimes, D.I.F. (2005) "An automatic moving window approach for mapping meteorological data", *International Journal of Climatology*, 25(5), 665-678.
- Paustian, K.; Six, J.; Elliott, E.T.; Hunt, H.W. (2000) "Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils", *Biogeochemistry*, 48, 147-163.
- Pebesma, E.J.; Wesseling, C.G. (1998) "Gstat, a program for geostatistical modelling, prediction and simulation", *Computers&Geosciences*, 24(1), 17-31.
- Pebesma, E.J. (2004) "Multivariable geostatistics in S: the gstat package", *Computer&Geosciences*, 30, 683-691.

- Pfister, L.; Kwadijk, J.; Musy, A.; Bronstert, A.; Hoffmann, L. (2004) "Climate change, land use change and runoff prediction in the Rhine-Meuse basins", *River Research and Applications*, 20, 229-241.
- Phillips, D.L.; Dolph, J.; Marks, D. (1992) "A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain", *Agricultural and Forest Meteorology*, 58(1-2), 119-141.
- Pielke Jr, R.A.; Downton, M.W. (2000) "Precipitation and damaging floods: trends in the United States, 1932-97", *Journal of Climate*, 13(20), 3625-3637.
- Raval, A.; Ramanathan, V. (1989) "Observational determination of the greenhouse effect", *Nature*, 342, 758-761.
- Reilly, J.; Tubiello, F.; McCarl, B.; Abler, D.; Darwin, R.; Fuglie, K.; Hollinger, S.; Izaurralde, C.; Jagtap, S.; Jones, J.; Mearns, L.; Ojima, D.; Paul, E.; Paustian, K.; Riha, S.; Rosenberg, N.; Rosenzweig, C. (2003) "US agriculture and climate change: new results", *Climatic Change*, 57(1), 43-67.
- Remy, N.; Boucher, A.; Wu, J. (2011) *Applied Geostatistics with SGeMS: A User's Guide*, Cambridge University Press, UK.
- Ripley, B. D. (1981) *Spatial Statistics*, John Wiley & Sons. Inc., New York.
- Rockström, J.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Hoff, H.; Rost, S.; Gerten, D. (2009) "Future water availability for global food production: the potential of

green water for increasing resilience to global change", *Water Resources Research*, 45(7).

Rodhe, H. (1990) "A comparison of the contributions of various gases to the greenhouse effect", *Science*, 248(4960), 1217-1219.

Rosenzweig, C.; Tubiello, F.N.; Goldberg, R.; Mills, E.; Bloomfield, J. (2002) "Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change", *Global Environmental Change*, 12(3), 197-202.

Sarış, F. (2006) *Türkiye’de Yağış Yoğunluğunun Alansal ve Zamansal Değişkenliği*, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.

Sarış, F.; Hannah, D.M.; Eastwood, W.J. (2010) "Spatial variability of precipitation regimes over Turkey", *Hydrological Sciences Journal*, 55(2), 234-249.

Sauerborn, P.; Klein, A.; Botschek, J.; Skowronek, A. (1999) "Future rainfall erosivity derived from large-scale climate models–methods and scenarios for a humid region", *Geoderma*, 93(3-4), 269-276.

Schuurman, N. (2004) *GIS: A Short Introduction*, Blackwell Publishing, Oxford, UK.

Stein, M.L. (1999) *Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging*, Springer-Verlag, New York.

- Strzepek, K.M.; Yates, D.N. (1997) "Climate change impacts on the hydrologic resources of Europe: a simplified continental scale analysis", *Climatic Change*, 36, 79-92.
- Şen, Ö.L.; Kındap, T.; Bozyurt, D. (2008) "Küresel Isınma ve Türkiye, İyimser Senaryo", *Yeşil Atlas*, 11, 80-89.
- Sharples, J.; Hutchinson, M.F.; Jellett, D.R. (2005) "On the horizontal scale of elevation dependence of Australian monthly precipitation", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 44 (12), 1850-1865.
- Subyani, A.; Şen, Z. (1989) "Geostatistical modelling of the Wasia aquifer in Central Saudi Arabia", *Journal of Hydrology*, 110(3-4), 295-314.
- Symeonakis, E.; Bonifacio, R.; Drake, N. (2009) "A comparison of rainfall estimation techniques for sub-Saharan Africa", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(1), 15-26.
- Şen, Z. (1989) "Cumulative semivariogram models of regionalized variables", *Mathematical Geology*, 21(8), 891-903.
- Tabios III, G.Q.; Salas, J.D. (1985) "A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation", *JAWRA Journal of the American Resources Association*, 21(3), 365-380.

- Tatlı, H.; Dalfes, N.; Menteş, S. (2004) "A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey", *International Journal of Climatology*, 54, 161-188.
- Thanqarajan, M. (2010) *Groundwater: Resource Evaluation, Augmentation, Contamination, Restoration, Modeling and Management*, Springer, New Delhi, India.
- Tobin, C.; Nicotina, L; Parlange, M.B.; Berne, A.; Rinaldo, A. (2011) "Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region", *Journal of Hydrology*, 401(1-2), 77-89.
- Tobler, W.R. (1970) "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region", *Economic Geography*, 46, 234-240.
- Tümertekin, E.; Özgüç, N. (2004) *Beşeri Coğrafya İnsan Kültür Mekân*, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Türkeş, M. (1995) "Türkiye’de yıllık ve mevsimlik yağış verilerindeki eğilimler ve dalgalanmalar", *Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği (TUJJB) ve Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongreleri Bildiri Kitabı*, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Türkeş, M. (1996) "Spatial and temporal patterns analyses of rainfall variations in Turkey", *International Journal of Climatology*, 16, 1057-1076.

- Türkeş, M. (1998a) "İklimsel değişebilirlik açısından Türkiye'de çölleşmeye eğilimli alanlar", *DMI/İTÜ II. Hidrometeoroloji Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Türkeş, M. (1998b) "Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations of Turkey", *International Journal of Climatology*, 18, 649-680.
- Türkeş, M. (1998c) "Karadeniz yağışları", *TÜBİTAK, Bilim ve Teknik*, 364, 58-59.
- Türkeş, M. (1999) "Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23, 363-380.
- Türkeş, M. (2000) "El nino-güneyli salınım ekstremleri ve Türkiye'deki yağış anomalileri ile ilişkileri", *TMMOB Çevre Bilim ve Teknoloji*, 1, 1-13.
- Türkeş, M.; Sümer, U.M.; Kılıç, G. (2002) "Persistence and periodicity in the precipitation series of Turkey and associations with 500 hPa geopotential heights", *Climate Research*, 21, 59-81.
- Türkeş, M. (2003) "Spatial and temporal variations in precipitation and aridity index series of Turkey", In Bolle, H.J. (ed.), *Mediterranean Climate-Variability and Trends, Regional Climate Studies*, Springer Verlag, Heidelberg, 181-213.

- Türkeş, M.; Erlat, E. (2003) Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2000", *International Journal of Climatology*, 23, 1771-1796.
- Türkeş, M.; Erlat, E. (2005) "Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2001", *Theoretical and Applied Climatology*, 81, 45-69.
- Türkeş, M.; Erlat, E. (2006) "Influences of the North Atlantic Oscillation on precipitation variability and changes in Turkey", *Nuovo Cimento Della Societa Italiana Di Fisica C-Geophysics and Space Physics*, 29, 117-135.
- Türkeş, M.; Koç, T.; Sarış, F. (2007) "Türkiye'nin yağış toplamı ve yoğunluğu dizilerindeki değişikliklerin ve eğilimlerin zamansal ve alansal çözümlemesi", *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(1), 57-73.
- Türkeş, M. (2010) *Klimatoloji ve Meteoroloji*, Kriter Yayınları, İstanbul.
- UN, (2013) *World Population Policies*, United Nations Publication, New York.
- Wackernagel, H. (2010) *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications*, Springer, Germany.
- Walford, N. (1995) *Geographical Data Analysis*, John Wiley&Sons, UK.
- Walter, C.; McBratney, A.B.; Douaoui, A.; Minasny, B.; (2001) "Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif Valley, Algeria, using local

- ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram", *Australian Journal of Soil Research*, 39(2), 259-272.
- Webster, R. (1985) "Quantitative spatial analysis of soil in the field", *Advances in Soil Science*, 3, 1-70.
- Whelan, B.M.; McBratney, A.B.; Minasny, B. (2002) "Vesper 1.5- Spatial prediction software for precision agriculture", In Robert, P.C.; Rust&W.E. Larson (eds.), *Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture, ASA/CSSA/SSSA*, Madison, Wisconsin, 315-329.
- Wilmott, C.J. (1982) "Some comments on the evaluation of model performance", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(11), 1309-1313.
- Wong, D.W.S.; Lee, J. (2005) *Statistical Analysis of Geographic Information with ArcView and ArcGIS*, John Wiley&Sons, Inc Hoboken, NJ.
- Wotling, G.; Bouvier, Ch.; Danloux, J.; Fritsch, J.M. (2000) "Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment", *Journal of Hydrology*, 233(1-4), 86-101.
- Vicente-Serrano, S.M.; Saz-Sánchez, M.A.; Cuadrat, J.M. (2003) "Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature", *Climate Research*, 24(2), 161-180.

Yin, Z.Y.; Zhang, X.; Liu, X.; Colella, M.; Chen, X. (2008) "An assessment of the biases of satellite rainfall estimates over the Tibetan plateau and correction methods based on topographic analysis", *Journal of Hydrometeorology*, 9(3), 301-326.

Zhang, X.; Srinivasan, R. (2009) "GIS-based spatial precipitation estimation: a comparison of geostatistical approaches 1", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 45(4), 894-906.

Zhou, F.; Guo, H.C.; Ho, Y.S.; Wu, C.Z. (2007) "Scientometric analysis of geostatistics using multivariate methods", *Scientometrics*, 73(3), 265-279.

ÖZET

Çevresel çalışmalarda çevresel değişkenlerin mekânsal olarak modellenmesi oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Strateji ve plan geliştirirken, çevresel değişkenlerin değerlerini tahmin etmek ve karmaşık yapısını anlamak oldukça önemlidir. Bu sebeple, çevre üzerine çalışan araştırmacılar bir alanda yer alan iklim sistemi elemanları, hidrolojik süreçler, ekosistem ve biyokimyasal döngüler gibi herhangi bir çevresel değişkenin gösterilmesi, değerinin tahmin edilmesi ve açıklanması üzerine çevresel modeller geliştirmişlerdir. Çevresel çalışmalarda pek çok çevresel değişkenin yanı sıra iklimsel değişkenlerin ki bu, değişkenler arasında özellikle yağışın hidrolojik çalışmalar, kuraklık ve sel gibi olayların tahmin edilmesi, yerüstü ve yeraltı su kaynakları miktarının tahmini, su kaynaklarının kirlenmesi, hava kirliliği ile ilişkili konularda önemli bir yeri vardır. Bundan dolayı, yağış değişkeni değerlerinin tahmini ile ilgili modeller üzerine çok sayıda basit ve karmaşık mekânsal enterpolasyon teknikleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, 1975-2010 dönemine ait 228 meteoroloji istasyonun verileri kullanılarak Türkiye'nin yıllık ortalama toplam yağışının mekânsal paterni hem global hem de lokal Kriging yöntemleriyle ortaya konulmuştur. Yağış değişiminin global ve lokal Kriging yöntemleriyle modellenmesinde mekânsal enterpolasyon tekniklerinden Ordinary Kriging tekniği kullanılmıştır. Elde edilen tahmin haritalarının doğruluğu Çapraz Geçerlilik (Cross-Validation) yöntemiyle test edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmanın sınırları içinde lokal enterpolasyon modelleri yağış gibi alansal dağılımında büyük farklılıklar gösteren bir iklim elemanının mekânsal paternini

iyi yansıtmaktadır. Yağışın mekânsal dağılışı haritalarının oluşturulmasında Ordinary Kriging tekniğı de güvenle kullanılabilecek enterpolasyon yöntemlerindendir. Bu sebeple, belirli noktalardan elde edilmiş meteoroloji verilerin mekânsal enterpolasyonu ve bu enterpolasyonun doğruluk ve hassasiyetini gösterecek yöntemlerin uygulanması klimatoloji çalışmalarında önemli bir konuyu oluşturmaktadır.



ABSTRACT

Spatial modelling of environmental variables is an indispensable part of environmental studies. To predict environmental variables and to understand its complex structure particularly crucial in developing strategies and plans. Thus, researchers in this field, have tried to find environmental models explaining environmental variables such as climatological characteristics, hydrological processes, ecosystem, and biochemical cycles. Besides many environmental variables, climatological variables, especially precipitation, have an impact on hydrological studies, prediction of flood and drought, prediction of underground and surface water sources, pollution of water sources, and issues related to air pollution. Therefore, a number of spatial interpolation techniques ranging from simple to complex have been proposed predicting precipitation variables. In this study, 228 rain gauge data, obtained from 1975 to 2010, were used to assess spatial pattern of Turkey's mean annual precipitation using both global and local interpolation techniques. For this purpose among various spatial interpolation techniques, Ordinary Kriging was used in global or local manner. Model performance was measured using Cross-Validation technique. As a consequence, with in the limitation of this study local interpolation models have better reflected spatial pattern of climatological variable such as highly spatially variable precipitation data. Ordinary Kriging interpolation technique might be used confidently to produce spatial distribution map of precipitation. For this reason, interpolation of sparse

climatological data, verification and precision of interpolation results are important issues in climatological studies.

