

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

ŞEHİR TAŞKIN MODELLEMESİ: BODRUM ÖRNEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Nussaibah Begum RAJA

ANKARA-2016

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

ŞEHİR TAŞKIN MODELLEMESİ: BODRUM ÖRNEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Nussaibah Begum Raja

TEZ DANIŞMANI

Yrd. Doç. Dr. Olgü AYDIN

ANKARA-2016

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

ŞEHİR TAŞKIN MODELLEMESİ: BODRUM ÖRNEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Nussaibah Begum RAJA

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Olgu AYDIN

Tez Jürisi Üyeleri

Adı ve Soyadı

İmzası

Prof. Dr. Ülkü Eser ÜNALDI



Doç. Dr. Nedra TÜRKÖĞLÜ



Yrd. Doç. Dr. Olgu AYDIN

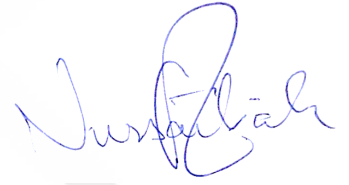


Tez Sınavı Tarihi ... 29. 07. 2016

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.

(01/08/2016)



Nussaibah Begum RAJA

ÖNSÖZ

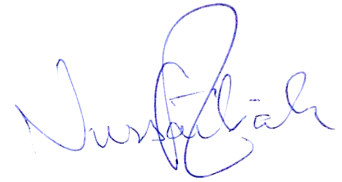
Türkiye'nin Muğla ili, Bodrum ilçesinde, 23 Eylül 2015'de büyük hasara yol açmış şehir sel olayını, Yapay Sinir Ağ yöntemi ile sel tahmini ve erken uyarı sağlama amacıyla yapılan bu çalışma, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Son dönemlerde, Yapay Sinir Ağ yöntemleri pek çok disiplinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Dünyada özellikle fiziki coğrafya bölümlerinde, bu teknikler mekânsal/coğrafi araştırmalar için en çok başvurulan yöntemler 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 olaylarının, sel ve buna benzer beraberinde getirdiği önemli felaketleri en doğru şekilde tahmin edebilmektir. Bu gibi felaketlere önceden hazırlık olmak önemlidir. Bundan dolayı, erken uyarı ve izleme sistemleri gibi yeni girişimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yapay Sinir Ağ ve diğer yapay zekâ tabanlı hesaplama yöntemleri ani sel tahminlerinin yapılması ve seller sonucu oluşan zararların azaltılmasında önemli yeni girişimlerden biridir. Bu mekânsal/coğrafi araştırma, başka disiplinler ve coğrafyacılar tarafından yapılacak araştırmalara önemli bir altlık oluşturabileceği düşüncesiyle hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans tezimin bu noktaya gelmesinde büyük emekleri olan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK, Doç. Dr. Necla TÜRKOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Olgu AYDIN'na çok teşekkür ederim. Bu araştırmanın hazırlanması sırasında değerli görüş ve önerilerini esirgemeyen, her aşamasında bana yardımcı olup, tezimi çevirmeme büyük katkı sağlayan değerli danışman hocam Dr. AYDIN'a sonsuz teşekkür ediyorum. Hızlı ve

en güzel şekilde değerlendirip, çalışmamın şekillenmesinde bk emek vermiş olan Dr. ÇİÇEK ve Dr. TüRKOğLU hocalarıma ayrıca minnetlerimi sunmak istiyorum.

Bu çalışmamın, bu konuya ilgi duyan diğer araştırmacılaraya faydalı olması en bk dileğimdir.



Nussaibah Begum RAJA

2016

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
1 GİRİŞ	1
1.1 Arka Plan ve Araştırmanın İçeriği	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Hedefleri.....	6
1.3 Yağış Modellemesine Genel Bakış.....	8
1.3.1 Enterpolasyon Yöntemlerinin Aylık ve Yıllık Yağış Üzerine Çalışmaları.....	8
1.3.2 Enterpolasyon Yöntemlerinin Günlük Yağış Üzerine Çalışmaları	10
1.3.3 Enterpolasyon Yöntemlerinin Saatlik Yağış Üzerine Çalışmaları.....	13
1.3.4 Mekânsal-Zamansal Enterpolasyon Yöntemlerinin Yağış Üzerine Çalışmaları.....	15
1.4 Ani Sel Modellemesine Genel Bakış.....	19
1.4.1 Yapay Sinir Ağ (YSA) Yöntemlerinin Gelişimi	25
1.4.2 Yapay Sinir Ağ (YSA) Yöntemlerinde Verinin Ön İşlenmesi, Girdi Değişkenlerinin Seçimi ve Belirsizliğin Belirlenmesi	31
2 VERİ VE YÖNTEM.....	35
2.1 Çalışma Alanının Genel Özellikleri	35
2.2 Çalışmada Kullanılan Veri Seti	39
2.3 Çalışmada Kullanılan Programlar.....	42
2.4 Çalışmanın Aşamaları	43
2.5 Çalışmada Kullanılan Yöntemler	45
2.5.1 Kriging	45

2.5.2	Yapay Sinir Ağı (YSA)	59
2.6	Model Değerlendirmesinde Performans Ölçümleri	69
3	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	73
3.1	Kriging Sonuçları	73
3.1.1	Verinin Açıklanması.....	73
3.1.2	Yarıvარიogram Analizi.....	79
3.1.3	Kriging Analizi Sonuçları.....	87
3.1.4	Performans Değerlendirmesi	90
3.1.5	Genel Değerlendirme	96
3.2	YSA Sonuçları	103
3.2.1	YSA'nın Genel Değerlendirme	109
4	SONUÇ	113
	KAYNAKÇA.....	116
	ÖZET	138
	ABSTRACT	141

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Çalışma alanında kullanılan istasyonların dağılışı.....	37
Şekil 2. 23 Eylül 2015 tarihli yağış hidrografi.....	39
Şekil 3. Bodrum ilçesinde belirlenmiş önemli şehir lokasyonları	42
Şekil 4. Çalışmanın akış diyagramı.....	44
Şekil 5. Türkiye’de 1976–2010 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel yarıvariograma (veri noktaları) oturtulması durumunda elde edilen teorik yarıvariogram (düz çizgi) modelinin gösterimi	47
Şekil 6. (a) Mekânsal yarıvariogram haritası, (b) her adım mesafesi için zamansal yarıvariogram, (c) Türkiye’nin 1976–2010 yıllık ortalama toplam yağışın, 5 yıllık zamansal adım mesafeleri ile, mekânsal-zamansal yarıvariogramının 3D tel kafes gösterimi örneği.....	52
Şekil 7. Sadeleşmiş iki katlı bir ağ örneği.....	61
Şekil 8. Çok katmanlı YSA yapısı	62
Şekil 9. Global ve yerel minimum hataların gösterimi	64
Şekil 10. 23 Eylül 2015, Muğla ilindeki meteoroloji istasyonları için saatlik ortalama yağış değerleri (mm)	75
Şekil 11. 22–23 Ekim 2015, Muğla ilindeki meteoroloji istasyonları için saatlik ortalama yağış değerleri (mm)	76
Şekil 12. Orijinal ve dönüşüm uygulanmış saatlik ortalama yağışın (mm) histogramı (a) 23 Eylül 2015 saatlik ortalama yağış (mm); (b) 22–23 Ekim 2015 saatlik ortalama yağış (mm)	77
Şekil 13. Orijinal ve dönüşüm uygulanmış saatlik ortalama yağışın (mm) histogramı (a) 23 Eylül 2015 saatlik ortalama yağış (mm); (b) 22–23 Ekim 2015 saatlik ortalama yağış (mm)	78

Şekil 14. (a) Mekânsal yarıvariogram haritası; (b) her adım mesafesi için zamansal yarıvariogram; (c) 23 Eylül 2015 saatlik ortalama yağışın bir saat zamansal adım mesafesi ile, mekânsal-zamansal yarıvariogramının 3D tel kafes gösterimi	85
Şekil 15. (a) Mekânsal yarıvariogram haritası; (b) her adım mesafesi için zamansal yarıvariogram; (c) 22–23 Ekim 2015 saatlik ortalama yağışın bir saat zamansal adım mesafesi ile, mekânsal-zamansal yarıvariogramının 3D tel kafes gösterimi	86
Şekil 16. Muğla ili, 23 Eylül 2015’de her saat adım mesafesi için oluşturulmuş saatlik ortalama yağışın (mm) mekânsal dağılımı	88
Şekil 17. Muğla ili, 22–23 Ekim 2015’de her saat adım mesafesi için oluşturulmuş saatlik ortalama yağışın (mm) mekânsal dağılımı	89
Şekil 18. Muğla ilinde 23 Eylül 2015 için saatlik ortalama yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (Leave One Out) yöntemiyle elde edilen hata haritaları	91
Şekil 19. Muğla ilinde 22–23 Ekim 2015 için saatlik ortalama yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (Leave One Out) yöntemiyle elde edilen hata haritaları	92
Şekil 20. 23 Eylül 2015’de tahmin edilen değerlerle gözlemlenen değerler arasındaki regresyon modeli.....	93
Şekil 21. 22–23 Ekim 2015’de tahmin edilen değerlerle gözlemlenen değerler arasındaki regresyon modeli	94
Şekil 22. 23 Eylül 2015 tarihine ait meteorolojik haritalar; (a) yer haritası; (b) 850 hPa jeopotansiyel yükseklik haritası; (c) 500 hPa jeopotansiyel haritası; (d) 24 saatlik toplam yağış miktarı haritası.....	99
Şekil 23. 22 Ekim 2015 tarihine ait meteorolojik haritalar; (a) yer haritası; (b) 850 hPa jeopotansiyel yükseklik haritası; (c) 500 hPa jeopotansiyel yükseklik haritası; (d) radar görüntüsü	100
Şekil 24. 23 Ekim 2015 tarihine ait meteorolojik haritalar; (a) yer haritası; (b) 850 hPa jeopotansiyel yükseklik haritası; (c) 500 hPa jeopotansiyel yükseklik haritası; (d) 24 saatlik yağış miktarı haritası	101

Şekil 25. Çalışmada kullanılan YSA modelinin şematik gösterimi	103
Şekil 26. 23 Eylül 2015 için doğrulama veri seti kullanılarak, gereken süre 1, 3 ve 6 saatler için gözlemlenen ve tahmin edilen akış değerlerinin karşılaştırılması.....	107
Şekil 27. 22-23 Ekim 2015 için bağımsız test veri seti kullanılarak, gereken süre 1, 3 ve 6 saatler için gözlemlenen ve tahmin edilen akış değerlerinin karşılaştırılması.....	108



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan istasyonların özellikleri	41
Çizelge 2. RM için kullanılan akış katsayıları.....	60
Çizelge 3. Muğla ilinde 22 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015 tarihlerindeki saatlik ortalama yağış değerleri için tanımlayıcı istatistik sonuçları (mm).....	77
Çizelge 4. Yağış bağımlı değişkeni ve yükseklik, kıyıya uzaklık yardımcı değişkenleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları.....	79
Çizelge 5. 23 Eylül 2015, mekânsal-zamansal deneysel yarıvariogram sonuçları.....	81
Çizelge 6. 22-23 Ekim 2015, mekânsal-zamansal deneysel yarıvariogram sonuçları	83
Çizelge 7. Teorik yarıvariogram sonuçları	84
Çizelge 8. 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015 hata ölçüm değerleri	95
Çizelge 9. YSA modeli ile gözlemlenen ve hesaplanan akışların tanımlayıcı istatistik sonuçları	105
Çizelge 10. 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015, gözlemlenen ve tahmin edilen akış değerlerine ait istatistik hata oranları	105

KISALTMALAR LİSTESİ

ARMAX	Eksojen Girdili Autoregressive Moving Average Model
MOENN	Multi Objective Evolutionary Neural Network
SAC-SMA	Sakramento Toprak Nem Hesaplama
ANFIS	Adaptive Nöro-Fuzzy Inference System
BNN	Bootstrap-based Neural Network
MLR	Çoklu Doğrusal Regresyon
CK	Co-Kriging
RBFN	Dairesel Tabanlı İşlev Ağı (Radial Basis Function Network)
SST	Deniz Yüzey Sıcaklıklarını (Sea Surface Temperature)
DSİ	Devlet Su İşleri
NN	En Yakın Komşu (Nearest Neighbour)
TBP-NN	Geçici Geri yayılım Ağı (Temporal Backpropagation Network)
GA	Genetik Algoritma
GWR	Geographic Weighted Regression
BP	Geri yayılım (Backpropagation)
IKED	Indicator Kriging with External Drift
IDW	Inverse Distance Weighting
SOM	Kendinden Organize Olan Harita (Self-Organising Map)
PMI	Kısmi Karşılıklı Bilgi (Partial Mutual Information)
KED	Kriging with External Drift
RM	Mantıksal Method (Rational Method)
MAE	Mean Absolute Error
ME	Mean Error

MNN	Modüler Sinirsel Ağ (Modular Neural Networks)
MWR	Moving Window Regression
MLP	Multilayer Perceptron
NN	Nearest Neighbourhood
OK	Ordinary Kriging
RMSE	Root Mean Squared Error
SK	Simple Kriging
SKlm	Simple Kriging with Local Means
RK	SKlm ve Regression Kriging
PI	Spline, Polynomial Interpolation
SANE	Symbiotic Adaptive NeuroEvolution
TP	Thiessen Polygon
TPS	Thin Plate Spline
UK	Universal Kriging
DBM	Veri Tabanlı Mekanistik (Data Based Mechanistic)
YSA	Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Networks)

1 GİRİŞ

1.1 Arka Plan ve Araştırmanın İçeriği

Günümüzde dünyanın farklı bölgelerinde yaşayan insanlar farklı tür afetlerle karşı karşıyadır. Bu afet türleri insanları olumsuz olarak etkilemekte, can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Dünya üzerinde oluşan bu afetlerin %40'ını sel oluşturmaktadır (NatCatSERVICE, 2016; EM-DAT, 2016). Hidrolojik olaylardan kaynaklanan toplam kayıp, 2015 yılında yaklaşık 28 milyar ABD doları olarak hesaplanmıştır. Bu kaybın büyük çoğunluğunu da sel oluşturmuştur. Sel, özellikle uzun süreli yağışlar ya da şiddetli ve ani yağışlardan sonra meydana gelmektedir (IPCC, 2012). Bu yüzden sel, meteorolojik karakterli afetler içinde en yaygın görülenidir. Seli konu alan bazı çalışmalar, dünyada belirli bölgelerde sellerin sıklığının arttığını, Kuzey Amerika ve Avrupa'nın bazı bölgelerinde ise azaldığını göstermektedir (Hirabayashi, vd., 2013). IPCC (2012) raporuna göre, istatistiksel olarak aşırı yağış olayları çok sayıda bölgelerde artmıştır. Bu da yağışlardan kaynaklı ani şehir seli gibi olayları etkilemiştir (Kundzewicz, vd., 2014). Bununla birlikte, sel riski olan bölgelerdeki nüfus artışı ve şehirleşme de selin oluşmasına yol açan önemli bir faktördür. Hızlı şehirleşme ile birlikte, doğal drenaj ağının yapay değişimi, yağış yoğunluğundaki ve akış katsayılarındaki değişim, yani bir kaynağa giriş yapan yağış miktarı, şehir alanlarındaki sel riskini tetikleyen önemli ana çarpanlar olarak tespit edilmiştir (Wu, vd., 2012). Birçok Avrupa ülkesindeki şehir alanlarında, özellikle Akdeniz kıyılarında sellerde artış görülmektedir (Patacchini, vd., 2009). Şehirleşmedeki artış, toprağın sızma kapasitesinin azalmasına, geçirgen olmayan yüzeylerin artmasına yol açmaktadır (Scalenghe ve Marsan, 2009). Şehirleşme aynı zamanda ormanların ve bataklıkların azalmasına yol açarak, sele tampon görevi yapan ekosistemlerin azalmasına neden

olmaktadır (Bradshaw, vd., 2007). Kırsal ve/veya ormanlık arazilerle kıyaslandığında su depolama alanları az olduğundan, şehir alanlarında akış katsayısı değeri yüksektir (Kundzewicz, 2012). Sonuç olarak, benzer boyut ve topografyadaki şehirselle ve kırsal havzaların aynı miktardaki yağışa farklı tepki vermesi kaçınılmazdır. Şehirleşme süreçleri taşkınların oluşmasına da yol açmakta ve bazı durumlarda yetersiz drenaj planlaması, o şehirdeki nüfusun sele maruz kalmasına, can ve mal kaybına neden olmaktadır (IPCC, 2012). Sel riski ile mücadele etmek için şehirlerdeki tüm drenaj ağları, şiddetli yağışı, yani kabul edilen yağış değerinden daha yüksek yağış miktarını kaldırabilecek kapasiteye sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır (Henonin, vd., 2013). Bu planlamada, şehir gelişimi ve iklim değişikliği gibi faktörler genellikle göz ardı edilir. Hatta büyük yapısal değişiklikler şehir drenaj ağlarının gelecekteki yağış miktarı ile başa çıkabileceğini garanti etmemektedir.

Son yıllarda sel tehlikesi ile karşı karşıya kalan bölgelerde, erken sel uyarı ve tahliye sistemleri gibi selden korunma ve afet yönetim tedbirlerinde önemli artış olmuştur. Bu artış, sele olan zafiyeti, can ve mal kaybını azaltmıştır. Erken uyarı sistemleri sayesinde sel olma riski olan alanlar tahliye edilerek can kaybı önlenmekte, ancak altyapı ve zirai ürünler risk altında kalmaktadır. Bu yüzden şehirlerde altyapı gelişimindeki artış, ekonomik riskteki hızlı artışı da beraberinde getirmektedir.

Sel, Akdeniz Havzası ve çevresindeki en önemli doğal felakettir (Gaume, vd., 2009; Llasat, vd., 2010; Camarasa-Belmonte ve Soriano-García, 2012). Akdeniz’de gözlemlenen ve iklim değişikliğinden kaynaklanan aşırı yağış, (Bolle, 2012; Hertig, vd., 2014) sel ve taşkınların artmasına neden olmuştur (EM-DAT, 2016). Sel, genellikle 1.000 km²’den küçük alanları etkilemekte, yerel oluşan konvektif kaynaklı kısa ve şiddetli yağışlarla ilişkili olarak, birkaç saat ya da daha az tepki süresine sahip

olmaktadır (Marchi, vd., 2010). Selin tepkime süresi, belirli havzaların büyüklüğüne ve aynı zamanda havza alanının yüzey akışına bağlıdır. Akdeniz’de görülen diğer sel türü, siklonik olaylardan, orta enlem depresyonlarından ve birkaç saat ile birkaç gün süren fırtınalarla ilişkili şiddetli yağışların yol açması sonucu oluşmaktadır (Kömüscü ve Çelik, 2013).

Akdeniz Havzası ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu, farklı zaman aralıklarını kapsayan yağış dağılışı analizlerini konu almaktadır (Brunetti, vd., 2006; De Luis, vd., 2009; Türkeş, vd., 2009; Río, vd., 2011; Philandras, vd., 2011; Gualdi, vd., 2012; Lionello, 2012). Akdeniz Havzası’nda siklojenezden kaynaklı yoğun yağış sonbahar ve kışın gözlemlenmektedir (Trigo, vd., 2000; Kouroutzoglou, vd., 2011; Flaounas, vd., 2013). Goubanova ve Li (2007) Akdeniz Havzası için gerçekleştirdikleri aşırı yağış ve sıcaklık modellerinin de, yaz mevsimi dışında, tüm mevsimlerde aşırı yağış miktarının arttığını öngörmüşlerdir. Buna karşın toplam yıllık yağış miktarında bir azalma vardır. Ayrıca iklim daha sıcak olmuştur. Kelley vd. (2012) Akdeniz Havzası’nda yağış dağılışının sonbahar dönemi için daha nemli olduğunu belirtmiştir. Bu, sonbahar döneminde alanda aşırı yağış miktarının artışıyla ilişkilidir (Kelley, vd., 2012).

Akdeniz Havzası selleri, kısa sürede çok miktarda yağış oluşturan şiddetli sonbahar fırtınaları ile karakterize edilir (Gaume, vd., 2009; Marchi, vd., 2010; Kyselý, vd., 2012). Tarolli vd. (2012) Batı Akdeniz’i (İspanya, Fransa, İtalya), Doğu Akdeniz’i (Yunanistan, Türkiye, İsrail) içine alan çalışmada, ekstrem olaylardan kaynaklı yağış miktarlarının, 24 saatte 5,4 mm-693 mm (havzanın alansal ortalaması) arasında değiştiğini söylemiştir. Sel iki gruba ayrılmaktadır: (i) Fırtına da dâhil olmak üzere, Batı Akdeniz’de 10–24 saat arasında süren maksimum yağış miktarı 693 mm olan olaylar; (ii) Fırtına da dâhil olmak üzere, Doğu Akdeniz’de kurak veya yarı-kurak iklimde

meydana gelen ve 10 saate kadar süren, ortalama 100 mm'den daha az yağışa sahip olan olaylardır. Bu olaylar, Batı Akdeniz Havzası'nda, ağustos–kasım arasında, Doğu Akdeniz Havzası'nda ise, ekim–mayıs arasında çeşitlilik göstermektedir.

Akdeniz siklonlarının ana merkezi olan Ege Denizi'nin de içinde yer aldığı Doğu Akdeniz Havzası'nda (Yunanistan ve Türkiye'yi kapsamaktadır), küresel ısınma etkisiyle gerçekleşen aşırı yağışlar, sel sıklığının giderek artmasına neden olmuştur (Alpert, vd., 2004; Diodato ve Bellocchi, 2010). Akdeniz siklonları, 24 saat içinde en az ortalama 1 hPa hr⁻¹ merkez basınç oranının düşmesiyle, sıradan olan siklon olaylarından ayırt edilebilir bir özelliğe sahiptir (Kouroutzoglou, vd., 2013). Akdeniz siklonları ilk olarak Cenova Körfezi ve Adriyatik Denizi'nde oluşmasına rağmen, maksimum yoğunluğu Ligurya ve Ege Denizi'nde olmak üzere genellikle Akdeniz'in kuzey kıyılarında gözlemlenmektedir. Akdeniz'de siklon gelişiminin varlığı da, Akdeniz kıyılarının yüksek orografik koşulları, koyların ve iç denizlerin varlığı ile ilişkilidir (Trigo, vd., 2002). Ege Denizi üzerinde siklojenez Akdeniz'in kuzey kıyılarında yoğunlaşan ve nispeten ılık su havzası üzerindeki üst çukurun hareketi sonucunda meydana gelir. Oluşan bu siklojenez güçlü baroklinik etkisine sahip ve maksimum yağışın oluşmasına neden olmaktadır.

Sel riskini azaltmak için yapısal ve/veya yapısal olmayan tedbirler içeren stratejiler geliştirilmektedir. Tehlikenin etkisini azaltan veya tehlikeden kaçınmayı sağlama amacı güden fiziki yapılar veya sistemlerde tehlikeye karşı direnci ve esnekliği artıran mühendislik teknikleri, bina barajları, setleri ve banketlerinin tamamı yapısal tedbirler olarak bilinir. Kamusal bilinç, yönetmelikler ve hukuk, eğitim gibi fiziki olmayan tedbirler yapısal olmayan tedbirleri oluşturur. Ancak, özellikle yoğun nüfusa sahip bölgelerde bu stratejilerin çok etkili olmadığı görülmektedir (Sun, vd., 2012). Sel felaketinin önlenmesi için, daha etkili stratejilerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. İzleme,

haberleşme, erken uyarı tahmin sistemi tasarlama ve tesis etme ihtiyacı vardır. Bu yüzden, tahliye tedbirlerinin uygulanması, insan hayatını tehlikeye atabilecek risklerin minimum seviyeye indirilmesi için, yerinde ve kesin sel uyarılarına sahip olmak gerekir. Ani selin izlenmesi ve tahmini, mekânsal ve zamansal boyutları dikkate alındığında da zordur (Borga, vd., 2008). Avrupa’da meydana gelen 25 büyük seli araştıran Marchi vd. (2010) meydana gelmiş bu sellerin hemen hemen yarısının geleneksel ölçümlerle belgelendiğini göstermişlerdir. Araştırmacılar, sellerin meydana geldiği havzanın iyi ölçülmediği veya akarsu ölçüm yapılarının sel sırasında hasar gördüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca, yoğun yağış ölçüm ağlarının bulunduğu alanda meydana gelen ani selin, mekânsal ve zamansal boyutları, yağış ölçüm ağının verdiği örneklerden daha küçüktür. Bu, yağış tahminlerinde yanlışlığa yol açmaktadır (Anagnostou, vd., 2006). Bu yüzden geçmişte yaşanan seli anlama ve ders alma süreci gözlemlemenin kısıtlılığı, ani sel oluşumunu belirlemeyi engellemektedir. Etkili bir uyarı sistemi, karar vericiler ve yerel müdahale birimlerine, sel kaynağının yerel özellikleri gibi bilgilerin temin edilebilmesine olanak sağlar. Böylece, ani sel için müdahale ve gerekli önleyici tedbirlerin alınması mümkün olabilir (Yang, vd., 2015). Ani selin kısa süreli zamansal boyutu verildiğinde, olaydan 12–24 saat öncesinde devreye girecek erken uyarı sistemi, olayın anlık tahmininin yapılmasını gerçekleştirir (Chen, vd., 2013; Marty, vd., 2012).

Türkiye; topografik yapısının yüksek ve engebeli oluşu, jeolojik yapı ve toprakların erozyona karşı hassasiyeti, yarı kurak iklim şartlarının karakteristik özelliklerine sahip olması, şiddetli sağanak yağışlar sebebiyle, erozyon ve sel felaketine oldukça hassas bir yapıda bulunmaktadır. Bu gibi sebeplerden dolayı, Türkiye’deki coğrafi bölgelerimizde değişik zamanlarda pek çok kişinin çeşitli şekillerde zarar gördüğü birçok sel ve taşkın olaylarına rastlanmıştır. Türkiye kıyılarında büyük can ve mal kaybına sebep olan seller,

aşırı yağışların oluşmasından kaynaklanır (Kömüşcü ve Çelik, 2013; Kömüşcü, vd., 2011). Bu aşırı yağışlar, yüzey yakınsamasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzey yakınsaması ise, orografik ve frontal etkinin doymuş hava kütlelerini kaldırmasından dolayı ortaya çıkar. Bölgede ormanların büyük oranda tahrip edilmesi, sel riski oranlarının artmasını tetiklemektedir (Kuvan, 2010). Ege kıyıları gibi sele yatkın alanlar, ülke için ilgi çekici sosyo-ekonomik merkezler olarak kalmaktadır ve bunun sonucu olarak gelecekte, Türkiye'nin en önemli ekonomik alanlarından biri olan turizme olan olumsuz etkileri artarak devam etmektedir (Keskin, 2012; Gunduz ve Hatemi-J, 2005; Katircioglu, 2009; Akkemik, 2012). Ege Bölgesi'nde yer alan Muğla ilinin Bodrum ilçesinde 23 Eylül 2015 tarihinde meydana gelen sel, son 30 yılda gerçekleşen önemli meteorolojik kökenli afetlerden biridir. Bu nedenle çalışmada konu olarak söz konusu afet seçilmiştir. Bu tarihte gerçekleşen sel, binlerce evin hasar, yol ve şehrin altyapısının önemli ölçüde zarar görmesine neden olmuştur. Ayrıca, 10 kişi yaralı olmak üzere yaklaşık 100 kişi bu olaydan etkilenmiştir (Hürriyet Gazetesi, 2015). Bu yüzden sel tehlikesi ile mücadele, kamu güvenliği, yaşam kalitesi ve Ege Bölgesi'ndeki ekonomik faaliyetlerin idamesi için kritik bir konu olmuştur.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Hedefleri

Bu çalışmanın amacı, (a) Türkiye'nin Ege Bölgesi'nde yer alan turizm için cazibe merkezlerden biri olan Bodrum ilçesi için, ani sele yol açan şiddetli yağışları analiz etmek; (b) gerekli tedbirlerin alınabilmesinde doğru ve zamanında uyarılar verebilen ani sel tahmin modeli tasarlamak; (c) Bodrum ilçesi için yapılan bu çalışmanın Türkiye'nin ani sel riski taşıyan diğer şehirleri için de uygulanabilirliğini gösteren bir

tahmin modeli oluşturmaktır. Bu çalışmanın amacına aşağıdaki hedefler ile ulaşılacaktır.

- (1) Yağış ile mekânsal-zamansal Kriging ve yağış-akışla ilişkili YSA modeller hakkındaki akademik çalışmaları inceleyerek değerlendirmek,
- (2) Mekânsal-zamansal Kriging analizi sonucu elde edilen yağış tahmini kullanılarak, Bodrum ilçesi için YSA yağış-akış modelini geliştirmek,
- (3) Mekânsal-zamansal Kriging ve YSA modelleri için model performansını değerlendirmede kullanılan performans ölümlerini incelemek,
- (4) YSA modelinin adaptasyonu hakkında görüşlerin sunulması, araştırmanın sınırlılıklarının belirtilmesi ve ileri çalışmalar için önerilerde bulunmaktır.

1.3 Yağış Modellemesine Genel Bakış

Zhou vd. (2007) bibliyografik analize dayanarak, yerbilimi, çevre bilimi, su kaynakları ve klimatoloji, tarım/toprak bilimi, ekoloji, petrol mühendisliği ve gökbilimi alanlarının (çok sayıda araştırma makalelerine göre), jeoistatistik yöntemlerini sık kullanan bilim dalları olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle son yıllarda jeoistatistik yöntemlerin iklim haritalandırılmasında kullanımı artmıştır (Aydin ve Çiçek, 2015). Elde edilen ölçüm değerleri (örneğin sıcaklık veya yağış için) arasındaki mekânsal-zamansal korelasyon yapısının gösterilmesi ve doğru tahmin sonuçlarının sağlanması, deterministik metodlarla kıyaslandığında önemli bir avantaj sağlamaktadır (Zeng, vd., 2013).

1.3.1 Enterpolasyon Yöntemlerinin Aylık ve Yıllık Yağış Üzerine Çalışmaları

Aylık veya yıllık zaman verisi kullanılarak yağış tahmininin deterministik ve jeoistatistik yöntemlerle gerçekleştirildiği çok sayıda çalışma vardır. Tabios III ve Salas (1985) mühendislik hidrolojisinde farklı mekânsal enterpolasyon tekniklerini kullanmışlardır. Hidrolojide en önemli problemlerden biri örneklenmemiş noktaların olmasıdır. Bu noktaların tahmininin yakın alanlarda ölçülen verilerin mekânsal enterpolasyonu ile yapılabileceğini belirtmişlerdir. Yıllık yağış tahminleri için TP, Classical Polynomial Interpolation with the Least Squares Method (Lagrange Approach), IDW, Quadratic Interpolation, Optimal Interpolation and Kriging gibi çok sayıda enterpolasyon yöntemlerini kullanmışlardır. Optimal enterpolasyon ve Kriging tekniklerinin diğerlerine göre daha iyi tahminler verdiği sonucuna varmışlardır. Abtew vd. (1993) mekânsal enterpolasyon için kullanılan altı farklı yöntemi incelemişlerdir. Güney Florida'da 185*185 km²'lik bir alanda noktasal ve alansal aylık yağış tahminleri

yapmışlardır. Sonuçlar değerlendirildiğinde optimal enterpolasyon ve Kriging metodlarının diğerlerine göre daha avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır. Goovaerts (2000) Portekiz’de 5.000 km²’lik bir alanda, 36 istasyondan elde edilen yıllık ve aylık yağış ölçümlerini kullanarak, yağışın mekânsal tahmini için üç çok değişkenli jeostatistik algoritmasını (SK, KED ve CK), sayısal yükseklik modeli ile ele almıştır. Bu üç jeostatistik algoritmasının, diğer enterpolasyon yöntemlerinden, özellikle doğrusal regresyondan çok daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Çalışmasında yağışın, yükseklik değişkeni ile olan ilişkisinin önemini vurgulamıştır. Lloyd (2005) İngiltere’de, ölçümlerin az olduğu havzadan elde ettiği aylık yağış verisini, yükseklik yardımcı değişkeni ile birlikte, IDW, OK ve KED enterpolasyon yöntemlerini kullanarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. KED’in, mart ayından aralık ayına kadar olan aylar için doğru yağış tahminleri, OK’nın ocak ve şubat ayları için doğru yağış tahminleri yaptığını belirtmiştir. Diodato (2005) Güney İtalya’daki dağlık bölgede, 51 istasyonun yağış ölçümlerini kullanarak bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında, yağışın topografya etkisini araştırmıştır. OK yöntemiyle birlikte, yıllık ve mevsimsel yağışın enterpolasyonu için yükseklik verisi ve topografik indeks yardımcı değişkenleri kullanarak CK yöntemi uygulamıştır. CK’nın yeryüzü şekillerinin birkaç özelliğini hesaba katma yeteneğine sahip, çok esnek ve güvenilir bir enterpolasyon yöntemi olduğu sonucuna varmıştır. Moral (2010), İspanya’nın güney batısında bulunan Extremadura’da 136 meteoroloji istasyonundan elde edilen aylık ve yıllık yağış verilerini kullanarak, yağışın enterpolasyonu üzerine farklı jeostatistik tekniklerini karşılaştırmıştır. Çok değişkenli algoritmalar, en düşük tahmin hatalarını vermiştir. Yüksekliğin hesaplamalarda dikkate alınmasının daha doğru aylık ve yıllık yağış haritaları oluşturmaya yardımcı olduğunu göstermiştir. Frazier vd. (2016) Hawai Adaları’nda gerçekleştirdikleri çalışmalarında,

aylık-yıllık yağışın mekânsal ve zamansal enterpolasyonunu jeostatistik yöntemleri kullanarak karşılaştırmışlardır. Kriging algoritması olan OK, CK ve ikincil veri olarak yüksekliği kullanan KED analizleri üzerine yoğunlaşmışlardır. OK'nın en az hata istatistiği ürettiğini gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde Kumari vd. (2016), Hindistan Himalayalar'da bir bölgede, yağışı haritalamak için bazı mekânsal enterpolasyon metodlarını kullanmışlardır. IDW ve OK tek değişkenin kullanıldığı yöntemleri, SK, RK ve CK çok değişkenin kullanıldığı yöntemleri oluşturmuştur. Çok değişkenli yöntemlerde, yükseklik ve eğimi yardımcı değişkenler olarak analizlere dâhil etmişlerdir. Dağlık bölge için yardımcı değişkenin kullanıldığı SK enterpolasyon yönteminin daha doğru yağış tahmin sonuçları verdiği sonucuna varmışlardır.

Aylık ve yıllık yağışın haritalandırılmasında mekânsal enterpolasyon yöntemlerinden jeostatistik metodların genellikle deterministik metodlardan daha iyi sonuçlar verdiği, yüksekliğin yardımcı değişken olarak kullanıldığı çok değişkenli jeostatistik yöntemlerin ise daha doğru tahminler yaptığı incelenen çalışmalarda çok açık bir şekilde görülmektedir.

1.3.2 Enterpolasyon Yöntemlerinin Günlük Yağış Üzerine Çalışmaları

Jeoistatistik metodlar bazı çalışmalarda günlük yağışın mekânsal enterpolasyonu için kullanılmıştır. Creutin vd. (1988), Paris'in bölgesel yağışlarındaki on bir günlük olayları incelemek için yağış ölçüm-radar kombinasyonunu, jeostatistik yöntemler kullanarak araştırmışlardır. Radar verisinin CK'nın performans değerini yükselttiği sonucuna varmışlardır. Beek vd. (1992) Kuzeybatı Avrupa'daki günlük yağış miktarının mekânsal değişkenliği üzerine gerçekleştirdikleri çalışmalarında, Kriging tekniklerini

uygulamışlardır. 1984 yılına ait dört günlük yağış verisi kullanarak, meteorolojik şartlarla olan ilişkisini araştırmışlardır. Araştırma alanını kıyısız, dağlık ve iç alanlar olmak üzere üç bölgeye ayırmışlardır. Bu yapılan ayırım, enterpolasyon sonuçlarının artmasını sağlamıştır. Kyriakidis vd. (2001) Kuzey Kaliforniya'daki bir bölgede, 1 Kasım 1981 ile 31 Aralık 1982 tarihleri arasındaki mevsimsel ortalama günlük yağışı, 1 km'lik çözünürlüğe sahip olacak şekilde haritalandırmışlar ve yağışın daha doğru bir şekilde oluşturulabileceğini göstermişlerdir. Araştırmacılar, bölgesel ölçüde yağışın mekânsal dağılımını kontrol eden atmosferik ve yüzey karakteristikleri gibi hazır bulunan ve fiziksel olarak ilişkili değişkenleri kullanmışlardır. Alt-atmosferdeki değişkenler (nem ve yatay rüzgâr bileşenleri) ve yeryüzü şekilleri (hem rakım hem de yerel geçişler) arasındaki etkileşimler, orografik yağışın mekânsal dağılımının haritalanmasında önemli parametreleri oluşturmaktadır. Meteorolojik koşullar ve topografik yapıyı birlikte değerlendiren jeostatistik yöntemlerin, sadece yağış ölçüm verisine dayanan geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında, yağışın mekânsal dağılımını daha doğru temsil ettiği sonucuna varmışlardır. Yağış ölçüm istasyonlarının yoğunluğu, yağış alanının mekânsal çeşitliliği ve yağış ile yardımcı değişkenler arasındaki korelasyonun derecesi sonuçların doğruluğunu etkilemektedir. Buytaert vd. (2006) 14 yağış ölçüm verisi kullanarak, Ekvator And Dağları'nın batı sıradağlarında, yağışın mekânsal-zamansal değişimini incelemişlerdir. Bu amaç için TP ve Kriging yöntemleri kullanmışlardır. Ancak, bu çalışmadaki yağış ölçüm sayıları iyi bir yarıvariogram oluşturmada yetersiz kalmıştır. Sonuç olarak, üretilen deneysel yarıvariogramın yarıvaryans değerleri, farklı bir şekilde hesaplanmıştır. Her iki yöntemin doğruluğunu karşılaştırmışlardır. Her iki yöntemde dış parametreler dâhil edildiğinde daha doğru sonuç verdiklerini ancak, Kriging yöntemi ile elde edilen sonuçların daha doğru olduğunu belirtmişlerdir.

Schuermans vd. (2007) Hollanda için yağış tahmini yapmışlardır. OK yöntemi ve yüksek çözünürlüklü günlük yağış elde etmek için KED ve CK yöntemlerini kullanmışlardır. KED ve CK yöntemlerinde, yardımcı değişken olarak radar ölçüm değerlerini hesaba katmışlardır. Günlük yağışın mekânsal değişkenliği, 74 yağış istasyon verisi kullanılarak, 225 km, 10.000 km ve 82.875 km'lik üç mekânsal ölçekte incelenmiştir. Radar ve yağış ölçüm verisini birlikte kullandıkları KED ve OCK metodlarının, yalnız yağış ölçüm verisini kullandıkları OK'ya göre, özellikle büyük ölçekli alan için daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Carrera-Hernandez ve Gaskin (2007)'nin çalışmaları Haziran 1978–Haziran 1985 tarihlerini kapsamaktadır. Çalışma alanı olarak, Meksika havzasını ele almışlardır. Yaklaşık 200 istasyondan günlük yağış verisi temin etmişler ve farklı jeostatistik yöntemler kullanarak günlük yağışın interpolasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Günlük yağış tahmininin, yağış ile yükseklik arasında düşük korelasyon değeri olsa da, yüksekliğin ikinci değişken olarak kullanımı ile arttığını belirtmişlerdir. Wagner vd. (2012) Hindistan'daki Pune şehrinde Mula ve Mutha ırmaklarının mezo ölçekli havzasını kullanarak, günlük yağış için yedi farklı mekânsal interpolasyon yöntemi kullanmışlardır. Değişken seçiminin yağış ve akış miktarları yanında, akış olaylarının zamansal durumuna ciddi bir etkisi olduğunu gözlemişlerdir. Yang (2015), Hollanda'da 2003–2013 yılları arasında çözünürlükleri 1 km, 3 km, 8 km, 12 km ve 25 km olan günlük yağış verisinin interpolasyonu için, OK ve Thin Plate Spline (TPS) tekniklerini kullanarak analiz yapmıştır. Jeostatistik algoritması ile deterministik algoritması olan IDW'yi karşılaştırmıştır. Sonuçlar, IDW interpolasyonunun uzun süreli günlük yağış tahmini uygulamasında, yalnızca 1km, 3km ve 8km için uygun olduğunu belirtmiştir. OK ve TPS daha küçük tahmin hataları vermiştir. Bu farklı interpolasyon metodlarında ölçek faktörünün etkisini vurgulamış ve farklı interpolasyon

algoritmalarının belirli ölçeklere uygun olduğunu göstermiştir. Militino vd. (2015) 1990–2010 yılları arasında İspanya, Navarre'deki, 87 yağış ölçüm verisi kullanarak mekânsal-zamansal Kriging ve kümelenme analizi yapmışlar, günlük yağışın enterpolasyonunu araştırmışlardır. Çalışmalarında, mekânsal-zamansal Kriging analizleri ile oluşturulan üç model için de ölçülen veri ve tahminler arasında yüksek yakınlık olduğu görülmüştür. Farkları çok küçük olmasına rağmen, mekânsal-zamansal Kriging tekniği hariç, kümelenme kullanımının, tüm tahmin istasyonlarında, tahmin performansını artırdığını gözlemişlerdir. Militino vd. (2015) yağış değişkeni için, yalnızca mekânsal teknikler yerine, daha çok tercih edilen mekânsal-zamansal modelleme tekniklerinin kullanılması gereksinimini vurgulamışlardır.

Günlük yağışın hesaplanması üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, Kriging ve deterministik tekniklerinin karşılaştırılmasına yönelik araştırmalar dikkat çekicidir. Kriging metodlarının, deterministik metodlardan daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Günlük yağışın enterpolasyonu için, yardımcı değişken kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar ile mekânsal-zamansal Kriging tekniklerinin uygulandığı çalışmalarda bulunmaktadır.

1.3.3 Enterpolasyon Yöntemlerinin Saatlik Yağış Üzerine Çalışmaları

Az sayıda çalışma, büyük ölçekli aşırı yağış olaylarını, saatlik zaman dilimleri kullanarak ele almıştır. Bu çalışmada da saatlik yağış verisi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Haberlandt (2007)'ın çalışması sel olaylarına özel bir referanstır. Haberlandt saatlik yağışın mekânsal enterpolasyonunda, radar, günlük yoğun ölçüm ağı ve yüksekliği yardımcı değişken olarak kullanmıştır. Çalışmasında, KED ve Indicator

Kriging with External Drift (IKED) tekniklerini uygulamıştır. Almanya'da Elbe nehri yatağındaki ciddi bir sel baskınına yol açan ve 10-13 Ağustos 2002 tarihleri arasında meydana gelen fırtına sürecindeki verileri kullanmıştır. Çok değişkenli jeostatistik metodların yani, KED ve IKED'in, tek değişkenli metodlardan daha başarılı olduğunu göstermiştir. Yardımcı değişkenlerin birlikte kullanıldığı KED analizinin, yüksek performans değerleri verdiğini vurgulamıştır. Velasco-Forero vd. (2009), saatlik yağışa odaklanan korelogramları otomatik hesaplamak için, parametrik olmayan teknik ile radar verisini yardımcı değişken olarak kullanan üç jeostatistik metodunu karşılaştırmışlar ve KED'in en doğru sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır. Schiemann vd. (2011)'de mekânsal olarak bütün radar verisini ve dağınık gerçek zamanlı yağış ölçüm ağındaki verileri temel alarak, İsviçre'deki saatlik yağış gridlerini oluşturmada, parametrik olmayan korelogramlar ile beraber parametrik yarıvariogram modellerini kullanmışlardır. KED'in, özellikle İsviçre radar bileşiminin azaldığı dağlık bölgelerde, faydalı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Verworn ve Haberlandt (2011) saatlik yağışın mekânsal enterpolasyonu için, topografik, yoğun günlük yağış ağı ve meteorolojik radar verisini yardımcı değişken olarak kullanıp çok değişkenli jeostatistik yaklaşım olan KED yöntemini kullanmışlardır. 2000-2005 yılları arasında kuzey Almanya'da meydana gelen sel olaylarını analiz etmişlerdir. Günlük yağışın ikincil veri olarak kullanımı, kış olaylarının enterpolasyonu için tatmin edici olmuştur. Öte yandan radar verisinin, yaz olaylarında yararlı ikincil veri olduğu tespit edilmiştir. Yağış ölçümlerinin yoğunluğu, genellikle saatlik bazda kullanışlı yarıvariogram üretmek için yeterli değildir. Radar verisi, yağışın mekânsal yapısıyla ilgili bilgi sağladığından faydalı bir yardımcı değişken olmuştur. Volkmann vd. (2010) ABD'deki Sabino Kanyonu havzasında, 2006 yazı muson mevsimi döneminde, yağışı yeniden oluşturmak için, 15

dakikalık zaman dilimlerinde yedi farklı olay tanımlayıp, ikincil veri olarak radar tahminli yağış derinliğini kullanarak KED metodunu uygulanmışlardır. Belirsizliklere rağmen, mekânsal-zamansal modelin yağış dağılışındaki ana özelliklerini elde ettiğini ve böylece sel tahmin modeli için performans geliştirici olduğunu belirtmişlerdir.

Saatlik yağış çalışmaları incelendiğinde, genellikle aşırı yağışların olduğu zamanların çalışmalarda dikkate alındığı görülmektedir. Çok değişkenli jeoistatistik yöntemlerinin, özellikle KED, çoğu durumda radar verisinin yardımcı değişken olarak kullanıldığı, en sık uygulanan metod olmuştur. Genel olarak çalışmalarda, çok değişkenli jeoistatistik yöntemlerinin, tek değişkenli yöntemlere göre daha üstün geldiği görülmüştür.

1.3.4 Mekânsal-Zamansal Enterpolasyon Yöntemlerinin Yağış Üzerine Çalışmaları

Ani sel, daha küçük mekânsal-zamansal ölçeklerde meydana gelmektedir. Bu sebeple, sele neden olan yağış dağılışının araştırılması önemlidir. Küresel ölçekte yapılan çalışmalar, aşırı yağışların arttığı alanları gösterse de, kısa mesafelerde, kısa zaman zarfında oluşan yağış özelliklerindeki değişimi ele alan daha lokal alanlardaki yağış yapısındaki değişiklikleri kapsamamaktadır (Hertig, vd., 2014). Noktasal veri analizi sayesinde, lokal ve bölgesel yağışların özelliklerini incelemek mümkündür (De Lima, vd., 2015). Ancak, verilerin çözünürlüğü, kayıt tarihlerinin sınırlılığı, meteorolojik istasyon ağının seyrek bir şekilde kurulmuş olması gibi nedenler, yağışın mekânsal-zamansal ölçekte, küçük değişikliklerinin tespit edilmesinde sıkıntılara yol açmaktadır.

Bundan dolayı, mekânsal modelleme, ölçüm yapılmamış lokasyonlarda iklim parametrelerinin tahmininde önemli bir seçenektir (Ahmed, vd., 2014).

Mekânda var olan değişkenlerin enterpolasyonu için bazı mekânsal yöntemler bulunmaktadır. Bunlar deterministik ve stokastik yöntemler olarak 2'ye ayrılır. Geleneksel enterpolasyon yaklaşımları olarak bilinen deterministik yöntemler, Thiessen Polygon (TP), Inverse Distance Weighting (IDW), Spline, Polynomial Interpolation (PI), Moving Window Regression (MWR) gibi yöntemlerdir. Deterministik yöntemlere alternatif olan yaklaşımlar, stokastik yöntemler olarak bilinir. Bunlar aynı zamanda jeostatistik yöntemler olarak da ifade edilmektedir. Jeostatistik yöntemler, Kriging ve Co-Kriging metotlarını içermektedir. Bu yöntemler, bir alan veya doğrultu üzerinde düzenli veya düzensiz bir şekilde dağılmış tüm gözlem noktalarının eş zamanlı gözlemlerini kullanmakta ve zaman boyutu yanında, alansal değişkenlik boyutunu da araştırmaların içine dâhil edilebilmektedir. Gözlemlenen değerler arasındaki mekânsal korelasyon ilişkisini ölçebilmeleri ve varyans değeri sağlayabilmelerinden dolayı, jeostatistik metodları uygulamaları, deterministik metodlar yanında daha popüler olmuştur (Aydın ve Çiçek, 2015). Jeostatistik analizleri gerçekleştirilirken, ikincil değişkenlerin kullanılabilmesi, daha doğru tahmin sonuçları elde edilmesini sağlamaktadır (Goovaerts, 2000; Buytaert, vd., 2006). Li ve Heap (2011) mekânsal enterpolasyon metodlarının gözden geçirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Enterpolasyon metodlarının, çevre bilimlerindeki uygulama alanlarını göstermiş ve tartışmışlardır. Bundan başka, bazı mekânsal enterpolasyon metodlarını karşılaştırılarak yapılan çalışmalar da mevcuttur. Zhang ve Srinivasan (2009), Çin'de bulunan Sarı Irmak'taki Luohe havzasında yağışın mekânsal çeşitliliğini tahmin etmek için bazı deterministik ve jeostatistik metodları kullanmışlardır. Bu

amaçla Nearest Neighbourhood (NN), IDW, Simple Kriging (SK), Ordinary Kriging (OK), Simple Kriging with Local Means (SKlm) ve Kriging with External Drift (KED) metodlarını karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre, yüksekliği ikincil değişken olarak kullandıkları SKlm ve KED metodları, bölgenin yağış tahmininde daha doğru mekânsal tahmin sonuçları sağlamıştır. Buna benzer olarak Moral (2010)'de İspanya'nın güney batı bölgesinde Portekiz sınırındaki yağışın haritalanması için SK, OK ve Universal Kriging (UK) ile Co-Kriging (CK), SKlm ve Regression Kriging (RK) metodlarını karşılaştırmıştır. SKlm ve RK metodlarının yüksekliği yardımcı değişken olarak kullandığı analiz sonuçlarının daha doğru olduğunu belirtmiştir. Ly vd. (2011) Ourthe ve Ambleve (Belçika) için günlük yağışın mekânsal enterpolasyonunu belirlemek için yükseklik verisini yardımcı değişken olarak kullanarak, jeostatistik (OK, UK, KED ve CK) ve deterministik (TP, IDW) algoritmaları oluşturmuşlardır. Sonuçlar karşılaştırıldığında, jeostatistik enterpolasyon ve IDW algoritmalarının TP'ye göre daha iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır. KED ve CK'de yüksekliğin yardımcı değişken olarak kullanımının, günlük yağış enterpolasyonu için geliştirici bir katkı sağlamadığını belgelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda OK ve IDW'nin seçilen iyi yöntemler olduklarını belirtmişlerdir. Bostan vd. (2012) aynı zamanda Türkiye'deki yıllık ortalama yağışı haritalandırmak için Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR), OK, RK, UK ve Geographic Weighted Regression (GWR) tekniklerini karşılaştırmışlardır. Sonuçlar değerlendirildiğinde Kriging metodları, regresyon metodlarına göre daha iyi değerler vermiştir. Çalışmada, UK en iyi sonuç veren metod olarak belirlenmiştir. Mutua (2015), IDW, Küresel Polinomial Enterpolasyon, OK ve CK'yi karşılaştırarak, Kriging tekniklerinin tüm diğer metodlardan daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır.

Bir bölgeye düşen aşırı yağışların enterpolasyonu için Kriging yöntemleri başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Koutroulis ve Tsanis (2010), yağışın gerçekleşmesindeki mekânsal-zamansal dağılımı yeniden oluşturmak, Woods ve Sivapalan (1999) tarafından ortaya atılan çarpımsal mekânsal-zamansal ayrılabilirlik varsayımını kullanarak kötü ölçüm yapılan havzalarda, saatlik yağışın enterpolasyonu için Kriging yöntemlerinin daha iyi olduğunu göstermek istemişlerdir. Verilerin yalnızca mekânla ilişkili olduğu durumlarda değil, aynı zamanda zamanla ilişkili olduğu durumlarda, mekânsal yöntemlerin yanında, mekânsal-zamansal Kriging enterpolasyonu yöntemlerinin de kullanılabileceği Xu vd. (2011) tarafından belirtilmiştir. Volkmann vd. (2010) sel sırasında, gerçekleştiği alana düşen yağış ölçümlerinin önemini vurgulamışlardır. Bu amaçla, ABD'deki Sabino Kanyonu için, 2006 yılının yaz döneminde muson yağmurları mevsiminde, ikincil veri olarak, radar tarafından ölçülen yağış derinliğini kullanmışlardır. KED yöntemi ile belirlenen zamanda, 15 dk'lık zaman dilimleri ile yedi farklı olay tanımlamışlardır. Frago vd. (2012) diğer taraftan 20 Şubat 2010 yılında Maderia, Portekiz'de sele yol açan aşırı yağış olayını değerlendirmede, OK yöntemini uygulamışlardır. Mevcut yağış ölçüm istasyon ağındaki saatlik yağış kayıtlarını kullanarak, sele yol açan fırtınanın, zamansal evrim dinamiğini, yüksek doğrulama değeriyle yeniden oluşturmuşlardır.

Yukarıda bahsedilenlerden yola çıkarak, kısa süre zarfında, kısa mesafelerde meydana gelen yağışların enterpolasyonunu Kriging metodları ile çalışmak mümkündür. Yağış ölçüm istasyonlarının seyrek olduğu alanlarda da Kriging metodlarının kullanımı, olayı yeniden oluşturmada yeterli olmaktadır. Bunun yanında, Kriging metodlarının uygulanmasında yardımcı değişkenlerin kullanımı genellikle mekânsal veya bu çalışmadaki gibi zaman ölçeğinde dâhil edildiği mekânsal-zamansal

kullanımı, modelin performansını artırmaktadır. Böylece, oluşturulan modeller yağış için daha kesin değerler sağlamaktadır.

1.4 Ani Sel Modellemesine Genel Bakış

Her şehir özeldir ve kendine özgü özellikleri vardır. Bu nedenle sel tahminlerinde her şehri ayrı ayrı ele alıp uygun modeli uygulamak gerekir. Sel tahmin modelleri, çok farklı yaklaşım ve özellikler içerdiğinden, farklı yollar kullanılarak sınıflandırılabilir (Henonin, vd., 2013). Sınıflandırmada sistemlerin standart mimarisini oluşturan, hava durumu tahminlerinde izlenen yol, ön işlem seviyesi ve veri toplamada ele alınan teknoloji gibi unsurlar temel alınarak işlem yapılır. Henonin vd. (2013) çalışmalarında üç tür sınıflandırma tanımlamışlardır: (1) ampirik senaryo tabanlı sistem, (2) ön simülasyonlu senaryo tabanlı sistem, (3) anlık simülasyon tabanlı sistemlerdir. Ampirik senaryo tabanlı sistem, girdi olarak bir yağış tahmini verisi istemektedir. Geçmiş olayların gözden geçirilmesi kadar, insanların bilgilerine de dayanmaktadır. Bu sistemler, önceki deneyimlere dayanan uyarı seviyeleri ile birlikte, yağış kayıtları veya tek yağış tahmini içeren çok basit sistemlerdir. Aynı zamanda, gelecekte kullanmak üzere yağış verisini saklayan anlık veri tabanı ve otomatik uyarı sistemi gibi daha ileri teknoloji içerebilmektedir. Benzer şekilde, ön simülasyonlu senaryo tabanlı sistem, anlık yağış tahmininden oluşur. Ancak senaryo kataloğu, hidrolojik simülasyonları içeren bir önceki çalışma projesi temel alınarak yapılmıştır. Çeşitli modelleme stratejileri, var olan araç ve verilere bağlı olarak kullanılabilir. Simüle edilen senaryoların doğruluğu ve uyarı seviyeleri, hem modele/modellere hem de girdi yapılan verinin kalitesine bağlıdır. Her tür seli kapsamı için, oluşturulan senaryo kataloglarının mümkün olduğu kadar ayrıntılı olması gerekmektedir. En muhtemel

senaryonun ve uygun uyarı seviyesinin seçiminde belli kurallar uygulanır. Ancak, bu sistem iklim değişimi etkilerini dikkate almamaktadır. Sivil savunma birimleri tarafından kullanılan sel uyarı sistemi, genellikle uzman bilgisine ve fiziksel, konseptsel ya da ampirik hidrolojik modele ya da bu üçünün kombinasyonuna dayalıdır. Ancak, bu sel uyarı sistemlerinin verimi, ani sele dönüş süreci belirgin olan genellikle tahmin edilebilir ve özellik olarak farklı olan “düzenli” sellerle uygulanabildiğinde cevaplanabilmektedir (Kobiyama ve Goerl, 2007). Düzenli seller genellikle, akış hızı ve yüksekliği, süre ve su yükselme seviyesi gibi olduğu bölgedeki bazı belirli ve doğal özellikleri içermektedir. Sel suları genellikle sürekli yağışlar sonucunda taşkın ovası olarak adlandırılan kuru bir bölgeyi kaplamaktadır. Bu tür seller genellikle büyük ırmak yataklarında meydana geldiğinden, su seviyesinin yükselmesi yavaştır. Böylece, insanların gerekli önlemleri alabilmesini sağlamakta ve can kaybını azaltmaktadır. Diğer taraftan, ani sel dinamikleri tam tersidir. Ani, şiddetli ve beklenmeden oluşmakta, sonuç olarak daha büyük tehlikelere yol açmaktadır. Bu tür seller, nispeten daha küçük alanlarda meydana geldiğinden, verdiği hasar genellikle büyük ölçekli değildir. Ancak, yüksek hızından dolayı, yapılara ve insanlara verdiği hasar, düzenli sellerle kıyaslandığında büyüktür. Ani selin izlenmesi ve tahmini oldukça zordur. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), sel izleme ve tahmini için üç farklı radardan ve nümerik hava tahminlerinden elde edilen, tahmin edilir yağışı kullanan, MIKE 11 modelleme sisteminin yağış-akış unsurunu temel alan, hidrolojik bir modül kullanmaktadır (Einfalt, vd., 2004; DSİ, 2016). Bu iş için dört pilot havza seçilmiştir. Bunlardan biri, Batı Karadeniz’de, diğer üçü Susurluk, Gediz ve Büyük Menderes olmak üzere Ege Bölgesi’ndedir. Ancak, bunlar düzenli sel ile sınırlıdır ve sadece yağış akış süreciyle, sel

dalgalarının nehir sistemindeki yayılmasını tanımlamakta ve ani sel olayları için uygun olmamaktadır.

Son yirmi yıldır, yağış olayının akabinde, yüzey akış hidrografi üreterek bir havzanın yağış-akış ilişkisini tanımlayan, daha çok veri odaklı veya yapay zeka tabanlı yağış akış modelleri kullanılmıştır (Napolitano, vd., 2010). Veri odaklı metodlar genellikle, Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Networks, YSA), Fuzzy Logic, destek vektör makineleri ve M5 model ağaçları gibi metodlar içermektedir. YSA, anlık model ağlarından birini tanımlamaktadır (Henonin, vd., 2013). Matematiksel modellerle insan beynini taklit etmek için geliştirilmiştir. Bilgi işleme, öğrenme ve adaptasyon gibi görevleri yerine getirebilen insanların beynindeki biyolojik yapılardan esinlenilerek tasarlanmış, çok sayıda bağlantılarla birlikte, büyük sayıda basit işlemcileri içeren bir hesaplama sistemidir. Transformasyonu oluşturan süreçlerde, ön tanımlı bilgi olmaksızın, girdiler ile çıktılar arasındaki doğrusal olmayan kompleks ilişkiyi tanımlama yeteneğine sahip, esnek matematik yapısı olan, güçlü bir “kara kutu” modeli gerektirmektedir. YSA modelleri, özellikle neden-sonuç süreçlerinin özelliklerini, fiziksel eşitlikler kullanarak belirtmenin zor olduğu problemlerde kullanışlı ve etkilidir.

YSA, yağış-akış modelleme alanındaki farklı uygulamaları, hem bilgisayar bilimleri perspektifinden, hem de tahmin modellemelerindeki kullanım alanları perspektifinden detaylı olarak incelenmiştir. Akademik literatür incelendiğinde, YSA ile ilgili yağış-akış modelleme ve hidroloji alanında çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Abrahart, vd., 2010; Maier, vd., 2010). Ancak, anlık sistemlere adaptasyonları düzensiz ve deneyseldir (Duncan, 2014). Bu durum büyük ihtimalle, bilinmeyen element olarak, YSA’nın “saklı tabakasından” kaynaklanmaktadır ve bu tür bilinmeyen elementleri temel alan çözümlerin uygulanmasında riskler bulunmaktadır. YSA’nın kullanımı, kendi kendine

gelişen bir tahmin modeli inşasına hem regresyon, hem de sınıflandırma problemleri için, yeni bir yaklaşım sağlamaktadır. YSA, farklı veri alt kümeleri kullanarak geliştirilebilir ve daha az girdiyle basitleştirilmiş modeller inşa edilebilmektedir. YSA, daha önce karşılaşılmayan veri setlerini genelleştirme özelliğinin yanında, hızlı geliştirilen ve çabuk veri işleme süresine de sahiptir (Abrahart, vd., 2009).

Türkiye'deki coğrafi bölgelerde meydana gelen seller, sürekli tekrar eden bir olaydır. Bu sebeple, hidrolojik çalışmalar için önemli bir konu olmuştur. Çalışmaların çoğu, genellikle Karadeniz Bölgesi üzerine odaklanmıştır. Çalışma alanı için mevcut araştırmalar azdır (Uşul ve Turan, 2006; Akiner ve Akkoyunlu, 2012; Kömüşcü ve Çelik, 2013). Ancak, Akdeniz'in farklı yerlerinde bu metodların uygulanması gittikçe yaygınlaşmaktadır. Brath vd. (2002), İtalya'da bulunan Sieve Nehri havzasındaki anlık sel tahmininin geliştirilmesinde, YSA ile parametrik olmayan modelleri karşılaştırmıştır. YSA tabanlı modellerin diğer modellerle kıyaslandığında, deşarj değerlerinin tahmininde yadsınamaz gelişmeler sergilediği görülmüştür. Artigue vd. (2012) Güney Fransa'da, ölçümü kötü yapılmış bir havzanın ani sel tahmini için, YSA yöntemini kullanmış ve bu modelin, çalışma alanı gibi ölçümü yapılmamış havzalarda, ani sel tahminlerinde başarıyla uygulanabileceği sonucuna varmışlardır. Benzer olarak, Seçkin vd. (2013) Doğu Akdeniz Havzasında yerel sellerin sıklık analizi için bazı YSA modellerini karşılaştırmışlardır. Bu modellerin Doğu Akdeniz Havzası'ndaki bir akarsuyun ölçülemeyen alanlarında ve taşkın maksimum seviyesi tahminlerinde uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Nastos vd. (2014) Atina'da (Yunanistan) maksimum günlük toplam yağışın tahmininde, YSA yöntemini kullanmış ve ekstrem yağış olaylarının rasgele oluşları göz önüne alındığında toplanan sonuçların kabul edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır. Buna ek olarak, YSA'nın tahmin kapasitesi, bu tür

olayların şehirleşme gösteren alanlarda, yapılara olan kötü etkilerinin yanında, hayat kaybının da azalmasına yardımcı olacağını belirtmişlerdir.

YSA, iyi çalışan basit bir modeldir. Hesaplamalarda geçmiş verileri kullandığından, önceden kurulmuş senaryolar yoktur ve aynı zamanda iklim değişiminin etkisi geçmiş verideki değişiklik ile beraber kolaylıkla kayıt altına alınabilmektedir. Bu özellik, araştırma problemlerindeki belirsizliklerin sayısını azaltmaktadır. Aynı zamanda, yağış ve drenaj ağı kapasitesine uyum sağlamak için, daha güncel ve doğru bir sistem olmasını sağlayacak şekilde anlık güncellenebilmektedir. Sele neden olan başka parametrelerin de modele ilave edilmesi sayesinde, yeniden modifiye edilerek, farklı şehirlerin sel içeriğine bağlı olarak kolaylıkla geliştirilebilmektedir. Bu noktada hidrolojik modeller önemlidir ve YSA'da kullanılmak üzere önemli altlıklar oluşturmaktadırlar. Hidrolojik modeller birkaç yolla sınıflandırılır (Singh ve Frevert, 2005; Singh, 1995; Wheater, vd., 1993). Bunlar metrik modeller, kavramsal modeller ve fizik temelli modellerdir.

Metrik modeller ampiriktir ve gözlemlere dayalıdır. Basit yapılarından dolayı bölgesel analizlerin uygulanmasıyla, ölçümü yapılmamış havzalara kolaylıkla uygulanabilmektedir. Drenaj sahasının fiziksel ve iklimsel özellikleri, modelin karakteristik özelliklerini belirlemede önemlidir. Güven aralığının belirlenmesinde elde edilen sonuçlar eksik kalmaktadır (Wheater, 2002). Metrik modelleme, Veri Tabanlı Mekanistik (Data Based Mechanistic, DBM) (Leedal, vd., 2013; Smith, vd., 2014; Young, vd., 2014) ve YSA (Dehghani, vd., 2014; Govindaraju ve Rao, 2013; Khaki, vd., 2015; Mekanik, vd., 2013; Taormina, vd., 2012; Valipour, vd., 2013) olmak üzere iki güncel yaklaşımı içermektedir. DBM modelinin yapısı, girdi çıktı verisine dayalı ampirik transfer fonksiyonlu bir modeldir. Genellikle, zaman serisi analizlerinde ve simülasyonlarda uygulanır (Young, 2006). Tanımlanan transfer fonksiyon modeli,

doğrusal olmayan filtre (örneğin etkili yağış oluşturmak) ve hidrolojik tepkileri temsil eden doğrusal birikimin (örneğin akış sürecinin hızı) kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır (Lekkas ve Onof, 2006; Young, 1999). DBM metodlarının en büyük avantajlarından biri, önceki hipotezler tarafından oluşturulmamış yapıları tanımlamasıdır. Böylece, beklenmeyen süreçleri gösterebilir (McIntyre, vd., 2011). YSA modeli, mevcut girdi çıktı verisini (örneğin yağış akış süreçlerinin özellikleri hakkında bilgi edinmek için yağış ve akış verisi) kullanmaktadır. YSA'nın üç tabakası vardır: (i) giriş tabakası, yani yağış, (ii) ağ yapısının gizli tabakası, (iii) çıkış tabakası, örneğin akış. YSA eğitim süreci boyunca, ağ sistemindeki bağlı ağırlıkların ayarlanmasıyla, girdi çıktı arasındaki ilişkiyi öğrenmektedir. Böylece, ağ tepkisi, akış tepkisiyle yakından örtüşmektedir (Lekkas, 2008). Bu çalışmada YSA yaklaşımı kullanılmıştır.

Hidrolojik modellerden ikincisi, kavramsal veya jeomorfoloji tabanlı modeller olarak adlandırılır. Bunlar, yağış akış simülasyonları oluşturarak sel modelleri üretmede başarılı modeller olarak bilinir (Mujumdar ve Kumar, 2012; Wilby, 1997). Ancak, basit model yapısı, yağış akış tepkisi gibi hidrolojik bir fenomenin karmaşıklığını yansıtamamaktadır. Sınırlı veriden dolayı, karmaşık bir yapının oluşturulması imkansızdır. Bu yüzden bu çalışma için tercih edilmemiştir.

Fizik temelli modeller, deterministik modeller olarak da ifade edilir (Anderson ve Burt, 1985). Bir havzanın buharlaşma-terleme, taşkın veya süzülme gibi fiziksel ve hidrolojik özelliklerini yansıtmaktadır (Wilby, 1997). Bu modeller tamamıyla ölçülebilir parametreler tarafından tanımlanmakta ve kalibrasyon ihtiyacı olmadan akışın sürekli simülasyonunu sağlayabilmektedir (Beven, 2001). Havzalar için çok sayıda veri ve işlem sürecine ihtiyaç duymaktadır. Ani sel tahmininde gereken sürenin uzun olması önemlidir. Ancak, bu model için hesaplama işlemleri oldukça zaman almaktadır. Bu

sebeple, bu çalışmada uygun görülmemiştir. Bu modeller genellikle planlama ve yönetim amaçları için tercih edilir (Beven, 2004).

1.4.1 Yapay Sinir Ağ (YSA) Yöntemlerinin Gelişimi

YSA yöntemlerinin yağış akış modellerinde uygulanması doksanlı yılların ortalarında başlamıştır. Hidrolojik modelleme amacıyla kullanılan temel bir metod olana kadar, çok sayıda değişiklik ve gelişmeler geçirmiştir. Maier vd. (2010) ve Abrahart vd. (2012) YSA'larının hidrolojik modellemede uygulanılmasına ilişkin kapsamlı araştırmalar yapmışlardır. Multilayer Perceptron (MLP), hidrolojik çalışmalarda en sık kullanılan bir YSA yöntemidir. Diğer metodlarla karşılaştırıldığında, %85'den daha fazlasının, MLP yöntemi kullandığını saptamışlardır.

Yağış akış modellemesinde YSA yöntemiyle ilgili ilk araştırmalar değerlendirildiğinde, doksanların ortası, YSA yöntemlerinin kullanılmaya başlandığı ilk yıllara karşılık gelmektedir. Bu yüzden YSA için bu tarih dönüm noktası olarak bilinir. Smith ve Eli (1995), bir havzada tahmini yapılmış yağış verisini kullanarak, akış tahmini için üç katmanlı YSA modeli yapmışlardır. Ağ yapısının konfigürasyonu ve ağ ağılıklarını bir noktaya kadar yağış akış ilişkisini modellemişlerdir. Ancak, tepeden tepeye ulaşma süreçlerinde tahmin problemleri görmüşlerdir. ABD-Mississippi'de bulunan Lear Nehri Havzasını araştırmak için ARMAX (eksojen girdili Autoregressive Moving Average model) ile kavramsal SAC-SMA (Sakramento Toprak Nem Hesaplama) adında iki modeli, YSA yöntemi ile karşılaştıran Hsu vd. (1995), YSA'nın diğer iki modele karşı üstün olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar YSA'nın performansına rağmen, kavramsal modellere bir alternatif model olarak düşünülmemesi gerektiğini

belirtmişlerdir. Çünkü YSA, yağış akışının fiziğini dikkate almaz ve sadece değerler arasındaki ilişkilere bakmaktadır. Minns ve Hall (1996) yağış akış verisini tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirmişler ve YSA'nın iki gizli tabaka kullanımının yalnızca bir tabaka kullanımına kıyasla biraz daha iyi sonuçlar oluşturduğunu göstermişlerdir. YSA modellerinin gelişiminde karar vermenin önemine dikkat çekmişlerdir.

Doksanların sonu, YSA'larının belirli havzalara uygulanışını ve diğer ampirik ve/veya kavramsal modeller ile karşılaştırıldığı dönemleri oluşturmaktadır. Örneğin, Dawson ve Wilby (1998), İngiltere'deki Amber ve Mole nehirlerinin akışını tahmin etmek için YSA yöntemi kullanmışlar ve ortaya yöntemin performansının, kullanılan sel tahmin sistemiyle kıyaslanabilir olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca aynı yıllar, MLP yöntemlerinden farklı olarak dairesel tabanlı işlev ağı (Radial Basis Function Network, RBFN) (Mason, vd.,1996), geçici geri yayılım ağı (Temporal Backpropagation Network, TBP-NN) (Sajikumar ve Thandaveswara, 1999) ve kendinden organize olan harita (Self-organising Map, SOM) (See ve Openshaw, 1999) gibi diğer YSA türlerinin ortaya çıkışına tanıklık etmiştir. Yöntemdeki hazırlık aşamaları ayrıca değerlendirilmiştir. Campolo vd. (1999) hazırlık zamanını 5 saatten sonra, 1 saat daha artırdığında performansta bir düşüş olduğunu saptamışlardır. Buna benzer olarak, Golob vd. (1998) Soca nehri havzası için 2, 4 ve 6 saat olarak doğal su akışının tahmininde bir MLP'nin performansını araştırmışlardır. Yağış akış modellemesi (Dawson ve Wilby, 1998) ve ampirik modelleme (Maier ve Dandy, 1998) için uygun olan su kalitesi için YSA modelinin geliştirilmesinde, mevcut kılavuz eksikliğinin olduğunu vurgulamışlardır.

ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology (2000a, b) hakkında iki araştırma ve Maier ve Dandy (2000), hidrolojik modellemenin daha geniş bir şekilde açıklanması yapılmıştır. Dawson ve Wilby (2001) yağış akış

modellemesi üzerine YSA kullanımı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalar, YSA'ları anlatan eşsiz çalışmalar olmuştur. Girdi değişkenlerinin seçimi, girdi verisinin bölüm dengesi ve veri işleme metodları gibi göz önüne alınacak temel adımlar anlatılmıştır. Maier ve Dandy (2000) ve Dawson ve Wilby (2001) YSA gelişiminin yanında, rasgele yapılan seçimler için alınan kararlara dair tanımların yokluğuyla ilgili yorumlarda bulunmuşlar, böylece model gelişimi ile ilgili daha objektif metodlara duyulan ihtiyacı açığa çıkarmışlardır. ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology (2000a, b) model tasarımı ve uygulanmasında belirlenmiş bir metodolojinin yokluğunu vurgulamıştır. Aynı zamanda fiziksel süreçleri yeniden üretmek, optimal eğitim veri dizisinin tanımlanması, eğitim sürecinin adaptasyonu, zaman dizisi analizlerinin geliştirilmesi ve son olarakta ağırlıkların hidrolojik modellemede fizikle ilgili olup olmadığına ilişkin YSA kullanımına dikkat çekmişlerdir. Maier ve Dandy (2000) ve Dawson ve Wilby (2001), bilginin bağlantı ağırlıklardan çıkarılma ve böylece kara kutunun açılması ihtiyacının olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda YSA modellerinin belirsizliğinin önemine değinmişler ve hidrolojide YSA yöntemlerinin daha iyi anlaşılması ve daha çok geliştirilmesi için diğer modellerle karşılaştırma yapan çalışmaların gerekliliğini önermişlerdir.

2010'un sonuna kadar, YSA'larının uygulamasıyla ilgili çoğu araştırma, ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology (2000a, b), Maier ve Dandy (2000) ile Dawson ve Wilby (2001)'nin araştırma sorularının üzerine kurulmuş, daha çok kavram çalışmalarının ispat veya delilleri üzerine yoğunlaşmış ve daha öncekiler gibi aynı sonuçlara varılmıştır. YSA'lar, farklı hidrolojik modellerle karşılaştırıldığında aynı veya daha iyi sonuçlar vermiştir (Araújo, vd., 2011; Kalteh, 2013; Khan ve Coulibaly, 2006; Kisi ve Cigizoglu, 2007; Phien ve Kha, 2004; Rajukar, vd.,

2002; Riad, vd., 2004; Valipour, vd., 2013; Wu, vd., 2010; Yazdani, vd., 2009). Maier ve Dandy'nin (2000) araştırmaları, nöro-fuzzy çözümler gibi kolay hesaplanan yaklaşımların, YSA yöntemleri ile birlikte kullanılmasıyla, potansiyel bir araştırma alanı olabileceğini belirtmişlerdir. 21. yüzyılın başlarından itibaren, yağış akışı çalışmalarında, nöro-fuzzy ile nöro-genetik yaklaşımı uygulamaları için artan bir eğilim dikkat çekicidir. Nöro-fuzzy çözümler, fuzzy modelin kurallarını oluşturmada, YSA'larının öğrenme imkanlarını kullanabilmekte ve ilgili parametreleri optimize edebilmektedir (Jang, vd., 1997). En çok uygulanan nöro-fuzzy modeli, Matlab programının (Mathworks, 2016) bulanık mantık araç kutusunda yer alan, Adaptive Nöro-Fuzzy Inference System (ANFIS)'dir (Jang, 1993). Son on yılda, ANFIS yöntemi bir dizi havzada uygulanmıştır (Aqil, vd., 2007; Dastorani, vd., 2010; El-Shafie, vd., 2007; Fırat ve Güngör, 2008; Gautam ve Holz, 2001; Ghalkhani, vd., 2013; Hipni, vd., 2013; Keskin, vd., 2006; Mukerji, vd., 2009; Nayak, vd., 2004; Patel ve Parekh, 2014; Pramanik ve Panda, 2009; Rezaeianzadeh, vd., 2014; Wu, vd., 2010; Zounemat-Kermani ve Teshnehlab, 2008). Bu çalışmalar pozitif sonuçlar vermiştir. RBFN gibi YSA'nın diğer yöntemleriyle karşılaştırıldığında, ANFIS'in her zaman en iyi sonuç veren model olmadığı görülmüştür (Singh ve Deo, 2007). Hong ve White (2009) tahmin görevi gerçekleştirirken, çevrimiçi olarak öğrenen, dinamik bir nöro-fuzzy modelleme sistemi gerçekleştirmişlerdir. Dinamik sistemin, Yeni Zellanda'daki Waikoropupu Springs'deki selleri tahmin ederken, YSA ve ANFIS fuzzy modelinden de daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Nöro-fuzzy modelleri, daha iyi sonuç verse de, bulanık modeller yağış akış ilişkisinin fizik kuralları ile ilgili bilgi sağlamamaktadır. Maier ve Dandy (2000) nöro-fuzzy modellerinin çalışma prensipleri kara kutu modeliyle benzer olduğunu söylemişlerdir. Diğer taraftan, nöro-genetik yaklaşım kavramsal model

kalibrasyonunda kullanılabilen (Nicklow, vd., 2010) ve YSA ile entegre edilen (Kitano, 1994) genetik ve evrimsel algoritmaların birleştirilmiş optimizasyon özelliğine sahip bir modeldir. YSA'larının ağırlıklarını bulmak için veya gizli nöron veya girdileri belirlemek gibi tüm yapıyı geliştirmede, bağlantı ağırlıklarını ayarlayan yineleyici öğrenme algoritması yerine, nöro-genetik kullanılabileceğini söylemişlerdir. Bazı çalışmalarda, başlangıç ağırlıklarının belirlenmesi ve eşlenik eğim düşüşü veya geri yayılım (Backpropagation, BP) gibi geleneksel eğitim algoritmalarıyla YSA'ların eğitimi için GA'lar kullanılmıştır (Chen ve Chang, 2009; Li, vd., 2014; Mukerji, vd., 2009; Parasuraman, vd., 2007; Sedki, vd., 2009). ANFIS ile benzer şekilde, YSA'lara kıyasla, GA'lar tarafından da yüksek performans değerlerine erişilmiştir.

Geliştirilmiş teknikler, YSA yöntemini bütünüyle optimize etmek için uygulanmıştır. İngiltere'deki Ouse Nehri'nde (Abrahart, vd., 2007; Dawson, vd., 2006; Heppenstall, vd., 2009) yağış akış modelleri oluşturmak için Symbiotic Adaptive NeuroEvolution (SANE) algoritması oluşturulmuştur (Moriarty ve Miikkulainen, 1997). Bu hedef, klasik olarak eğitilen YSA'lara göre iyi performans sağlamaktadır. Chidthong vd. (2009) fuzzy kurallarının GA'lar tarafından daha da optimize edildiği, fuzzy modelin parametrelerini bulmak için YSA'nın kullanıldığı bir hibrit nöro-fuzzy-genetik sistem modeli geliştirmişlerdir. Model daha sonra Tayland ve Japonya'daki sel davranışlarını önceden tahmin etmek için uygulanmıştır. Hibrit sistem, nöro genetik modelden daha iyi sonuçlar sergilemiş ve ANFIS modeli ile beraber yüksek değerde tahmin sağlamıştır. Buna benzer olarak, Kant vd. (2013) Hindistan'ın Mahandi nehri havzasındaki Naraj ölçüm sahasının saatlik su düzeyini tahmin etmek için çoklu amaçlı evrimsel sinirsel ağ (Multi Objective Evolutionary Neural Network, MOENN) modeli geliştirmişlerdir. Modelin performansı, ANFIS ve İlk Tabanlı Sinir Ağ (Bootstrap-based Neural Network,

BNN) ile karşılaştırılmıştır. MOENN modeli, ANFIS ve BNN ile karşılaştırıldığında, uzun hazırlık sürelerine ilave olarak, yüksek su seviyelerini tahmin etmede en iyi model olarak seçilmiştir.

YSA'nın yağış akış modelleme çalışmalarının bazılarında, çoklu ağlar vasıtasıyla birimlere ayrıştırma yöntemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. YSA, genellikle hem düşük hem yüksek akış olaylarını yeterli düzeyde tahmin edememektedir. Bundan dolayı, Minns ve Hall (1996) ayrı bir YSA kullanarak, eğitilen her grubu ayırmak için, girdi çıktı veri setine birimlere ayrıştırma yöntemi uygulamışlardır. See ve Openshaw (1999) nehir seviye verisinin sınıflandırılmasında (düşük nehir seviyesi, hidrografın yükselen kısmı ve düşen kısmı) YSA'nın bu olayları ayrı ayrı tahmini için eğitilmesini ve sonunda da hepsinin birleştirilmesinde SOM yöntemini kullanmışlardır. Aynı metod, Abrahart ve See (2000) ve Jain ve Srinivasulu (2006) tarafından, Modüler Sinirsel Ağ (Modular Neural Networks, MNN) olarak adlandırılarak uygulanmıştır (Wang, vd., 2006). Birimlere ayrıştırma yöntemi, fiziksel tabanlı modellerin ve YSA'nın kavramsal hatalarını tahmin etmiştir. Bu yüzden, büyük bir sistemin bir modülü olarak işlev görmektedir (Abebe ve Price, 2004; Brath, vd., 2002). Brath vd. (2002) kavramsal bir modelin tahminlerini güncellemenin yanında kavramsal bir modeli besleyen yağışın tahmininde, YSA yöntemini kullanmışlardır. Birimlere ayrıştırma gibi, topluluk modelleme yaklaşımı, YSA'larında girdi çıktı veri setinin eğitilmesi için kullanılabilir (Abrahart ve See, 2002; See ve Abrahart, 2001). Buna alternatif olarak, farklı model tipleri de birleştirilebilmektedir. See ve Openshaw (2000) iyi bir tahmin yapmak için, YSA, ARMA, fuzzy logic model ve süreklilik modellerini birleştirerek uygulamışlardır. Coulibaly vd. (2005) kavramsal model, YSA ve en yakın komşu (Nearest Neighbour, NN) modelini birleştirmiştir. Bu örnek çalışmalarda,

modeller ilk olarak tartılmış, sonra birleştirilmiş ve birleşmiş modelin verecekleri sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edilmesi gösterilmiştir. Birimlere ayırıştırma ve topluluk modelleri gelecekteki YSA'nın yağış akış modellemesinde, umut verici modeller olarak düşünülmesini sağlamıştır. Ancak, modellerin geliştirilmesi ve çalıştırılması zordur.

YSA'nın fazlasıyla değer kazandığı günümüzde, konuyla ilgili çalışmalarda önemli bir artış olmuştur. Dünyada özellikle fiziki coğrafya alanında, bu teknikler mekânsal/coğrafi araştırmalar için en çok başvurulan yöntemler haline gelmiştir. Strateji ve plan geliştirirken, iklim değişkenlerinin değerlerini tahmin etmek ve karmaşık yapısını anlamak oldukça önemli olduğundan, bu gibi yöntemlerin kullanımı gereklidir.

1.4.2 Yapay Sinir Ağ (YSA) Yöntemlerinde Verinin Ön İşlenmesi, Girdi Değişkenlerinin Seçimi ve Belirsizliğin Belirlenmesi

Bilimsel araştırmalarda, çalışmanın amacına uygun yöntem belirlendikten sonra, bilimsel yönetime göre araştırma sürecinin çeşitli aşamalarını yerine getirmek gerekmektedir. YSA yöntemlerinde de verinin ön işlemesi, girdi değişkenlerinin çalışmanın amacına uygun olarak doğru bir şekilde seçimi ve verinin ne kadar doğru olduğunu göstermek için (bu çalışmada eğitim verisi ile tahminler arasındaki mesafenin karşılaştırılması uygulanmıştır) belirsizliğin belirlenmesi önemlidir. YSA yönteminde veri seti için analizlerden önce yapılması gereken işlemler, çeşitli araştırmacılar tarafından tartışılmıştır. Araştırmacıların, belli araştırma konuları ve veri setine göre önerileri olmuştur. Bu çalışmada, hidrolojik çalışmalar için seçilmiş bazı çalışmalar

değerlendirilmiş ve veri setine göre belli araştırmacıların önerileri dikkate alınarak uygulanmıştır.

Normal bir dağılım için verinin transformasyonuna gerek duyulmamaktadır. Ancak, girdi ve çıktı değişkenlerinin eğitilmesinden önce, 0,1-0,9 ile 0,2-0,8 aralıklarındaki doğrusal standardizasyon kullanılarak, standardize edilmesi önerilmektedir (Maier ve Dandy, 2000). Bazı durumlarda veri, farkları (Abrahart ve See, 2002; See ve Openshaw, 2000) veya ortalamaları (Chaipimonplin, 2010) gibi istatistiksel teknikler kullanılarak ön işleme alınabilmektedir. Verilere ön işlem için ayrıca, dalgacık analizi uygulanmaktadır. Dalgacık analizi bir zaman serisini ölçekten bağımsız alt birimlere veya dalgacıklara dağıtmakta, sonra YSA'lara girdiler sağlamak ve son tahmin için tekrar birleştirilmektedir (Nason ve von Sachs, 1999). Rao ve Krishna (2009) günlük akışın ve aylık yeraltı su seviyesinin tahmin etmede YSA ile birlikte dalgacık analizinin, yalnız uygulanan YSA modellerinden daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Benzer sonuçlar Adamowski ve Sun (2010), Anctil ve Tape (2004), Partal (2009) ile Zhou vd. (2008) tarafından da elde edilmiştir. Tek spektrum analizi (Singular Spectrum Analysis, SSA) YSA yağış akış modellemesinde kullanılmıştır. Zaman serisi girdisi, eğilimler, periyodikler ve gürültü gibi bir dizi bileşene dayalıdır (Wu, vd., 2009). Wu vd. (2009) Yangtze Nehrinin iki kolunun günlük akışları için SSA'nın dalgacıklara kıyasla, YSA performansını arttırdığını gözlemlemişlerdir. YSA'ya entegre edilen, SSA aynı zamanda modüler YSA olarak da çok iyi sonuçlar vermektedir (Wu ve Chau, 2011).

Girdi değişkenlerinin seçimi, YSA yapısının oluşumunda önemlidir. Genellikle, girdilerin belirlenmesinde, yağış gibi farklı girdi değişken setleri veya daha önce meydana gelmiş seller yani akış, deneme ve yanılma yaklaşımı kullanılarak, YSA

oluşturulmaya çalışılmıştır (Maier, vd., 2010). Bu metodta temel problem, kabul edilebilir girdi setinin bulunması için bazı kombinasyonların uygulanmasının gerekliliğidir. Çıktılar üzerinde küçük ya da hiç etkiye sahip olmayan girdi değişkenlerine izin veren hassasiyet analizi yapılabilmektedir. Sudheer (2005) Hindistan'daki Narmada Nehri'nde gerçekleştirdiği akış modellemesi çalışmasında, hidrografyanın şekli üzerinde, farklı girdilerin etkilerini göstermek için hassasiyet analizi kullanmıştır. Korelasyon analizi, çıktı ile belirli korelasyon değerinden az olan değişkenlerin elenmesi ve böylece, girdi sayısının azaltılmasında önemli bir role sahiptir (Dawson, vd., 2006; Jia, vd., 2009; Kim, vd., 2009). Ancak, bu yaklaşımda bazı kısıtlamalar vardır: (i) değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğunu varsaymaktadır ve çoğu hidrolojik süreç, doğrusal değildir, (ii) hangi değişkenlerin dâhil ediliş edilmeyeceğini belirlemek için kullanılan eşik değeri kesin değildir ve (iii) değişkenin bağımsızlığını dikkate almamaktadır.

Kısmi Karşılıklı Bilgi (Partial Mutual Information, PMI) doğrusal olmayan ve girdi değişkenlerinin bağımsızlığını ele alarak uygulanabilmektedir (Sharma, 2000; Sharma, vd., 2000). Corzo vd. (2009) Meuse Nehri havzasında YSA yöntemi için, girdi değişkenleri seçiminde PMI'yı kullanmışlardır. Benzer şekilde Bowden vd. 2005a, b, Güney Avusturalya'daki Murray Nehrinin su kalitesi açısından modellenmesinde PMI yöntemini uygulamışlardır. Son olarak, Kaliforniya'daki rezervuarların serbest bırakılmasını modellemede, PMI ile diğer girdi seçim metodlarını karşılaştıran Hejazi ve Cai (2009), diğer metodlarla karşılaştırdıklarında, PMI kullanımıyla modelde bir performans artışının olduğunu saptamışlardır. Nöronlar arasındaki önemsiz veya zayıf bağlantıları ortaya çıkaran budama algoritmaları (pruning algorithms), girdilerin seçiminde bir metod olarak da kullanılabileceği belirtilmiştir (Bishop, 1995). Budama

algoritmaları, YSA yağış akış modellerinin oluşumunda iyi bir model performansı yakalamaktadır ve daha geliştirilmiş bir model sunarken toplam bağlantı sayısını %40 kadar düşürebilmektedir (Abrahart, vd., 1999; Corani ve Guariso, 2005). Ancak, budama programının hazır olmamasından dolayı genellikle uygulanmamaktadır.

Belirsizlik, geleneksel hidrolojik modellemeler kullanılarak ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Bu bağlamda YSA'ları çok az kullanılmıştır. Srivastav vd. (2007) belirsizlik bantlarını hesaplamak için 300 ağı eğitildiği, önyükleme (bootstrapping) kullanarak (yer değiştirme ile yeniden örnekleme) gerçekleştirmişlerdir. YSA yöntemiyle hidrolojik modellerdeki belirsizliğin belirlenmesi için bir yaklaşım önermişlerdir. Ancak, performans ölçütlerinin her zaman model güvenilirliğini sağlamadığını belirtmişlerdir. Han vd. (2007) YSA yağış akış modellemesindeki belirsizliğin ölçümü için iki farklı metod önermişlerdir: (i) tahminler ile eğitim verisi arasındaki mesafeyi göz önüne alınması ve (ii) YSA'nın hidrolojik açıdan doğru olup olmadığının cevaplara bakılarak tahmin edilmesi. Bu çalışmada, Han vd.'lerinin önerdiği tahmin ile eğitim verisi arasındaki mesafeyi göz önüne alınarak yapılmış bir belirsizlik ölçümü kullanılmıştır.

2 VERİ VE YÖNTEM

2.1 Çalışma Alanının Genel Özellikleri

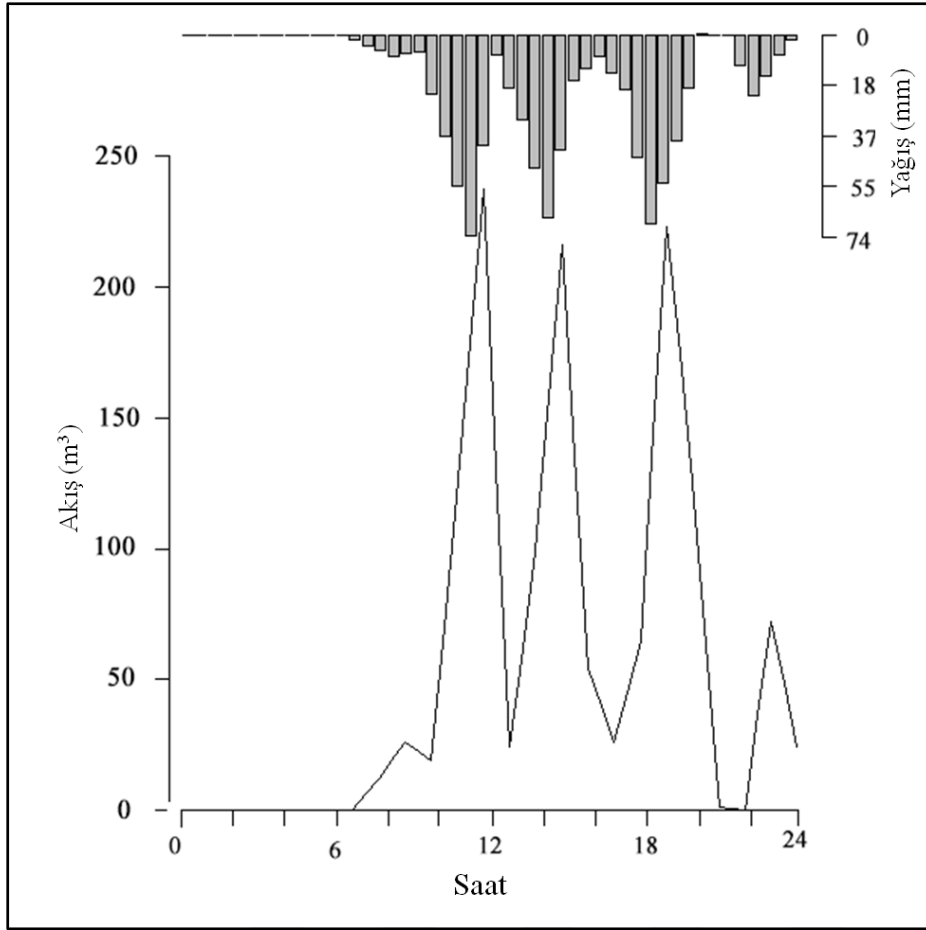
Çalışma alanının içinde yer aldığı Ege Bölgesi, kuzeyden Marmara, doğudan İç Anadolu, güneyden Akdeniz Bölgeleri ile sınırlanmıştır. Bölge, İzmir, Manisa, Denizli, Aydın, Muğla, Afyon, Uşak, Kütahya olmak üzere 8 ilden oluşmakta ve ülke yüzölçümünün %11'ini oluşturmaktadır. Ege Bölgesi kıyılarının daha çeşitli ve çok girintili çıkıntılı nitelikte olmasına yol açan neden, kıyılara doğru dik bir şekilde uzanan yüksek topografyanın, genelde doğu-batı doğrultulu ovalarla parçalanması ve birbirinden ayrılmasıdır. Yapı ve yer şekilleri özelliklerine bağlı olarak izlenen bu durum, ülkenin diğer kıyı bölgelerine göre farklılık göstermesine neden olmuştur (Aydın ve Çiçek, 2013). Akdeniz ikliminden dolayı Ege Bölgesi'nde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir.

Koçman vd. (1996) 1941–1988 yılları arasında Ege Ovalarının bulunduğu bölge üzerinde yağış dağılışını ortaya koymuşlardır. Bu dönemde yağış değerlerinde bir artış ya da azalış olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca, süreleri birbirine eşit olmayan kurak ve nemli dönemlerin arka arkaya geldiğinin altını çizmişlerdir. Bahadır (2011) yağışın zamansal değişimini Ege Bölgesi için incelemiştir. Çalışmasında 1975–1995 yılları arasında azalma, 1995–2005 yılları arasında ortalamaya yakın değerler ve 2005–2010 yılları arasında yağışta tekrar bir azalma eğilimleri olduğunu vurgulamıştır. Partal (2012) bölge yağışında 1962–2000 yılları arasında bir azalma trendi olduğunu belirtmiştir. Oikonomou ve Flocas (2008) Ege Bölgesi dâhil Doğu Akdeniz'de meydana gelen ekstrem yağış olaylarının gelecek değişimlerini araştırmışlardır. Çalışmalarında sonbahar hariç, tüm mevsimler için kuru uzun ekstrem dönemlerin ve nemli kısa ekstrem dönemlere doğru gelecek bir eğilimin olduğunu not etmişlerdir. Özellikle Ege

Bölgesi'nde tam tersi bir durum tahmin etmişlerdir. Lionello vd. (2006) Akdeniz'de kış yağışlarında bir azalmanın, 20. yüzyılın ikinci yarısında siklonların sonucunda sağanak yağış neticesinde bir artmanın olduğunu belirtmişlerdir.

Muğla ili, Ege Bölgesi'nin güneybatısında, Ege ve Akdeniz Bölgelerinin iç içe geçtiği dağlık bir bölgede yer almaktadır. Dağlık alanlarla çevrili alan, Neojen döneminde oluşan depresyonlardan oluşmaktadır. Muğla ilinin %12'sini platolar, %11'ini vadi ve ovalar oluşturmaktadır. Menteşe Dağları'nın eteklerinde yer alan Menteşe Platoları ilin en önemli platolarını oluşturur. Dalaman Vadisi ve Dalaman Ovası ise önemli vadi ve ovasıdır. Türkiye'nin en önemli rafting parkurları arasında yer alan Dalaman Çayı, Muğla ilindedir. Rafting eğlence alanı olarak profesyonel anlamda turizm amaçlı hizmet vermektedir. Muğla ilinde irili ufaklı göllerde bulunmaktadır. Dalyan kanalı ile denize bağlanan Köyceğiz Gölü, bu göller arasında en büyük kıyı gölüdür. Sağlık turizmi açısından, termal kaplıca olarak kullanılmaktadır. Türkiye'nin rüzgârlı alanlarından biri olan Datça yine bu il sınırları içerisinde bulunmaktadır ve önemli bir rüzgar sörfü noktasıdır. Türkiye'nin illeri arasında Muğla ili, en uzun kıyı şeridinde sahiptir. Kıyı şeridinin uzunluğu 1.100 km'dir. Bodrum, Fethiye ve Marmaris gibi en büyük tatil merkezlerinden bazıları bu ilde yer almaktadır (Şekil 1, Türker, vd., 2015). Muğla ili, antik Likya ve Karya şehirlerine de ev sahipliği yaptığından dolayı tarihi bir öneme de sahiptir. Öte yandan Muğla yaban varlığı açısından da zengin bir coğrafyaya sahiptir. Dünya'da ender bulunan "*Caretta Caretta*" cinsi deniz kaplumbağası, Dalyan-İztuzu üreme sahasında kontrol ve koruma altındadır. Türkiye'nin yoğun ormanlık alanlarından biri olması da, korunan doğal alanlar bakımından önemli bir yere sahip olmasını sağlamaktadır. Türkiye'nin yağışlı illerinden biridir. Kış ayları yağışlı, yaz ayları genellikle kurak geçmektedir. Bu durum bitki çeşitliliğinin artmasında etkilidir.

kaydedilmiş 176 mm'lik yağışı göstermektedir. İlçe merkezi başta olmak üzere, Gümbet, Bitez ve Ortakent-Yahşı, Turgutreis gibi birçok alan aşırı yağış almış ve ani sel olmuştur. Sonuçta 10 insan yaralanmış, 100 insan evlerinden kurtarılmak zorunda kalmış ve 350 ev ve işyerinin yanı sıra 400 araç zarar görmüştür (Hürriyet Gazetesi, 2015). Şekil 2'deki hidrograftan görüldüğü gibi, yağış miktarı 73,6 mm, 67 mm ve 69,2 mm olmak üzere 3 kez en yüksek noktaya ulaşmış ve dolayısıyla akış, gün boyunca sırasıyla 11:00, 14:00 ve 18:00 saatlerinde 237,4 m³, 216.1 m³ ve 223,2 m³ debilerinde gerçekleşmiştir. Söz konusu selin, günün 14:00 ve 18:00 saatleri arasında meydana geldiği kayıtlara geçmiştir. Bodrum'da (Bodrum ve Bodrum/Turgutreis yat limanı istasyonları), Datça ve Milas (Milas ve Milas/Ören istasyonları) hariç, Muğla ilindeki tüm meteoroloji istasyonlarında yağış değerleri kaydedilmiş, diğer yerlerde saatlik ortalama yağış değerleri 20 mm'nin altında kalmıştır. Bodrum ilçesinde 1988 yılında gerçekleşen sel içinde benzer bir durumun gözlemlendiği söylenebilir. Ayrıca, o yılda Bodrum ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarında, 200 mm'den yüksek maksimum yağış değerlerinin kaydedilmiş olduğu izlenmiştir.



Şekil 2. 23 Eylül 2015 tarihli yağış hidrografi

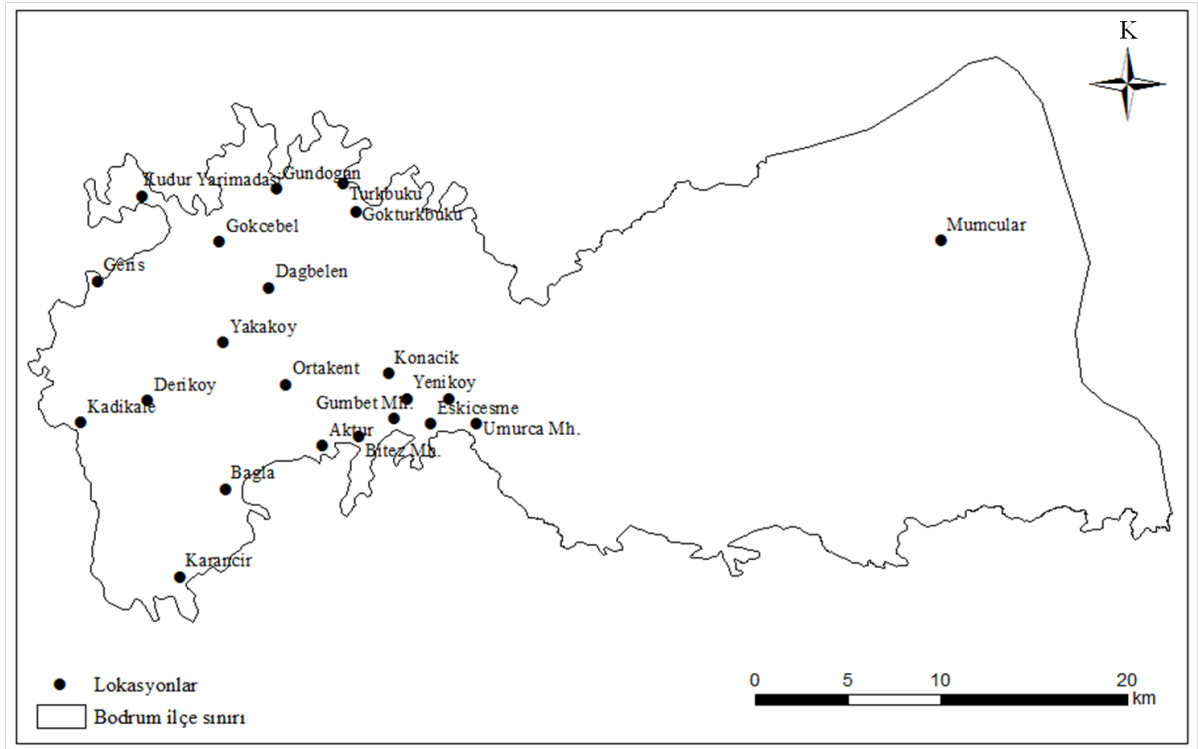
2.2 Çalışmada Kullanılan Veri Seti

Çalışmada Eylül ve Ekim 2015 aylarına ait saatlik ortalama yağış değerlerini belirleyebilmek için Muğla ilinde yer alan 19 meteoroloji istasyonundan elde edilmiş yağış değerleri kullanılmıştır. 19 meteoroloji istasyonuna ait yağış verisi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden temin edilmiştir. Eylül ve Ekim aylarına ait saatlik veride, sıfır ve düşük yağış değerlerinin çok olduğu dikkat çekicidir. Ancak, çalışmanın amacına uygun olarak, sağanak yağışların geldiği günlere ait yağış miktarları çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan istasyonlar, Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ)'dur. Bu tür istasyonlar yağış dışında, sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, bulutluluk gibi gözlemler de yapmaktadır. Seçilen istasyonlar

World Geodetic Survey 1984 (WGS 84) koordinat sistemine göre ayarlanmıştır. Bu meteoroloji istasyonların bulunduğu lokasyonlar Şekil 2’de, istasyonlara ait özellikler Çizelge 1’de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, meteoroloji istasyonların mekânsal dağılışında bir düzensizlik olduğu dikkat çekmektedir. İstasyonların çoğunlukla şehir alanlarına yakın yerlerde ve yüksekliği <1.000 m olan alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Yüksekliğin 1.000 m’den yüksek olduğu alanlarda istasyon bulunmamaktadır. Yatağan ve Kavaklıdere/Kocataş Orman istasyonu hariç, istasyonların çoğu sahile yakın yerlerde görülmektedir (<30 km). İstasyon sayısı bu alanlar için aşırı yağış ve sel olaylarını araştırmada yeterlidir. Şehir drenaj özelliklerini oluşturmada kullanılan 2016 yılı arazi kullanım verisi, OpenStreetMap (2016) adresi kullanılarak indirilmiştir. OpenStreetMap, kullanıcıya birçok işletim sistemi üzerinden uyumlu olarak çalışabilecek ve araştırma amaçlı kullanılacak veri sağlamaktadır. 2016 yılı arazi kullanım verisi, belirlenen özel şehir lokasyonları için indirilmiştir. Bu şehir lokasyonlarını gösteren harita Şekil 3’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan istasyonların özellikleri

İstasyon No	İstasyon adı	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (m)	Kıyıya Uzaklık (m)
17290	Bodrum	37,0328	27,4398	9	171,35
17627	Bodrum/Turgutreis Marina	37,0003	27,2595	1	99,19
17294	Dalaman	36,7719	28,7986	17	8.775,13
17297	Datça	36,7083	27,6919	25	214,53
17296	Fethiye	36,6266	29,1238	6	487,98
18018	Fethiye/ Değirmenbaşı Ekip Depo (ORMAN)	36,6667	29,1631	65	4.168,03
18022	Kavalidere/Kocataş Orman	37,4508	28,3622	956	44.373,00
17924	Köyceğiz	36,9700	28,6869	21	18.118,70
18019	Köyceğiz/Zeytinalanı Ekip Depo Orman	36,9539	28,7517	114	18.971,10
17884	Marmaris	37,3027	27,7804	66	13.471,40
18020	Marmaris/Çetibeli Depo Orman	37,2542	27,7964	246	13.882,40
17921	Milas	37,0269	27,9683	1	362,07
17298	Milas/Denizcik Depo Binası Orman	36,8395	28,2452	24	481,47
18017	Milas/Ören	36,9933	28,3058	59	3.118,86
17292	Muğla	37,2095	28,3668	642	17.829,80
18317	Ortaca	36,8267	28,7722	20	10.376,90
18048	Ula/Akyaka	37,0508	28,3269	0	36,70



Şekil 3. Bodrum ilçesinde belirlenmiş önemli şehir lokasyonları

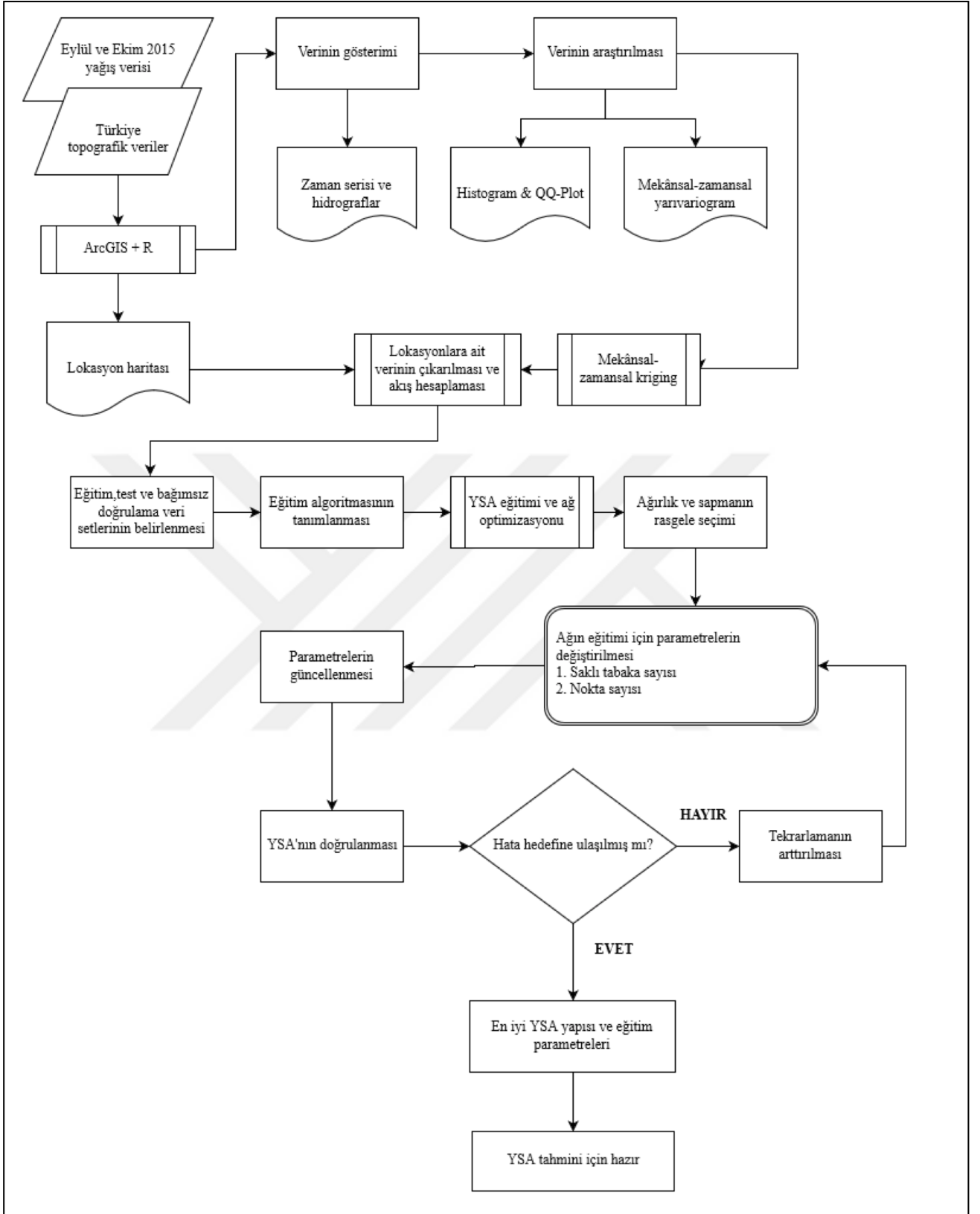
2.3 Çalışmada Kullanılan Programlar

Bu çalışmada, veri tabanının oluşturulması ve verinin gösterilmesinde ArcGIS 10.3 (ESRI, Redlands, CA) programı; verinin açıklanması, jeoistatistik analizleri ve YSA oluşturulmasında R 3.1.0 (Ihaka ve Gentleman, Auckland, New Zealand) programı ile içindeki gstat, rgdal, maptools, geo-R, spacetime ve neuralnet paketleri kullanılmıştır. Çalışmada R 3.1.0 programının seçilmesinin önemli nedeni, analizin her aşamasının komut satırına yazılmasıdır. Bu işlem kullanıcıya, analizin aşamalarını güvenilir bir şekilde dokümente etme kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca internet üzerinden çeşitli istatistik paketlerin (gstat, rgdal, maptools, geo-R, spacetime ve neuralnet) indirilmesi ile program genişletilebilmekte ve bu kullanıcıya araştırma amacına yönelik çeşitli işlemlerin yapılmasında sınırsız bir imkân tanımaktadır.

2.4 Çalışmanın Aşamaları

Şekil 4 çalışmanın akış diyagramını göstermektedir. Buna göre çalışma 7 aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar; (1) verinin mekânsal-zamansal gösterimi ve araştırılması; (2) mekânsal-zamansal modelin oluşturulması için zaman aralığında ve mekânda bulunan bağımlılık kuralının belirlenmesi (teorik yarıvariogram); (3) bu bağımlılık kuralına bağlı olarak çalışma alanı içinde gözlem yapılmamış noktaların mekânsal-zamansal tahmini; (4) Kriging model performansının ölçülmesinde doğruluk testinin uygulanması; (5) seçilmiş lokasyon ve zaman için, yağış verisinin çıkarılması ve akış değerlerinin hesaplanması; (6) saklı tabaka ve nokta sayıları gibi seçili parametreler için YSA'nın eğitilmesi ve optimizasyonu; (7) YSA'nın tahmin yeteneğinin test edilmesinde doğruluk analizinin uygulanmasıdır.

Jeoistatistik analizinin önemli aşamalarından birisi analiz edilecek verinin gösterilmesidir. Mekânsal-zamansal verinin araştırılması, değişkenin iyi anlaşılmasını, oluşturulacak tahmin yüzeylerini etkileyen hataların bulunmasını, nasıl bir dağılım gösterdiği hakkında bilgilerin edinilmesini sağlamaktadır. Histogram ve QQ-Plot gibi tanımsal istatistik yöntemleri, verinin dağılımını analiz etmek için uygulanmıştır. Geoistatistik analizler gerçekleştirilirken, normal dağılım gösteren verinin enterpolasyon sonuçları, jeoistatistik analizleri sırasında daha iyi çıktılar vermektedir (Aydın ve Çiçek, 2015). Bundan dolayı çarpık dağılım söz konusu ise, veriye dönüşüm uygulamak gerekmektedir.



Şekil 4. Çalışmanın akış diyagramı

Mekânsal-zamansal Kriging analizinde, deneysel yarıvariogram yapısına en uygun teorik yarıvariogramın seçilmesi için, değişkenin, her lokasyon noktası ve her zaman aralığı için tanımlamasını gerektirmektedir. Bağımlılık kuralının belirlenmesinden sonra, çalışma alanında gözlem yapılmamış noktaların değeri, Kriging tekniği kullanılarak tahmin edilmiştir. Performans sonucuna göre, modelde iyileştirmeye ihtiyaç duyulursa, deneysel yarıvariogram aşamasında etki uzaklığı, çift sayısı, adım mesafesi, zaman aralığı gibi değerler değiştirilerek en iyi sonuç elde edilene kadar tekrar edilmiştir.

Kriging analizinden sonra, akış değerleri şehrin önemli lokasyonları için hesap edilmiştir. Mantıksal Method (Rational Method, RM), küçük ölçekli şehir alanlarında en çok başvurulan yöntemdir. Bu çalışma için de RM kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar YSA'da kullanılmak üzere yeniden düzenlenmiştir. Veri seti; eğitim testi ve bağımsız doğrulama veri seti olarak ikiye ayrılmıştır. Akış sonuçları ve bu lokasyonların yağış değerleri, YSA modelinde girdi ve çıktı parametresi olarak verilmiştir. Optimum saklı tabaka ve nokta sayısı seçildikten sonra, YSA eğitilmiş ve tahmin doğruluğu için test edilmiştir.

2.5 Çalışmada Kullanılan Yöntemler

2.5.1 Kriging

Jeoistaistiğin temel bileşenleri, yarıvariogram ve Kriging analizlerini oluşturmaktır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Yarıvariogram analizi, mekânsal korelasyonun özelliklerini işaret etmektedir. Kriging analizi, ölçümü yapılmamış bir lokasyonun tahmin edilmesini, mekânsal kovaryans değerlerine göre

ağırlıklandırılmasını ifade etmektedir. Kriging analizi, yarivariogram modelinin kullanılmasıyla gerçekleştirilir.

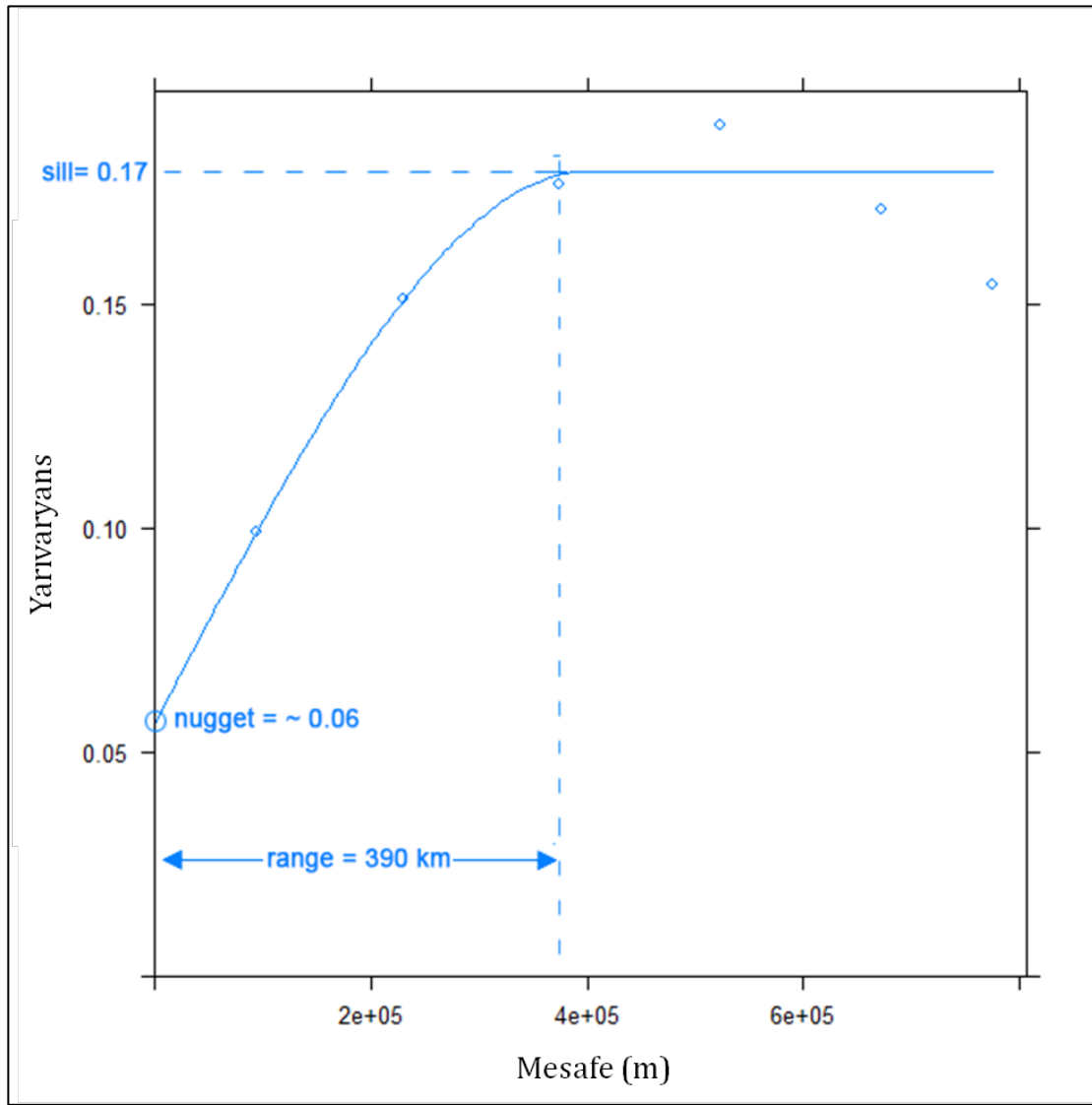
Jeoistatistikte değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri, yarivariogram ile ortaya konur (Bivand, vd., 2008). Yarivariogram, h mesafesi ile ayrılan iki rasgele değişken arasındaki ilişkiyi karakterize etmek için kullanılmaktadır ve bu mesafe azalıp arttıkça, değişkenin değerinin de azalması veya artması beklenmektedir. Bunun yanında yarivariogram, rasgele değişkenlerin arasındaki farkın varyansı olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Bivand, vd., 2008).

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

İkinci dereceden durağanlık varsayımı denklemine göre, rasgele değişkenlerin beklenen değerleri $Z(X)$ ve $Z(X + h)$ eşittir ve bu yüzden yarivariogram şu şekilde yazılır (Bivand, vd., 2008).

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

Yarivariogram modeli üç kuralı takip eder: (i) mesafe $h = 0$ 'da eşit olduğunda yarivaryans değeri ($2\gamma(0) = 0$). (ii) yarivaryans değerleri daima pozitifdir ($2\gamma(h) \geq 0, \forall h$) ve (iii) yarivariogram simetriktir ($2\gamma(h) = 2\gamma(-h), \forall h$). Şekil 5, Türkiye'de 1976 ile 2010 yılları arasındaki yıllık ortalama toplam yağış analizinin yarivariogramını göstermektedir.



Şekil 5. Türkiye’de 1976–2010 yıllık ortalama toplam yağışın deneysel yarıvariogramı (veri noktaları) oturtulması durumunda elde edilen teorik yarıvariogram (düz çizgi) modelinin gösterimi

Not: Şekildeki **Nugget**, Kontrolsüz Etki; **Sill**, Eşik Değer; **Range**, Etki Uzaklığı’nı ifade etmektedir.
Kaynak: Aydın ve Çiçek, 2015.

Yarıvariogram aşağıdaki üç parametre ile tanımlanmaktadır.

- a) **Kontrolsüz etki (Nugget):** Teorik olarak orijindeki yarıvariogram değeri sıfır olmalıdır. Ancak belli nedenlerden dolayı aldığı sıfırdan farklı pozitif değer “kontrolsüz etki” olarak adlandırılmaktadır. Şekil 5’de kontrolsüz etki değeri 0,06 olarak görülmektedir.

- b) **Eşik değeri (Sill):** Yarıvariogramın maksimum değerlerine ulaştığı değer yarıvariogramın “*tepe varyans*” değerini vermektedir. Gözlem noktaları bu değer etrafında değişim gösterir. Şekil 5’de, eşik değeri 0,17’dir. Eşik değeri ile kontrolsüz etki arasındaki fark 0,11’dir.
- c) **Etki uzaklığı (Range):** Yarıvariogramın eşik değerine ulaştığındaki mesafe “*etki uzaklığı*” olarak bilinir. Büyük olasılıkla, bu aralık dışındaki otokorelasyon sıfırdır.

Örnek sayısı arttıkça, $X + h$ uzaklığı ve $\gamma(h)$ değerinin grafik üzerinde gösterimi ve yorumu güçleşmektedir. İşlemler daha kompleks hale gelmektedir. Bu problemin çözümü için deneysel yarıvariogram oluşturmak gerekir. Deneysel yarıvariogram Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu’nu çeşitli uzaklık sınıflarına ayırıp, her bir uzaklık sınıfı içinde ortalama değeri hesaplayarak elde edilir. Dolayısıyla her bir h uzaklığı için deneysel yarıvariogram aşağıdaki formülle hesap edilir (Bivand, vd., 2008).

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

Burada $N(h)$ belirli h mesafesi ile ayrılan örnek çift sayısını, $Z(X_i)$ ve $Z(X_i + h)$ değişkenlerin X_i ve $X_i + h$ konumlarındaki değişkenlerin değerlerini göstermektedir (Isaaks ve Srivastava, 1989; Bivand, vd., 2008; Ly, vd., 2011).

Yarıvariogramın hesaplama doğruluğu mevcut gözlem noktaları ile orantılıdır. Hohn (1999) ve Olea (1994) yarıvariogram tahmini için üç kuraldan bahsetmişlerdir: i) yarıvariogramın her hesaplanan değeri için örnek çift sayısı 30’dan büyük olmalıdır, ii) seçilen aralıktaki yarıvariogram, tipik olarak kısa mesafede artmakta ve üç yada dört değerle gösterilmelidir, iii) sınıfların sayısı ile çarpılan maksimum adım mesafesi, en

uzun mesafenin yarısına eşit olmalıdır. Değişkenlerin mekânsal değişimleri hakkında önemli bilgiler deneysel yarıvariogramdan elde edilebilir. Ancak, deneysel yarıvariogram enterpolasyon sürecinde doğrudan kullanılamaz. Değişkeninin özelliklerinin belirlenmesinde ve özellikle örneklenmemiş noktalardaki değerlerinin tahmininde, yarıvariogramı bütün uzaklıklarda bilmek gerekir. Bu yarıvariogram modellemeyi yani, deneysel yarıvariogram değerlerine bir fonksiyon uyarlamayı gerektirir. Deneysel yarıvariograma matematiksel bir modelin oturtulması (fit edilmesi) işlemiyle ikinci tip yarıvariogram olan “teorik yarıvariogram” elde edilmiş olur. Teorik yarıvariogramın belirlenmesi, mekânsal modelin oluşturulması için mekânda bulunan bağımlılık kuralının bulunması anlamına gelmektedir (Aydın ve Çiçek, 2015). Kriging analizleri sırasında kullanılan teorik yarıvariogramlar, Kriging denklemlerinin çözülebilir olması için bazı sayısal özelliklere oturtulmuş durumundadır. Bu modeller, teorik yarıvariogram olarak kabul edilmiş bir model palet içerisinden seçilir. En çok kullanılan teorik yarıvariogram modelleri aşağıda yer almaktadır:

Spherical:
$$g(h) = \begin{cases} c \cdot \left(1.5 \left(\frac{h}{a}\right) - 0.5 \left(\frac{h}{a}\right)^3\right) & \text{if } h \leq a \\ c & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Exponential:
$$g(h) = c \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right)\right)$$

Gaussian:
$$g(h) = c \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-3h^2}{a^2}\right)\right)$$

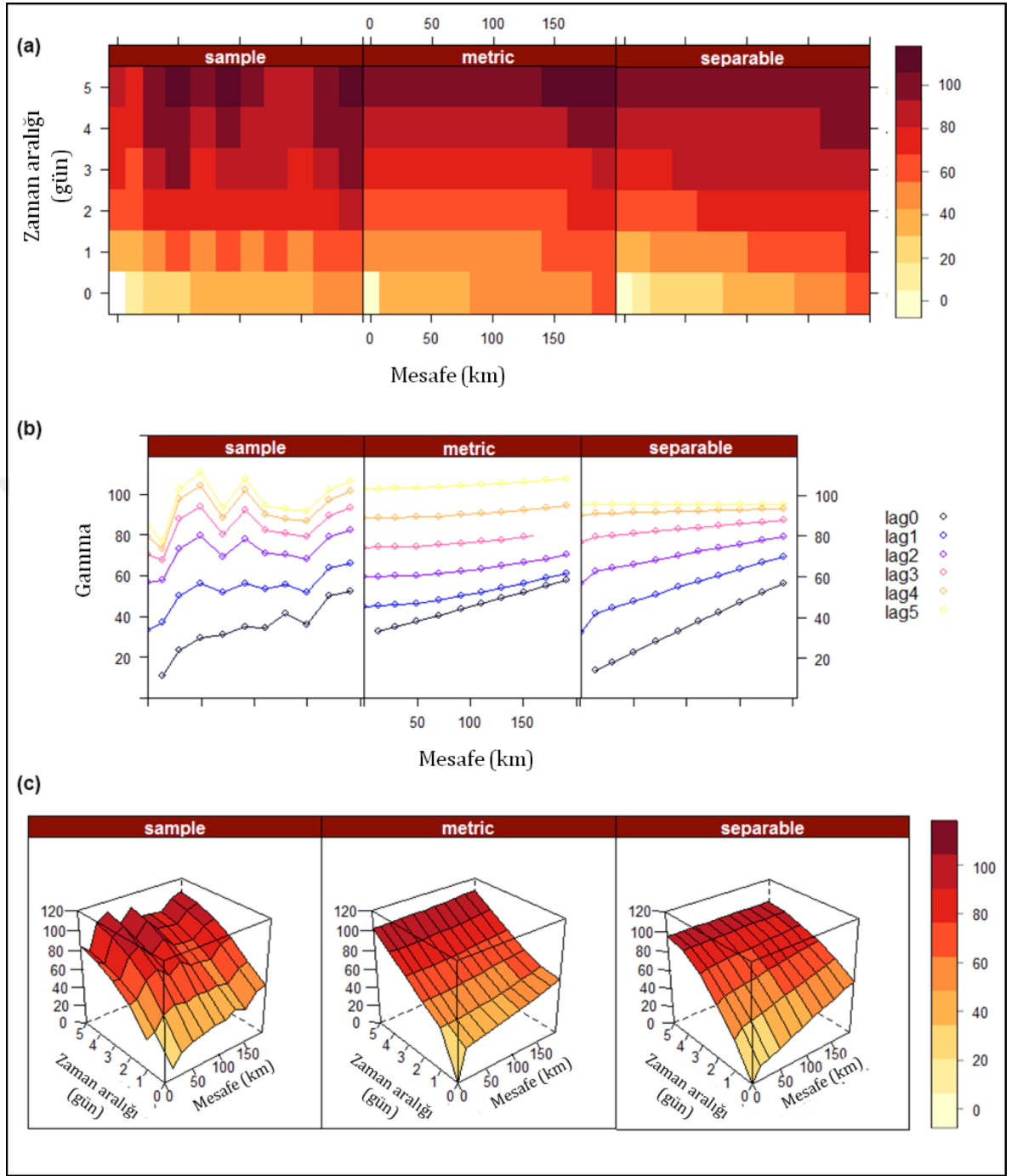
Nugget:
$$g(h) = \begin{cases} 0 & \text{if } h = 0 \\ c & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Eşitliklerdeki h , adım mesafesini, a , etki uzaklığını ve c , eşik değerini temsil etmektedir (Bivand, vd., 2008).

Spherical model, yarıvariogramda belirlenen c değerinin, a değerine kadar ulaştığını gösterir. Spherical yarıvariogram, orijinden başlayarak artan h uzaklığı ile artar. a değerine ulaştığında, artışını durdurur. Bu uzaklıkta yarıvariogram değeri c değerine eşittir. Exponential modelde çizilen yarıvariogram bir a değerine sahip değildir. Eğri asimtotik olarak c değerine ulaşır. Gaussian modeli orijinde parabolik davranış gösteren tek yarıvariogram modelidir. h uzaklığı arttıkça eğri asimtotik olarak c değerine yaklaşır. Nugget modeli, bir lokasyondan diğerine ani olarak değişen bir değişkenin davranışını temsil eder. Diğer teorik modellere (Circular, Linear, Power, Spline vb.) burada yer verilmemiştir. Mekânsal değişkenliğin yön ile değişmediği yarıvariogramlar, izotropik olarak tanımlanır. Bunun tam tersi mekânsal değişkenlik yön ile değişirse, anizotropi oluşur. Anizotropik yönler ve anizotropinin derecesi teorik yarıvariogramda genelde dört ana yön olmak üzere, farklı yönlerin hesaplanması ile belirlenebilir. Yönlü yarıvariogramlar aynı eşik değerlerine, farklı etki uzaklığı değerlerine sahipse “*geometrik anizotropi*” oluşur. Değişkenin dağılım mesafelerinin yönlere göre farkından kaynaklanmaktadır. Yönlü yarıvariogramlarda eşik değerleri yön ile değişiyorsa, etki uzaklıkları aynı ise bu durumda “*zonal anizotropi*” oluşur. Yarıvariogram eğrisi beklenen eşik değeri yarıvaryans değerine ulaşmamaktadır.

Yukarıda bahsedilen bilgiler sadece mekânsal ölçekte bağımlılık kuralını tanımlamayı hedeflemektedir. Oysa ki birçok hidrolojik değişken, mekânsal-zamansal olarak çalışılabilmektedir. Örneğin Rouhani ve Myers (1990) yaptıkları çalışmada, aylık yağışın hem mekânsal, hem de zamansal dağılımını çalışmışlardır. Geleneksel jeostatistik uygulamalarda kullanılan veriler, genellikle belirli bir mekân ve zaman

içindeki belirli bir noktadan (yani, sadece tek bir zamanda) alınmış örneklerden oluşur. Diğer taraftan, bazı veriler hem zaman hem de mekân bileşenlerine sahip olabilir. Başka bir ifadeyle, belirli bir mekândaki değişik gözlem noktalarında, değişkene ait gözlemler belirli bir zaman sürecinde yapılmış olabilir, yani değişkenin zaman serileri mevcut olabilir. Bu tür değişkenlerin, örneklenmeyen mekânsal konumları ve/veya örneklenmemiş zamanları, modellenen fenomenin hem mekânsal hem de zamansal davranışlarını göstermek için jeostatistik yöntemlerden mekânsal-zamansal analizleri kullanmayı gerektirmektedir (Xu, vd., 2011). Jeostatistik, mevcut mekânsal tekniklerin zaman boyutunu da içine alacak şekilde genişletilmesiyle, mekânsal-zamansal süreçlerin modellenmesine yönelik bir takım yöntemler sunar. Bu yöntemler topluluğu, jeostatistikte mekânsal-zamansal modelleme olarak adlandırılır. Bu durumda zaman, geometrik veya zonal anizotropik bir boyut olarak ya da mekânsal-zamansal durağanlık hipotezi ile mekânsal-zamansal korelasyonunun bir kombinasyonu olarak işlem görecektir (Rouhani ve Myers, 1990; Bogaert, 1996). Mekânsal-zamansal çalışmada, değişkene ait mekânsal ve zamansal koordinatların tamamı ayrı tutularak, ayrı alanlarda, iki farklı basit model gösterilir. Bu yüzden mekânsal-zamansal yarıvariogram analizi, mekânsal ve zamansal olmak üzere, eşik değer, etki uzaklığı, kontrolsüz etki parametrelerinin belirlenmesi de dâhil analizlerin ayrı ayrı gerçekleştirildiği bir yöntemdir. Kovaryans işlevi sadece zamansal fonksiyonun ve sadece mekânsal fonksiyonunun ürünüdür. Modellenen fenomen 3D yarıvariogram ile gösterilir (Şekil 6).



Şekil 6. (a) Mekânsal yarıvariogram haritası, **(b)** her adım mesafesi için zamansal yarıvariogram, **(c)** Türkiye'nin 1976–2010 yıllık ortalama toplam yağışın, 5 yıllık zamansal adım mesafeleri ile, mekânsal-zamansal yarıvariogramının 3D tel kafes gösterimi örneği

Kaynak: Raja vd. (2016).

Ayrılamayan modellerden, ürün model (Rodríguez-Iturbe ve Mejía, 1974), metrik model (Dimitrakopoulos ve Luo, 1994), entegre ürün model (Cressie, 1993) ve ürün toplamı model, mekânsal-zamansal otokorelasyon yapısının modellenmesi için önerilmektedir (De Cesare, vd., 2001; De Cesare, vd., 2002). Bu modeller, ayrılan modellere göre, mekân ve zaman arasında daha çok etkileşim göstermektedir. Bu çalışmada ayrılan model seçilmiştir. Bunun nedenleri: (a) mekânsal yarıvariogram analizleri gibi veriye daha anlaşılır teknikler kullanılarak oturtulması; (b) iki belirgin unsura bağlı olan kovaryans fonksiyonu hesaba dâhil edilerek, ortak mekânsal-zamansal kovaryanslarının hesaplanabilmesidir (Mitchell, vd., 2006).

Yarıvariogram analizinde bağımlılık kuralı belirlendikten sonra, çalışma alanında örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerlerin tahmininde Kriging yaklaşımları kullanılır. Tahmin işlemi, bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılır. Kriging tahmininin basit formülü aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

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

Burada n , gözlemlenen toplam örnek sayısı, $\hat{Z}(X_0)$ konumlarındaki enterpolasyon değeri X_0 , $Z(X_1) \dots Z(X_i)$ konumlardaki gözlemlenen değerler, X_1 ile X_i , ve $W_1 \dots W_i$, verinin mekânsal korelasyon yapısı modelinden oluşturulan ağırlıklardır ve genellikle geçerli bir yarıvariogram modelidir (Cressie, 1993). W_i ağırlıkları, Kriging yapısının çözülmesi ile bulunur.

$$\sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_i - X_j) - W_j \sigma_j^2 + \mu = \gamma(X_0 - X_j) \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^N W_j = 1$$

gamma değerleri $\gamma(X_0 - X_j)$ ve $\gamma(X_i - X_j)$ tahmin için hedef havza i ve komşuları j 'nin ve iki komşu arasında sırasıyla j ve k nin kullanıldığı teorik yarıvariogramdan elde edilen beklenen yarıvaryans değerleridir (veya yarıvariogram değerleridir). σ_j^2 terimi, ölçüm hatasından veya küçük ölçekli değişkenlik durumunda gözlemlenen değişkendeki yerel belirsizliği temsil etmektedir. Son olarak μ Lagrange parametresini ifade etmektedir (Skøien ve Blöschl, 2007).

Zaman, basit bir diğer boyuttur. Bundan dolayı, Kriging tahmininde ya da Kriging tahmin edicisinde değişiklik yapmaya gerek yoktur. Örneklenmemiş mekânsal-zamansal Kriging analizi aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\hat{Z}(X_0) = \sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^p W_{i\alpha} Z(X_{i\alpha})$$

p , tahmin için olan zaman adımlarının sayısıdır. Kriging yapısının genişletilmesi,

$$\sum_{i=1}^N \sum_{\beta=1}^p W_{i\beta} \gamma(X_{i\alpha\beta} - X_{j\alpha\beta}) - W_{j\alpha} \sigma_j^2 + \mu = \gamma(X_{0\alpha} - X_{j\alpha})$$

için $j = 1, \dots, n \mid \alpha = 1, \dots, p$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{\beta=1}^p W_{i\beta} = 1$$

$n.p + 1$ doğrusal eşitliklerinden oluşur. $\gamma(X_{i\alpha\beta} - X_{j\alpha\beta})$ ve $\gamma(X_{0\alpha} - X_{j\alpha})$ birimleri mekânsal-zamansal teorik yarıvariogramdan bulunur (Bogaert, 1996; Kyriakidis ve Journel, 1999; Skøien ve Blöschl, 2007).

Temel olan bazı Kriging yaklaşımları OK, SK, KED, RK, UK ve CK'dir. KED, UK, RK ve CK yaklaşımları ise, "hibrit" grubu Kriging, yani durağan olmayan jeostatistik yöntemlerinin parçalarıdır (McBratney, vd., 2000). Durağan olmayan jeostatistik teknikleri, mekânsal tahmini ve enterpolasyonu artırmak için eğim veya yükseklik gibi yardımcı değişken kullanırlar. Bu yöntemlerin genel sınıflandırması, kullanılan girdi verisinin özelliklerine dayanmaktadır (Hengl, vd., 2003).

- a) Yardımcı değişkene ait bilginin tüm grid noktaları için olmadığı ve yardımcı değişken sayısının az olduğu durumlarda tahmin, CK kullanılarak gerçekleştirilir.
- b) Yardımcı değişkene ait bilginin tüm grid noktaları ve modellenen değişken ile ilişkili olduğu durumlarda, eğilim modeline sahip bir Kriging yöntemi kullanılır.

Bu amaç için üç farklı Kriging yaklaşımı benimsenmiştir:

- (i) Bunlardan birincisi, Matheron (1969) tarafından ilk ortaya atılmış UK yöntemidir. Değişen ortalamaya sahip, sadece koordinatların kullanıldığı Kriging yöntemidir.
- (ii) İkincisi, koordinatlar yerine, eğilim veya uzaklık gibi yardımcı değişkenlerin tanımlandığı KED yöntemidir. KED, yardımcı değişken kullanılarak gerçekleştirilen enterpolasyon yöntemlerinden en çok tercih edilenidir.
- (iii) Üçüncüsü, uzaklık ve artıkların ayrı ayrı oturtulduğu ve sonra toplandığı RK yöntemidir.

Bu çalışmada, mekânsal-zamansal KED yöntemi kullanılmıştır.

Bilinmeyen değerlerin tahmini için gerçekleştirilen KED analizinde, tahminler şu şekilde yapılmaktadır.

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

için

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

$Z(X_i)$ hedef değişken iken, q_k değerleri tahmin değişkenlerini temsil etmektedir yani, yeni konum X_0 'daki değerlerdir. W_i^{KED} , KED ağırlıkları ve r ise tahminlerin sayısıdır. Zaman boyutunun mekânsal-zamansal Kriging'e eklenmesi şu şekilde tarif edilmektedir.

$$\hat{Z}_{\text{KED}}(X_{0\alpha}) = \sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^p W_{i\alpha}^{\text{KED}} Z(X_{i\alpha})$$

Açılımı aşağıda verilmiştir.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{\beta=1}^p W_i^{\text{KED}} \gamma(X_{i\alpha\beta} - X_{j\alpha\beta}) - W_{j\alpha}^{\text{KED}} \sigma_j^2 + \mu = \gamma(X_{0\alpha} - X_{j\alpha})$$

$$j = 1, \dots, n \mid \alpha = 1, \dots, p \text{ için}$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{\beta=1}^p W_{j\beta}^{\text{KED}} \cdot q_k(X_{i\alpha} - X_{j\alpha}) = q_k(X_{0\alpha})$$

Goovaerts'e (1997) göre, KED hesaplanmadan önce bazı genel gereksinimlerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Hedef ile tahmin ediciler arasındaki ilişki doğrusal olmalıdır,
- Tahmin edicilerin değerleri, tüm birincil veri konumlarında (X_i) ve tahminlerin yapıldığı tüm yeni konumlarda (X_0) bilinmelidir,
- İkincil değişken, KED'in değişkenliğini göz ardı etmek için, mekânda çok az değişiklik göstermelidir.

2.5.1.1 Mekânsal-Zamansal Kriging Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Mekânsal-zamansal Kriging yaklaşımlarının en büyük avantajlarından birisi, verinin hem mekânsal hem de zamansal korelasyonunu ele almasıdır. Böylece, daha kararlı yarıvariogram tahmini ile daha kesin enterpolasyon olanağı sağlamaktadır (Largueche, 2006; Zeng, vd., 2013). Ayrıca, yalnız mekânsal değişkenliği ele alan Kriging yaklaşımları, değişkenin yalnızca mevcut gözlemlerini ele alarak modelleme yapar. Fakat mekânsal-zamansal Kriging yaklaşımları, mekânsal yaklaşımda her zamana karşılık ayrı mekânsal yarıvariogram oluşturmak yerine, tek bir mekânsal-zamansal yarıvariogram oluşturarak tahmin yapar. Bu özelliği daha az iş gücü gerektirmektedir. Jeostatistiğin ve genel olarak Kriging'in, geleneksel istatistiğe göre avantajı, yardımcı değişkenin kullanılmasına olanak sağlamasıdır. Çoğu çevresel fenomenin davranışı, mekân ve zamanda belirli faktörlerden etkilenmektedir. Bu yüzden belirli bir çevresel fenomeni tahmin ederken, bu fenomeni etkilediği düşünülen faktörlerin istatistiksel prosedüre dâhil edilmesi faydalı olur.

Mekânsal-zamansal Kriging yönteminin diğer bir avantajı güçlü teorik temellere dayandıklarından, ilgilenilen tüm alanda yarıvariogramın sabit olması gibi, doğada nadir görülen bazı güçlü varsayımlara ihtiyaç duymasındır (Largueche, 2006). Pratikte, gerçek veri dizileri nadiren sabite yaklaşırlar. Bu durum KED gibi sabit olmayan modeller yardımıyla çözülürler. Fakat bu metodların da bazı ideal durumlarla sınırlı olduğu bilinmektedir. Mekânsal-zamansal Kriging benzer varsayımlara dayanmaktadır. Mekânsal-zamansal yarıvariogram analizinin, mekânsal ve zamansal ayırımından kaynaklı bazı önemli dezavantajları vardır. Mekânsal-zamansal ayırım, mekânsal davranışın tüm zamansal noktalarda, zamansal davranışın tüm mekânsal noktalarda aynı olması gerektiğini kabul eder (Heuvelink, vd., 1997; Snepvangers, vd., 2003). Ancak uygulamada farklı mekânsal şablonlar, farklı zamanlarda açığa çıkmaktadır. Farklı yerlerdeki zaman dizileri, farklı davranış şablonları gösterebilmektedir. Bu yüzden tüm mekânsal-zamansal ayırım fiziksel açıdan gerçek dışıdır. Bu problemin üstesinden gelen modeller Rodríguez-Iturbe ve Mejía (1974) ve Bogaert (1996) tarafından önerilmiştir. Ancak bu modellerin veriye uygun şekilde uyma yetenekleri sınırlı olmaktadır (Cressie ve Huang, 1999). Yukarıda bahsedilen dezavantajlardan etkilenmeyen, daha gelişmiş, yarıvariogram yapısının ayrılmasına izin vermeyen, matematiksel ve istatistiksel açıdan doğru modeller mevcuttur (Cressie ve Huang, 1999; De Cesare, vd., 2001; De Iaco, vd., 2002). Bu modeller, fiziki destekten genellikle yoksun ve çevre bilimleri açısından daha az ele alınan yapay modellerdir.

2.5.2 Yapay Sinir Ağı (YSA)

YSA yöntemi uygulanmadan önce, YSA için çıktı verisi oluşturacak olan akışın, Bodrum ilçesinde belirlenmiş özel lokasyonlar için hesap edilmesi gerekmektedir. Bu noktada, yağış-akış modeli oluşturmada bazı kavram ve hesaplamalar hakkında bilgi vermek faydalı olacaktır.

Akışın en yüksek hızının doğru tahmini, akış dağılımının zamanı ve akış hacmi, drenaj sisteminin inşası, dizaynı ve tüm planlamalar için temel sağlamaktadır. Akış değerleri, alanda sel potansiyeli için bir değişken olarak kullanılabilir. Akış analizi sonucunun bir yaklaşım olduğunu anlamak önemlidir. Akış değerlerinin hesaplanması için kullanılan iki genel bilgisayar yöntemi vardır. Bunlar Natural Resources Conservation Service (NRCS) metodolojisi, diğeri RM (Modified Rational Method'un bir uzantısı olarak)'dir (Gribbin, 2013). NRCS method, RM'ye göre daha gerçekçi akış değeri hesaplaması yapmaktadır. Ancak, bu çalışmada RM seçilmiştir. Çünkü, RM genel olarak küçük şehir havzalarında kullanılmaktadır. Çalışma alanının küçük olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışma için RM metodu uygundur. Method, seçili yağışlı bir dönemde akışın en yüksek hızını hesap etmek için ampirik doğrusal denklem kullanmaktadır. Eğer toplam fırtına süresi için kullanılıyorsa bu method akış hacminin hesap edilmesine imkan tanır. RM kullanımı küçük drenaj alanlarıyla sınırlıdır (<350.000 m²).

RM'ye ait formül aşağıda verilmiştir.

$$Q = kCiA$$

formülde metrik hesaplama için $k = 0,00278$, C , akış katsayısını, i , mm/saat'te yağış yoğunluğunu ve A ise, km²'de drenaj alanını ifade etmektedir.

Akış katsayısı C , bir fırtına için ortalama yağış yoğunluğu verilmiş havzada oluşan akış miktarını gösteren boyutsal bir orandır. Akış katsayısı, akışın derinliği ve toplam yağış derinliği oranıdır.

$$C = \frac{R}{P}$$

Formülde R , toplam akış derinliğini, P , toplam yağış derinliğini göstermektedir. Akış katsayısı, yağışın akışa dönüştürüldüğü oranı ifade eder (Çizelge 2).

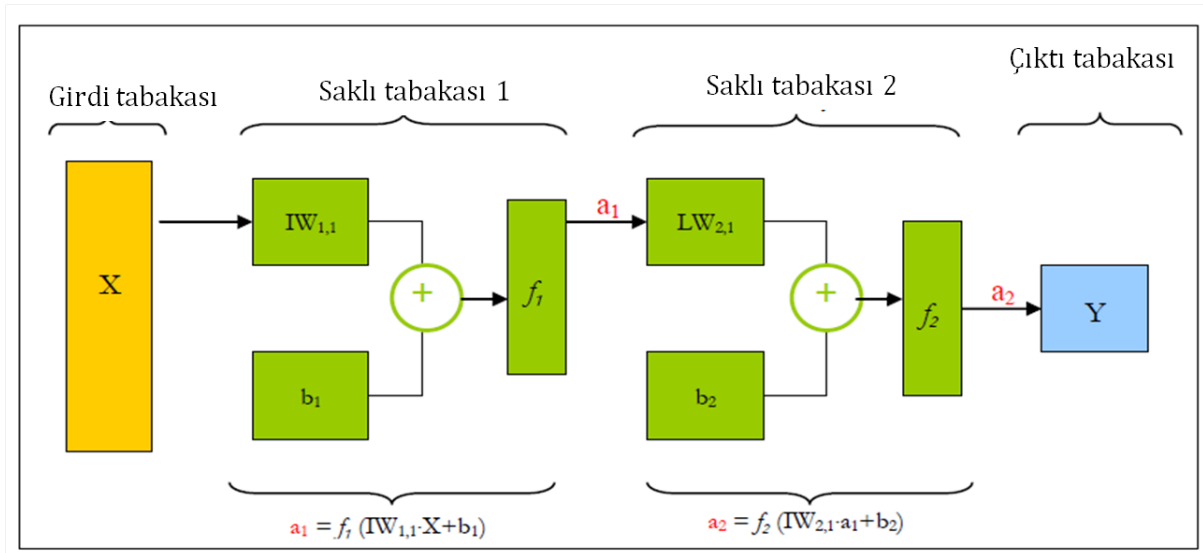
Çizelge 2. RM için kullanılan akış katsayıları

Tanım	Akış katsayısı
<i>İş</i>	
Şehir merkezi	0,70–0,95
Mahalle	0,50–0,70
<i>Yerleşim</i>	
Müstakil ev	0,30–0,50
Çok aileli müstakil ev	0,40–0,60
Çok aileli sıra evler	0,60–0,75
Banliyö yerleşim	0,25–0,40
Apartman	0,50–0,70
Park alanları, mezarlık alanlar	0,10–0,25
Oyun alanları	0,20–0,35
Demiryolu	0,20–0,40
Gelişmemiş alanlar	0,10–0,30
Sürücü ve yürüme yolları	0,75–0,85
Çatı	0,75–0,95
<i>Sokak</i>	
Asfalt	0,70–0,95
Beton	0,80–0,95
Taş	0,70–0,85
<i>Çimenlik; kumlu zemin</i>	
Düz, %2 eğimli	0,05–0,10
Orta, %2-7 eğimli	0,10–0,15
Dik, %7 eğimli	0,15–0,20
<i>Çimenlik; ağır zemin</i>	
Düz, %2 eğimli	0,13–0,17
Orta, %2-7 eğimli	0,18–0,22
Dik, %7 eğimli	0,25–0,35

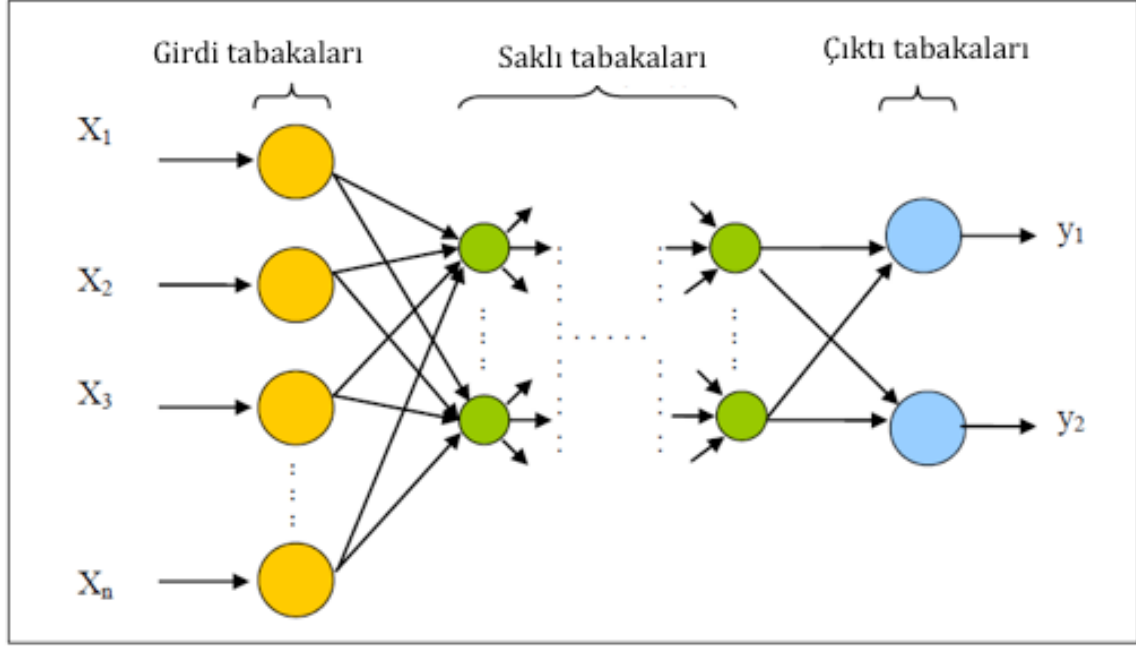
Kaynak: Thompson, 2004.

YSA yapısının detaylı olarak açıklanması ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology (2000a, 2000b) tarafından sağlanmıştır. YSA birkaç nöron tabakasından oluşmaktadır. Birinci veya en düşük tabaka dış bilgilerin

alındığı girdi tabakasını, sonuncu veya en yüksek olan tabaka, sonuçların elde edildiği çıktı tabakasını oluşturmaktadır. Girdi ve çıktı tabakaları, gizli tabakalar olarak bilinen bir veya daha çok ara tabaka ile ayrılmaktadır (Şekil 7). Yanyana tabakalardaki nöronlar genellikle aşağıdaki tabakadan, yukarıdaki tabakaya çevrimsel yaylarla bağlıdır. Bilgi, her bağlantının büyüklüğünü veya bağlantı gücünü temsil eden ağırlıklar ile bir nörondan diğer nörona ulaşmaktadır. Nöronda, gelen girdi sinyaline uygulanan ve aktivasyon fonksiyonu olarak bilinen, doğrusal olmayan transformasyon fonksiyonu, çıktı sinyali elde etmek için kullanılır. Tahmin uygulamalarında YSA'nın girdileri, bağımsız veya tahminci değişkenlerdir. Her gizli tabakada ağırlık matrisi, eğilim vektörü ve bir aktivasyon ya da transfer işlevi ile ilişkilendirilmiştir. Her tabakadaki nöronların tanımlanması ve aralarındaki bağlar Şekil 8'de, bir geri yayılım ağ örneği olarak gösterilmektedir. Bilgi, ağ üzerinden ileriye doğru bir yönde akmaktadır ve geri yayılım etkileri yoktur.



Şekil 7. Sadeleşmiş iki katlı bir ağ örneği



Şekil 8. Çok katmanlı YSA yapısı

Her çıktı, aktivasyon işlevi değerinin girdi vektörü ve ağırlık vektörüne göre mevcut nöron eğiliminin çıkarılması ile hesap edilir. Tek bir gizli katmana sahip ağ yapısı ve k çıktısı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$f_k(x, y) = w_{k0} + \sum_{j=1}^q w_{kj} g(w_{j0} + \sum_{i=1}^p w_{ji} x_i)$$

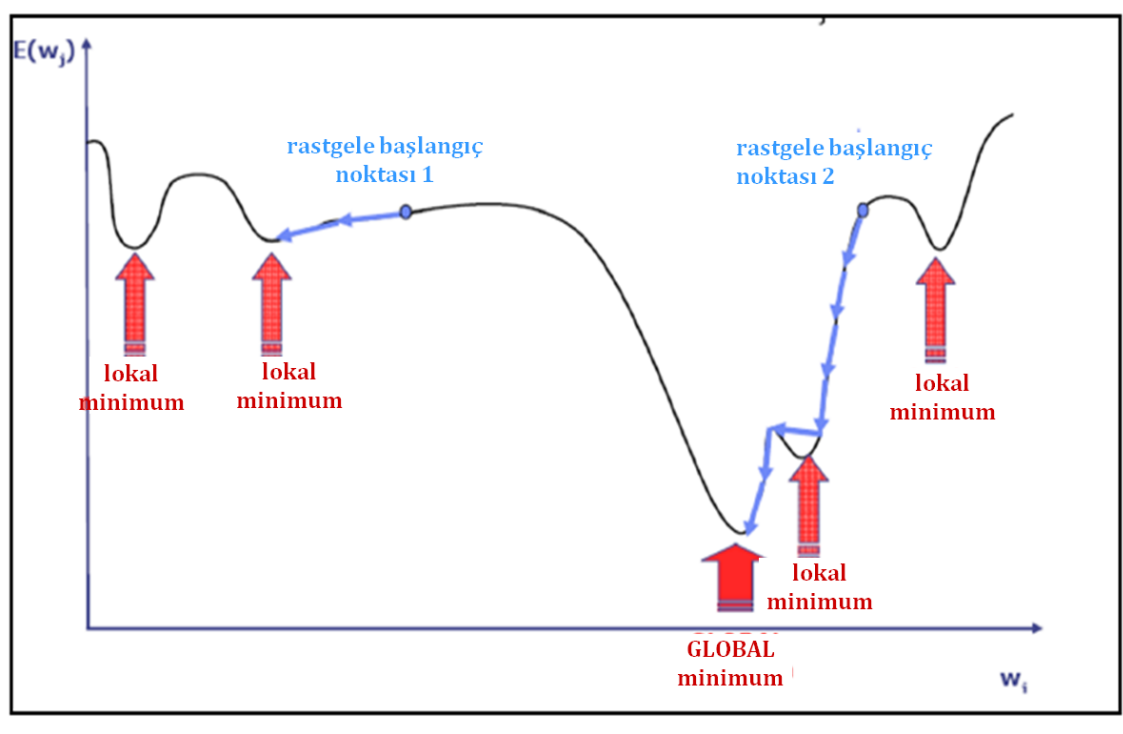
p , girdi sayısını, q gizli tabakadaki nöron sayısını, g , gizli tabakada yeralan nöronların aktivasyon işlevini, x ile w ise, ağırlıkları göstermektedir. i ve j indisleri sırasıyla çıktı nöronu ve gizli tabaka nöronlarına karşılık gelmektedir. Ancak, denklem yorumlanamadığından YSA nadiren bu şekilde ifade edilmektedir.

YSA, analizlerde kullanılmadan önce eğitilmelidir. Bu süreçte, eğitilecek veri setini oluşturan girdi ile çıktı arasındaki hataları asgariye indirmek için, yay ağırlıkları W belirlenir.

$$E_D = \sum_{i=1}^n (t_i - a_i)^2$$

E_D , hedefler t arasındaki hatanın karesinin toplamını vermektedir. YSA, girdi-çıkı veri setindeki i gözlemler için a yanıtını vermektedir. Eğitim girdi verisi, girdi değişkenlerinin vektörleri veya eğitim modelleri biçimindedir. Girdi vektöründeki her eleman, ağ girdi tabakasındaki girdi nöronlarına karşılık gelmektedir. Bu yüzden girdi nöronlarının sayısı, girdi vektörlerinin boyutuna, yani bağımsız değişken sayısına eşittir. Toplam mevcut veri, eğitim, doğrulama ve test etme dizisi olmak üzere 3'e ayrılmaktır. Eğitim dizisi, ağırlıkların tahmini için kullanılır. Onaylama dizisi, eğitim sürecinin durdurulmasına yardım eder. Aksi durumda, YSA'ları mevcut veri setine uyum sağlar ve görülmeyen veri setinin genelleme özelliğini kaybeder. Ağ, görülmeyen veya ağın performansının ölçüldüğü veri seti yani test dizinde test edilmektedir.

Hataların minimum seviyede olması istenir. Bunun için, Hataların Karesi Toplama (The Sum of Squared Errors, SSE) veya Ortalama Kare Hataları (Mean Squared Errors, MSE) değerleri olması gereken aralığa ulaşana kadar, eğitim süreci tekrarlamalı olarak her nöronun ağırlığını ayarlayarak çalışmaya devam eder. İlk ağırlıklar rastgele seçilmektedir. Bir çalışmada, algoritmanın hata yüzeyinin en düşük değere düşmesi mümkündür (Şekil 9). Bu durum için ağın birkaç defa eğitilmesi önerilmektedir. Bunun için genel iki tür eğitim algoritması mevcuttur:



Şekil 9. Global ve yerel minimum hataların gösterimi

(i) Bunlardan birincisi, Eğitilmiş (Supervised) olarak bilinir. Hedef veya çıktının bulunduğu durumda ağırlık, çıktı ile hedef arasındaki hatayı minimum seviyeye düşürmek için, en iyi ağırlık dizisinin bulunması prensibine göre çalışır.

(ii) İkincisi, Eğitimsiz (Unsupervised) türüdür. Eğitimsiz, önceye ait bilgi olmadan, ağ yapısına belli bir girdi veri seti verilmesiyle, benzer girdi kümesi bulmaya çalışarak çalışma prensibini gerçekleştirmektedir.

Rumelhart vd. (1986) tarafından geliştirilen BP, en sık kullanılan eğitilmiş algoritmalarından birisidir. Bu algoritma, YSA'nın ağırlık ve sapmalarını, eğimin negatif durumuna göre günceller. Aşağıdaki denklem her tekrarda uygulanmaktadır.

$$x_{k+1} = x_k - \alpha_k g_k$$

x_k , k tekrarlı ağırlıkların ve sapmaların vektörlerini, g_k eğilimi, ve α_k öğrenme düzeyini göstermektedir. Eşitlik, hata fonksiyonu azaltılana kadar, başarılı bir şekilde tekrarlanarak uygulanmaktadır. Momentum faktörü (α) ve öğrenme düzeyi (ε) her bağlı ağırlığın nasıl ayarlandığını belirlemektedir. α , ağ eğitiminin hızlandırılmasında ve muhtemel salınımlarının önlenmesinde kullanılmaktadır. ε , ağ yapısında global minimum hata değerleri bulmak yerine, ağ yapısında sıkışmasını önlemek için yerel minimum hata değerlerinin bulunmasında gereklidir (Şekil 9).

Öğrenme seviyesi yüksekse, alınan adımlar daha büyüktür ve eğitim hızlıdır. Ancak, öğrenme hızının büyük olması istikrarsızlığa neden olabilir. Ayrıca, ağ performansı, ağırlıkların güncellenmesinden önce, her adımda kullanılan eğitim örneği sayısına bağlıdır (Maier ve Dandy, 1998). i ve j nöronları arasındaki bağlantı ağırlığı için ağırlık güncelleme eşitliği, aşağıda verilmiştir.

$$\Delta w_{ij}(n) = -\varepsilon \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} + \alpha \Delta w_{ij}(n-1)$$

$\Delta w_{ij}(n)$ ve $\Delta w_{ij}(n-1)$, i ve j nöronlar arasındaki n ve $(n-1)$ 'inci dönemlerdeki ağırlık artışlarını göstermektedir.

YSA yapısının seçimi için bir metodoloji geliştirilmemiştir (ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000a). Ağ yapısı belirlendiğinde, gizli tabakaların ve her tabakadaki nöronların sayısı belirlenmelidir. Bu süreçte belirli kurallar yoktur ve bu yüzden deneme yanılma yoluyla deney yapılır. Bundan kaçınmak için, Hecht-Nielsen (1987) ağ yapısının süresiz bir fonksiyona yaklaşımının mümkün olmasında, gizli tabakaların sayısı için bir üst limit önermiştir.

$$N^H < 2N^I + 1$$

N^H , gizli tabakaların sayısını, N^I , girdi sayısını göstermektedir, Rogers ve Dowla (1994) ikinci bir ilişkilendirme önermiştir.

$$N^H \leq \frac{N^{TR}}{N^I + 1}$$

Eşitlikte, N^{TR} eğitim veri dizisindeki gözlem sayısını ifade etmektedir.

YSA'nın geliştirilmesi aşamasında, öğrenim seviyesi ve momentumun belirlenmesi önemlidir. Tayfur vd. (2007) öğrenme seviyesi için 0,01 ile 0,0005 değerleri arasında bir değer seçmişlerdir. Maier ve Dandy (1999), Smith ve Eli (1995), Thirumalaiah ve Deo (1998), 0,1 değerini kullanmışlardır. Thirumalaiah ve Deo (1998), momentum değeri olarak 0,2 gibi düşük değerler seçerlerken, Maier ve Dandy (2000, 1998) yüksek momentum değerleri (0,6 veya >1) seçmişlerdir. YSA geliştirilirken girdi değişkenlerinin seçimi de büyük önem taşımaktadır. YSA yönteminin kullanıldığı çoğu hidroloji kaynaklı çalışma, nehir seviyelerinin veya akış ile yağışın önceki değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Aqil, vd., 2007; Doan ve Liong, 2004; Kalteh, 2013; See ve Openshaw, 1999; Valipour, vd., 2013; Wei, vd., 2013; Zealand, vd., 1999). Akış oluşturulurken genellikle toplam yağış kullanılmaktadır. Bazı çalışmalarda, etkili yağış, örneğin toplam yağışın eksi kayıpları kullanılmıştır (Sajikumar ve Thandaveswara, 1999; Srinivasulu ve Jain, 2006). Fakat, havza önceki nem şartlarına bağlı olduğundan ve zamanla değişiklik gösterdiğinden yağış akış modellemesinde nadiren kullanılır ve dolayısıyla etkili yağış tahmin etmek zordur. Sıcaklık (Nayebi, vd., 2006), buharlaşma terleme (Anctil ve Rat, 2005) ve toprak nemi (Karunanithi, vd., 1994) gibi diğer değişkenler de YSA modeline entegre edilebilmektedir. YSA modelinin verimliliği girdi değişkenlerine bağlıdır ve bundan dolayı modele dikkatlice entegre edilmelidir (Maier, vd., 2010). Çok fazla girdi, ağ yapısının hacmini artırır ve eğitim sürecini uzatır. Ayrıca,

girdi değişkenlerinin sayısı ile, eğitim verisindeki bağlantı ağırlıklarının oranı artacağından, uyum gösterme olasılığı da artacaktır. Girdi değişkenlerini seçme metodları çeşitlidir. Bunlar, korelasyon analizi, (Kumar ve Minocha, 2001; Olsson, vd., 2004; Sudheer ve Jain, 2004), hassasiyet analizi (Liong, vd., 2000), ilk yağış miktarını belirlemek için konsantrasyon süresi (Jain, 2005), F-istatistik metodu (Furundzic, 1998), budama algoritmaları (pruning algorithms) (Furundzic, 1998; Maier ve Dandy, 2000) ve benzerlerinden oluşmaktadır. Deneme yanılma veya korelasyon analizi girdi değişkenleri seçiminde en yaygın kullanılan yöntemlerdir (Chaipimonplin, 2010).

2.5.2.1 Hidrolojik Modellemede, YSA Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

YSA'larının yapı ve özellikleri, hem hidrolojik modellemede hem de genel anlamda bazı karmaşık görevlerin yüksek verimlilikle sonuçlanmasına imkan tanımaktadır. Başka bir ifadeyle, YSA'ları doğrusal olmayan hidrolojik süreçleri yeniden üretebilmektedir. YSA'nın nöronları arasındaki bağ, doğrusal olmayan veri işleme yapıları oluşturmakta, bunlar tüm ağa yayılmakta ve doğası gereği, yağışın akışa transformasyonu gibi doğrusal olmayan işlemlerin modellenmesini sağlamaktadır (Abrahart ve See, 2007). Ayrıca, belirli bir matematiksel denklem kullanılarak, girdi ile çıktı arasındaki ilişki belirtilmediğinden, tam olarak anlaşılmayan süreçlere de uygulanabilmektedir. Ancak, kara kutu yapısı YSA yöntemini, fiziksel tabanlı ve kavramsal modellerde, özellikle YSA'larının fiziksel anlamını anlamak için kara kutuyu açma ihtiyacından dolayı, gerçek zamanlı uygulamalarda, daha az tercih sebebi yapmaktadır (ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000a, 2000b; Dawson ve Wilby, 2001; Maier ve Dandy, 2000; Maier, vd., 2010). Fakat diğer modellerin aksine, öğrenme stratejileri gerçek zamanlı olarak

tasarlandığında ve model devamlı olarak öğrendiğinden, modele yeni veriler sağlanarak, ağırlıkları ayarlanıp değişime adapte olabilmektedir. Böylece, sabit olmayan süreçlerin ele alınmasında kendilerini yararlı hale getirebilmektedir (Coulibaly ve Baldwin, 2009). Bunun yanında; tüm problemin içindeki, şablon tanımlama veya fonksiyonel yaklaşımı da içerebilecek belirli alt görevleri verimli olarak çözmek için, YSA'ları modüler mimariye kolaylıkla entegre olabilmektedir. Bhattacharya vd. (2003) karar destek sistemine YSA'ların entegrasyonu gibi bir örnek ortaya atmışlardır.

YSA oluşumu; girdi değişkenleri, ağ yapısı, eğitim algoritması gibi kararların verilmesine gerek duysa da, kavramsal ve fiziksel tabanlı modellere kıyasla daha az zaman yoğunluğu gerektirmektedir. YSA oluşumunda, optimum ağ yapısının belirlenmesi, karar vermedeki eksiklik ve sağlamlığın noksanlığı, deneme ve yanılma ile olan süreçleri, YSA'yı en çok kullanan metod yapmaktadır. YSA'lar hızlı işlenebilir bir yapıya sahiptir. Ayrıca, sayısal olarak verimlidir. Ancak bu özellikleri, veri setinin hacmine, girdi değişkenlerinin, nöronların veya kullanılan tabakaların sayısına bağlıdır. BP gibi eğitim algoritmalarında ve ikinci derece metodlarda bazı geliştirilmeler yaşanmıştır (Ampazis ve Perantonis, 2002). YSA'larının başka bir özelliği, girdi verisindeki gürültüyle başa çıkmasıdır. Ancak, veri setinin nicelik ve niteliğine bağlı kalmaktadır. Bunun yanında, verideki gürültüyle başa çıkmak için YSA'ları büyük miktarda veriye ihtiyaç duymaktadır.

2.6 Model Değerlendirmesinde Performans Ölçümleri

Modellerin performansı bir dizi performans ölçütünün hesaplanmasıyla gerçekleştirilir. Performans değerlendirmesinin üç ana nedeni: (i) havzanın davranışını yeniden oluştururken modelin nicelik göstergesini oluşturmak (ii) model geliştirmelerinin veya modelleme metodunun değerlendirilmesi için bir yol sağlamak ve (iii) farklı modelleme çalışmalarındaki sonuçların kıyaslandırılması için bir mekanizma oluşturmaktır (Krause, vd., 2005). Dawson vd. (2007) eksik ve artı yönleri ile beraber bazı performans ölçütleri tanımlamış ve indislerin, her uygulamanın belirli ihtiyaçlarına göre seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Performans ölçümünün en temel yöntemi, gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkın araştırılması olan Çapraz Geçerlilik (Cross Validation) yöntemidir. Model davranışının sübjektif ölçümleri sistematik (örneğin tahmin altında veya üstünde) veya dinamik (taban akışı, zamanlama) olarak yapılmaktadır. Ancak, tahmin edilen ile gözlemlenen değerler arasındaki hataların daha objektif ölçülmesi gerekmektedir. Bunun için bir veya daha fazla matematiksel tahmin gerekmektedir.

Mutlak performans ölçümleri, ölçülen ve modellenen değerler arasındaki mutlak farklar hakkında bir fikir sağlamaktadır. Model oturumundaki aykırı değerlerin gösterilebilmesinde ve enterpolasyon performansının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan mutlak performans ölçümleri, Mean Error (ME), Mean Absolute Error (MAE) ve Root Mean Squared Error (RMSE) olup aşağıda verilmiştir.

ME,

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{Z}(X_0) - Z(X_i)]$$

MAE,

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{Z}(X_0) - Z(X_i)|$$

RMSE,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{Z}(X_0) - Z(X_i)]^2}$$

$Z(X_i)$, i konumundaki gözlemlenen değerdir. $\hat{Z}(X_0)$, tahmin değerini ve n örnek boyutunu göstermektedir (mekânsal-zamansal ölçeklerde).

MAE, ME ve RMSE ölçümlerinin üst limit değeri yoktur. 0 değeri gözlemlenen ile tahmin edilen değerler arasındaki mükemmel uyumu göstermektedir (Legates ve McCabe, 1999). Sapmaların mutlak değerini kullanan MAE ölçümünün aksine ME, sapmaların işaretini dikkate almaktadır. ME, küçük ve büyük değerlerdeki eşit ağırlıkları ele almaktadır ve olası eğimleri belirlemede kullanılmaktadır. Düşük değerli ME sonucunda, yüksek ve alçak tahminlerin birbiriyle ilişkisini iptal eden bir durum göstermekte ve diğer ölçümlerle beraber kullanılmaktadır. RMSE, büyük ölçekli olaylarda tahmin edilen değerlerin farkları yani tahmin hatalarını iki katına çıkarmaktadır. Yüksek ölçekli olaylar genellikle model tahmininde açığa çıkan en büyük hatada olmaktadır. RMSE, MAE'den biraz daha büyüktür.

R^2 ,

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

$$\text{buradan, } \sigma_{y|x}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \text{ ve } \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

$\sigma_{y|x}^2$, x_i ile doğrusal denklem y_i arasındaki ilişkiyi açıklayan ve tahmin esnasında oluşan hatalar toplamının karesidir. $y = a + bx$. σ_y^2 ise, y 'nin varyasyonunu temsil etmektedir. R^2 , model tarafından varyansın ne kadarının açıklandığını göstermektedir. 0 değeri modelin açıklanmadığını, 1 değeri modelin iyi açıklandığını ifade etmektedir. Legates ve McCabe (1999), model kusurluyken, verilerde ortalama ve varyanslara duyarsızlık ve hassasiyet gibi ölçümde tanımlanan bazı problemler olduğunda da yüksek uyum değerleri gösterebildiklerini vurgulamışlardır. Yine de, modellerin performansını değerlendirmede kullanılan bir ölçümdür.

Modelin doğruluğunu tahmin etmek, sadece gelecekteki tahminini bilmek için değil, aynı zamanda verilen diziden modeli seçmek (model seçimi) için de önemlidir. Bazı durumlarda, mutlak doğruluk daha az önemlidir ve verilen düşük varyans karşılığında eğilim tercih edilir. Eğilim tüm modelleri benzer şekilde etkilemektedir (Kohavi, 1995). Çapraz Geçerlilik modelin sağlamlığını belirleyen ve bu amaç için geliştirilen kullanışlı bir istatistik tekniğidir (Zhang, vd., 1999).

Leave one out yöntemi tamamıyla Çapraz Geçerlilik analizinde gerçekleştirilen bir tür "*k fold cross-validation*" biçimidir. n , veri setindeki örnek sayısını temsil eder. Adından da anlaşılacağı gibi, bu metod, bir konum noktasındaki verinin geçici olarak kaldırılmasını ve değerinin tahmin edilmesini içermektedir. Bu süreç daha sonra tüm

örneklerde yani, her konumdaki gözlemlenen ve tahmin edilen değerler içinde tekrarlanır ve hata değeri olarak kayıt edilir.



3 BULGULAR VE TARTIŞMA

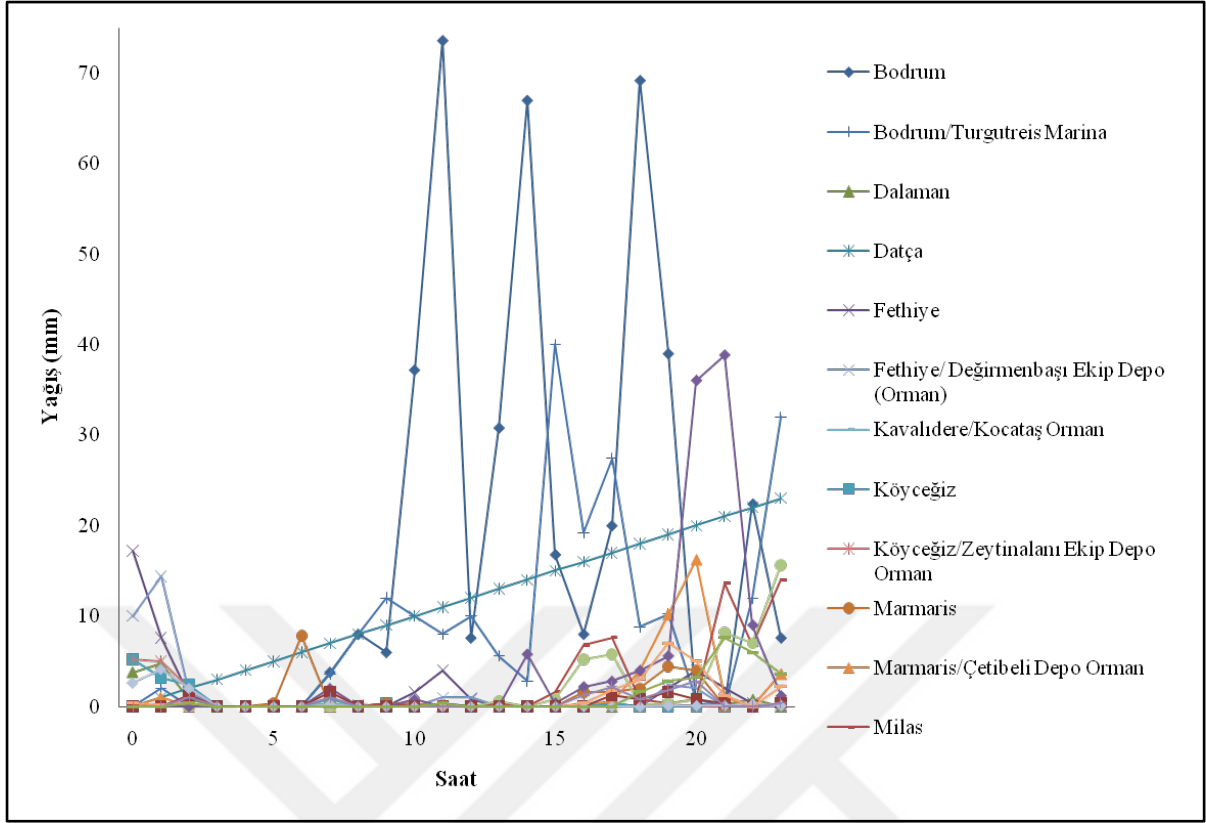
Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın başlangıç noktasını, Türkiye'nin Ege Bölgesi'nde yer alan Muğla ilindeki aşırı yağış olaylarının açıklanması oluşturmaktadır. Ege Bölgesi'nin karakteristiklerinin tanımlanması, modelleme için veri mevcudiyeti ve bölgede 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015'de meydana gelen aşırı yağış olayları için mekânsal-zamansal Kriging tekniği kullanılarak yağış modelleri oluşturulması yağış-akış ve YSA modelleri oluşturmadan önce yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasını, akış değerlerinin Bodrum ilçesinde belirlenmiş lokasyonlar için hesap edilmesi oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlar YSA'da kullanılmak üzere yeniden düzenlenmiştir. Veri seti; eğitim testi ve bağımsız doğrulama veri seti olarak ikiye ayrılmıştır. Akış sonuçları ve bu lokasyonların yağış değerleri, YSA modelinde girdi ve çıktı parametresi olarak verilmiştir. Optimum saklı tabaka ve nokta sayısı seçildikten sonra, çalışmanın üçüncü aşaması gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, YSA eğitilmiş ve tahmin doğruluğu için test edilmiştir. Çalışmanın tüm aşamalarının başında veri setleri, tüm analizlerin özellikleri doğrultusunda ve belirtilen yöntemlerle uygun olarak ayarlanmıştır. Aşamaların sonunda ise, analiz sonuçları için performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

3.1 Kriging Sonuçları

3.1.1 Verinin Açıklanması

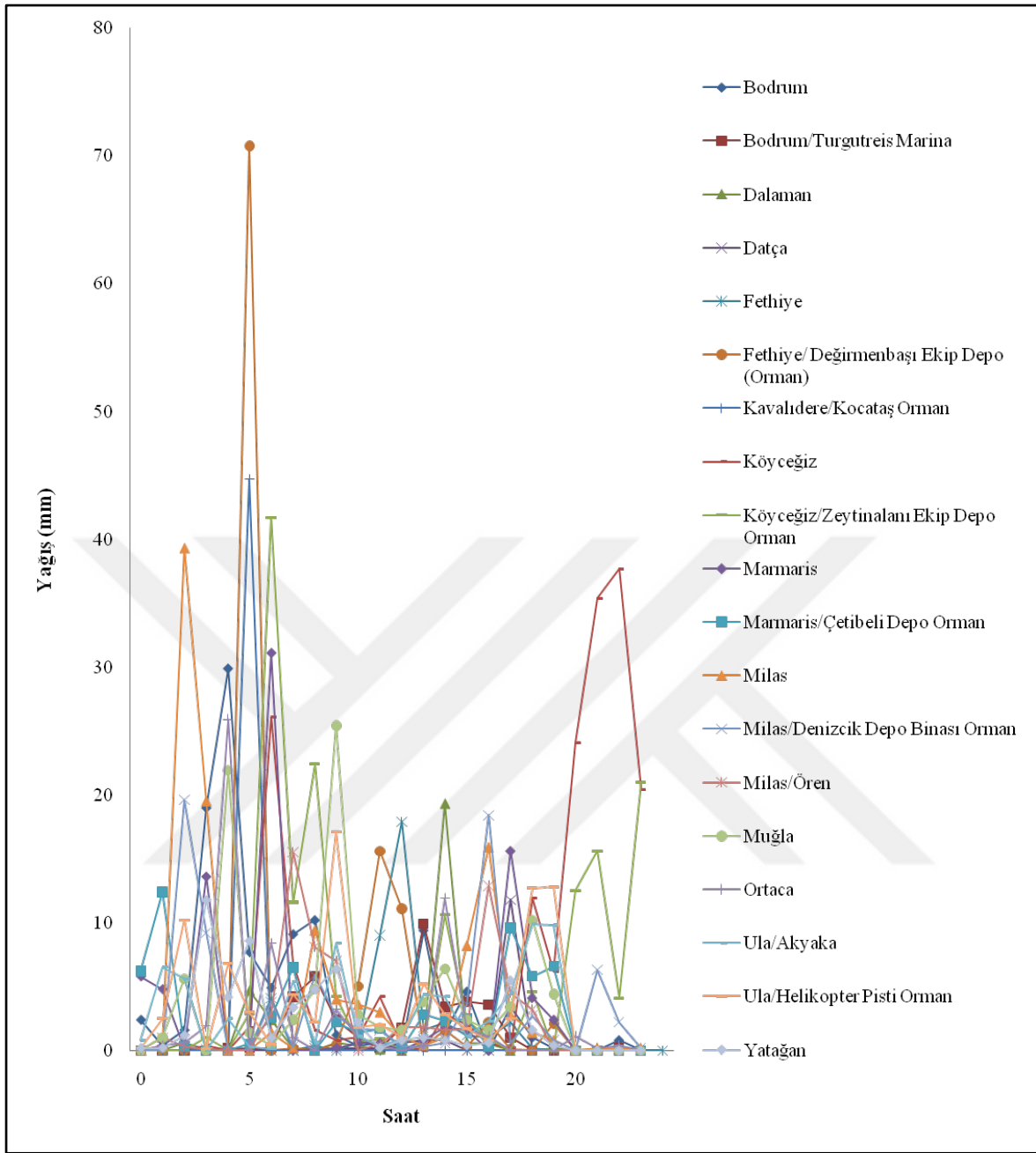
Muğla ilinde 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015'de iki önemli yağış olayı gerçekleşmiştir. Bu olaylar birbirlerinden bağımsız bir şekilde veri seti oluşturmak için kullanılmıştır. Şekil 10 ve Şekil 11, çalışmada kullanılan her bir meteoroloji istasyonlarında kayıt edilen iki yağış olayının zaman serisini göstermektedir. Her iki

şekilde de görüldüğü gibi, bazı istasyonlar yüksek yağış değerlerini, bazıları düşük ve yağışın olmadığı değerleri vermektedir. Çizelge 3, Muğla ilinde yer alan 19 meteoroloji istasyonundan elde edilmiş, 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015 için 24 saatlik ortalama yağışın tanımsal istatistik sonuçlarını göstermektedir. Buna göre, 23 Eylül 2015’de ortalama değer 2,1 mm, standart sapma 6,8 mm olarak hesap edilmiştir. Minimum ve ortanca değerler 0,0 mm, maksimum değer 73,6 mm olarak izlenmektedir. 22-23 Ekim 2015 için ortalama değer 3,305 mm, minimum değer 0,0 mm, ortanca 0,5 mm ve maksimum değer 70,8 mm olarak hesap edilmiştir. Bu değerler Muğla ili için her iki yağış olayının saatlik yüksek değişkenlik gösterdiğini doğrulamaktadır. Sonuç olarak, saatlik ortalama yağış değerleri normal bir dağılım göstermemektedir. Çok sayıda 0,0 mm değerinde yağışın olması grafiğin sola çarpık çıkmasına neden olmaktadır (Şekil 12 ve 13). Düşük şiddetli yağışlarda yüksek frekans, yüksek şiddetli yağışlarda düşük frekans izlenmektedir. Verinin normal dağılıma yakın bir dağılım göstermesi için Box-Cox dönüşümü uygulanmıştır. Bu işlem, doğrusal olmayan bir ilişkiyi doğrusallaştırmak ve varyansların ve son/sapma değerlerinin heterojenitesini azaltmak için kullanılan bir yöntemdir. 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015 tarihlerine ait orjinal veri ve dönüşüm gerçekleştirilmiş veri üzerine Shapiro-Test uygulanmıştır. Test sonucuna göre, birinci yağış olayı için, $W = 0,3433$, $p < 0,01$ ve $W = 0,6321$, $p < 0,01$, ikinci yağış olayı için $W = 0,5062$, $p < -0,01$ ve $W = 0,8507$, $p < 0,01$ elde edilmiştir. Dönüşüm uygulanmış veride gözlemlenen yüksek W değeri, dönüşüm gerçekleştirdikten sonra orijinal verinin normal dağılıma yaklaştığını ifade etmektedir.



Şekil 10. 23 Eylül 2015, Muğla ilindeki meteoroloji istasyonları için saatlik ortalama yağış değerleri (mm)

Not: Seçilen saatler yağış olayı başladıktan sonrası göstermektedir.

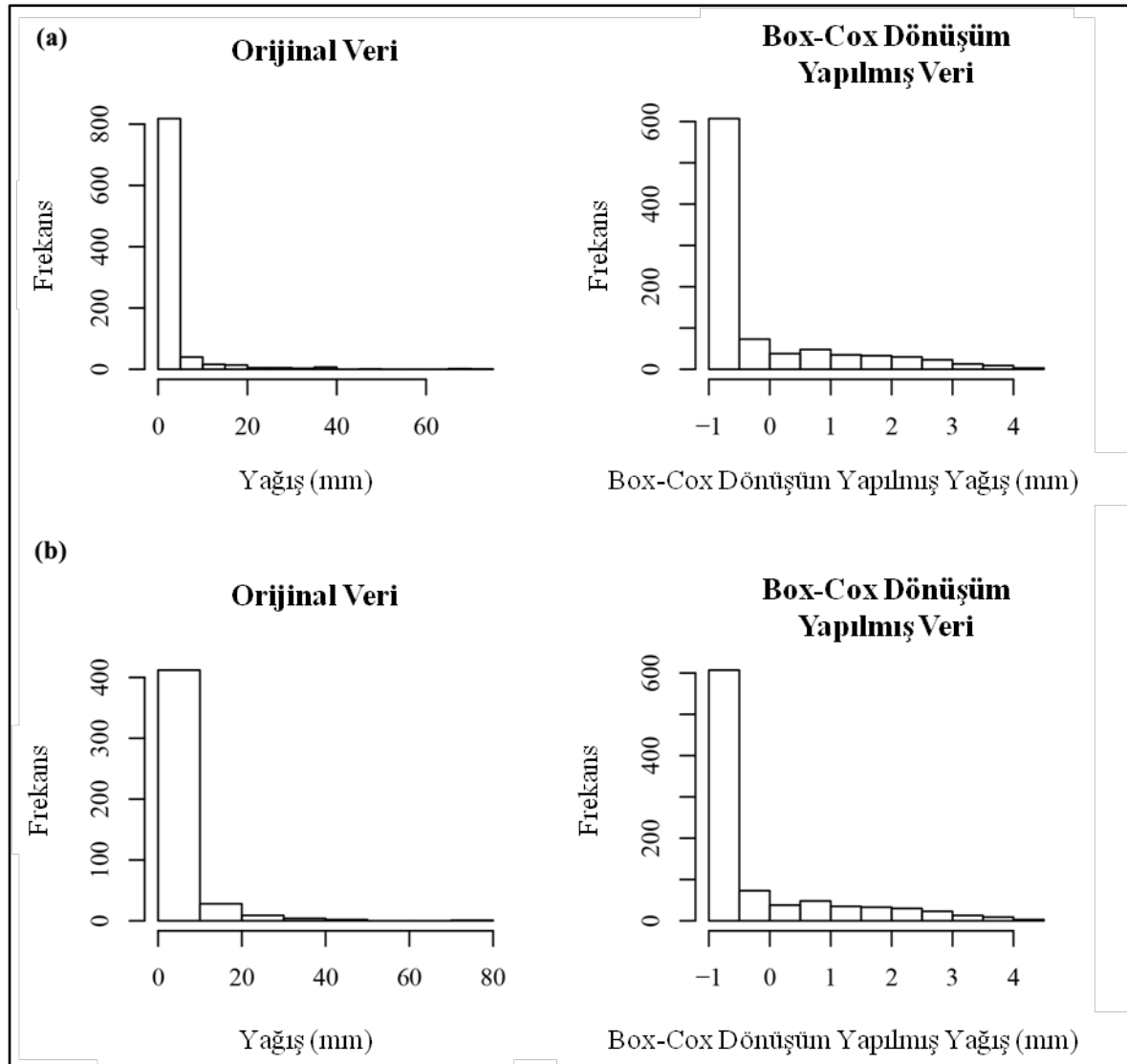


Şekil 11. 22-23 Ekim 2015, Muğla ilindeki meteoroloji istasyonları için saatlik ortalama yağış değerleri (mm)

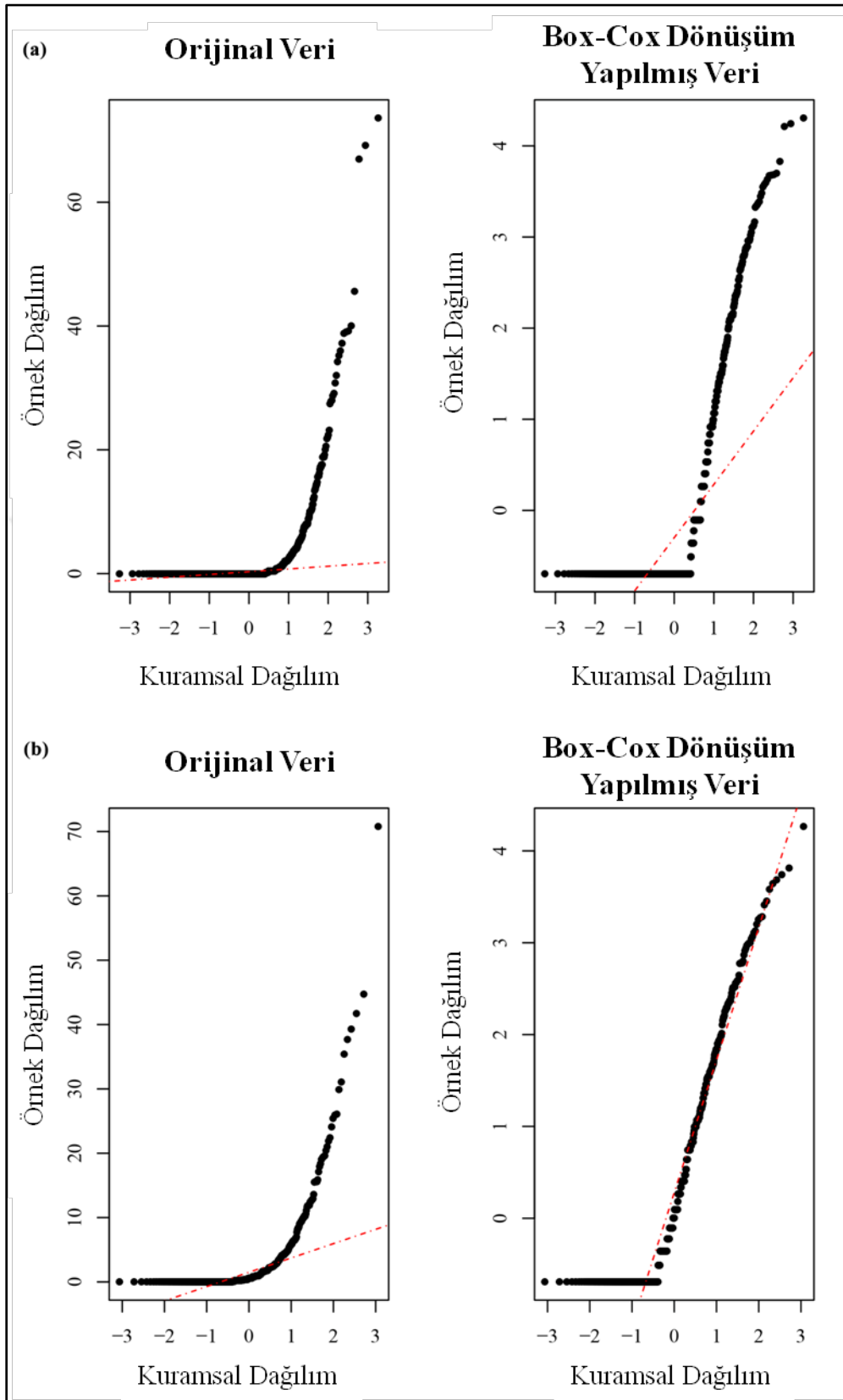
Not: Seçilen saatler yağış olayı başladıktan sonrayı göstermektedir.

Çizelge 3. Muğla ilinde 22 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015 tarihlerindeki saatlik ortalama yağış değerleri için tanımlayıcı istatistik sonuçları (mm)

Zaman	Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Minimum	Ortanca	Maksimum
23 Eylül 2015	2,108	6,807	46,337	0,000	0,000	73,600
22-23 Ekim 2015	3,305	7,119	50,682	0,000	0,500	70,800



Şekil 12. Orijinal ve dönüşüm uygulanmış saatlik ortalama yağışın (mm) histogramı **(a)** 23 Eylül 2015 saatlik ortalama yağış (mm); **(b)** 22-23 Ekim 2015 saatlik ortalama yağış (mm)



Şekil 13. Orijinal ve dönüşüm uygulanmış saatlik ortalama yağışın (mm) histogramı **(a)** 23 Eylül 2015 saatlik ortalama yağış (mm); **(b)** 22-23 Ekim 2015 saatlik ortalama yağış (mm)

Yağış değişkenine etki ettiği düşünülen yükseklik ve kıyıya uzaklık, çalışma alanı için önemli iki parametredir. Bundan dolayı KED analizleri sırasında, bu iki parametre yardımcı değişken olarak kullanılmıştır. Pearson's Product-Moment korelasyon testi yağış değişkeninin yükseklik ve kıyıya uzaklık değişkenleri ile olan ilişkisini değerlendirmek için uygulanmıştır. Bu korelasyon testinin sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, yükseklik ve kıyıya uzaklık yardımcı değişkenlerin, yağışla negatif bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. Ancak, p sonuçları dikkate alındığında yükseklik değişkeni, 0,05 ($p = 0,177$) değerinden daha yüksek bir değerde çıkmıştır. Buna karşılık kıyıya uzaklığın p değeri $p = 0,004$ 'dür. Sonuçlara göre, KED analizinde kullanmak üzere yalnız kıyıya uzaklık yardımcı değişkeni seçilmiştir.

Çizelge 4. Yağış bağımlı değişkeni ve yükseklik, kıyıya uzaklık yardımcı değişkenleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları

Değişken	Korelasyon katsayısı	p -değer
Yükseklik	-0,077	0,177
Kıyıya uzaklık	-0,363	0,004

3.1.2 Yarıvariogram Analizi

Teorik yarıvariogram, deneysel yarıvariogram dikkate alınarak seçilmiştir. Bunda amaç, en uygun modeli seçmek yerine, modellenmiş yarıvariogram modelindeki fiziksel olayın mekânsal paternini yakalamaktır (Goovaerts, 1997). Mekân ölçeği, istasyonlar arasındaki adım mesafesi, incelenen yağış değişkenini temsil edebilecek en iyi tahmin modeli elde edilene kadar değişik aralıklarda işleme alınmıştır. Sonuçta her iki yağış olayı için de adım mesafesi 30 km olarak belirlenmiştir (Çizelge 5, 6). Zaman ölçeği olarak bir saatlik zaman adım mesafesi uygulanmıştır. Çizelge 7, iki yağış olayı için teorik yarıvariogramın karakteristiklerini göstermektedir. 23 Eylül 2015 için,

mekânsal-zamansal etki uzaklığı 150 km ve 10 saattir. Mekânsal-zamansal deneysel yarıvariograma en iyi oturan, mekânsal-zamansal teorik yarıvariogram modelleri Gaussian ve Spherical tip teorik yarıvariogram modelleri olmuştur (Şekil 14). Benzer şekilde 22–23 Ekim 2015 için, mekânsal-zamansal etki uzaklığı 150 km ve 15 saattir. Mekânsal-zamansal deneysel yarıvariograma en iyi oturan, mekânsal-zamansal teorik yarıvariogram modelleri, Spherical ve Exponential tip teorik yarıvariogram modelleri olmuştur (Şekil 15).



Çizelge 5. 23 Eylül 2015, mekânsal-zamansal deneysel yarıvariogram sonuçları

	İlk Yarıvariogram				İkinci Yarıvariogram				
	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Zaman mesafesi (saat)	Gamma	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Zaman mesafesi (saat)	Gamma	
1	0	0	0	0,0000	21	2.436	45	3	1,4434
2	432	15	0	0,9182	22	1.638	75	3	1,5857
3	1.392	45	0	1,5648	23	1.008	105	3	1,2680
4	936	75	0	1,5353	24	420	135	3	1,5202
5	576	105	0	1,3149	25	360	0	4	1,3292
6	240	135	0	1,4807	26	720	15	4	1,5445
7	414	0	1	0,7066	27	2.320	45	4	1,4052
8	828	15	1	1,2391	28	1.560	75	4	1,5907
9	2.668	45	1	1,5332	29	960	105	4	1,3202
10	1.794	75	1	1,5380	30	400	135	4	1,5104
11	1.104	105	1	1,3029	31	342	0	5	1,3094
12	460	135	1	1,4534	32	684	15	5	1,5198
13	396	0	2	1,0964	33	2.204	45	5	1,4276
14	792	15	2	1,4879	34	1.482	75	5	1,5684
15	2.552	45	2	1,5486	35	912	105	5	1,3568
16	1.716	75	2	1,5368	36	380	135	5	1,4085
17	1.056	105	2	1,2960	37	324	0	6	1,3405
18	440	135	2	1,5133	38	648	15	6	1,4966
19	378	0	3	1,2533	39	2.088	45	6	1,4817
20	756	15	3	1,6038	40	1.404	75	6	1,5181

Çizelge 5. Devam

	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Zaman mesafesi (saat)	Gamma		Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Zaman mesafesi (saat)	Gamma
41	864	105	6	1,3471	54	320	135	8	1,2734
42	360	135	6	1,3202	55	270	0	9	1,3838
43	306	0	7	1,3064	56	540	15	9	1,3836
44	612	15	7	1,4605	57	1.740	45	9	1,3252
45	1.972	45	7	1,3667	58	1.170	75	9	1,5094
46	1.326	75	7	1,4664	59	720	105	9	1,4554
47	816	105	7	1,3688	60	300	135	9	1,3955
48	340	135	7	1,2937	61	252	0	10	1,3705
49	288	0	8	1,3438	62	504	15	10	1,3848
50	576	15	8	1,3542	63	1.624	45	10	1,3054
51	1.856	45	8	1,3310	64	1.092	75	10	1,4426
52	1.248	75	8	1,4940	65	672	105	10	1,4025
53	768	105	8	1,4075	66	280	135	10	1,4900

Çizelge 6. 22-23 Ekim 2015, mekânsal-zamansal deneysel yarivariogram sonuçları

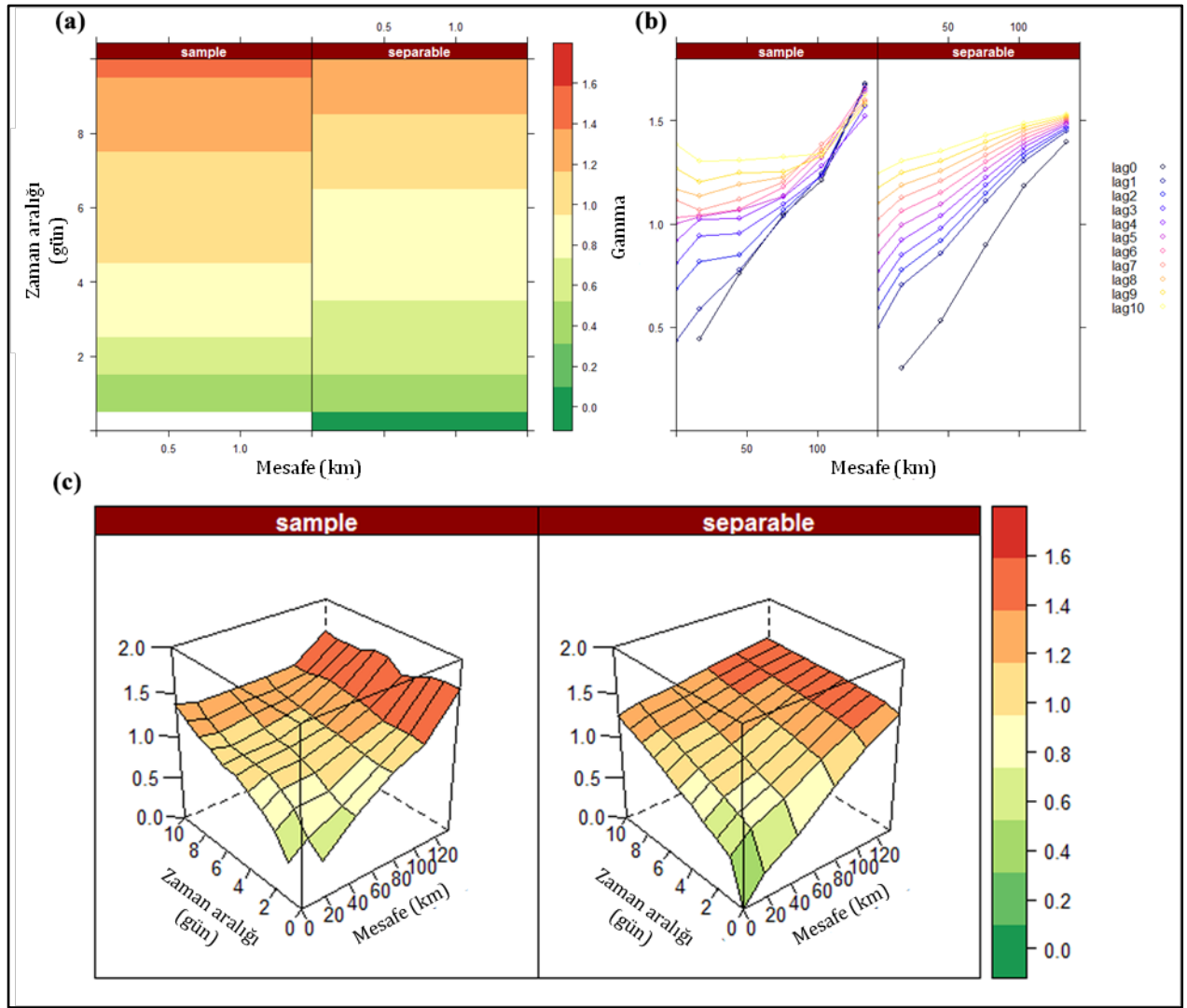
	Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Zaman mesafesi (saat)	Gamma		Çift sayısı	Adım mesafesi (km)	Zaman mesafesi (saat)	Gamma
1	0	0	0	0,0000	22	378	0	3	1,2533
2	432	15	0	0,9182	23	756	15	3	1,6038
3	1.392	45	0	1,5648	24	2.436	45	3	1,4434
4	936	75	0	1,5353	25	1.638	75	3	1,5857
5	576	105	0	1,3149	26	720	15	4	1,5445
6	240	135	0	1,4807	27	2.320	45	4	1,4052
7	96	165	0	1,2818	28	1.560	75	4	1,5907
8	414	0	1	0,7066	29	960	105	4	1,3202
9	828	15	1	1,2391	30	400	135	4	1,5104
10	2668	45	1	1,5332	31	342	0	5	1,3094
11	1.794	75	1	1,5380	32	684	15	5	1,5198
12	1.104	105	1	1,3029	33	2.204	45	5	1,4276
13	460	135	1	1,4534	34	1.482	75	5	1,5684
14	184	165	1	1,1619	35	912	105	5	1,3568
15	396	0	2	1,0964	36	380	135	5	1,4085
16	792	15	2	1,4879	37	324	0	6	1,3405
17	2.552	45	2	1,5486	38	648	15	6	1,4966
18	1.716	75	2	1,5368	39	2.088	45	6	1,4817
19	1.056	105	2	1,2960	40	1.404	75	6	1,5181
20	440	135	2	1,5133	41	864	105	6	1,3471
21	176	165	2	1,0720	42	360	135	6	1,3202

Çizelge 6. Devam

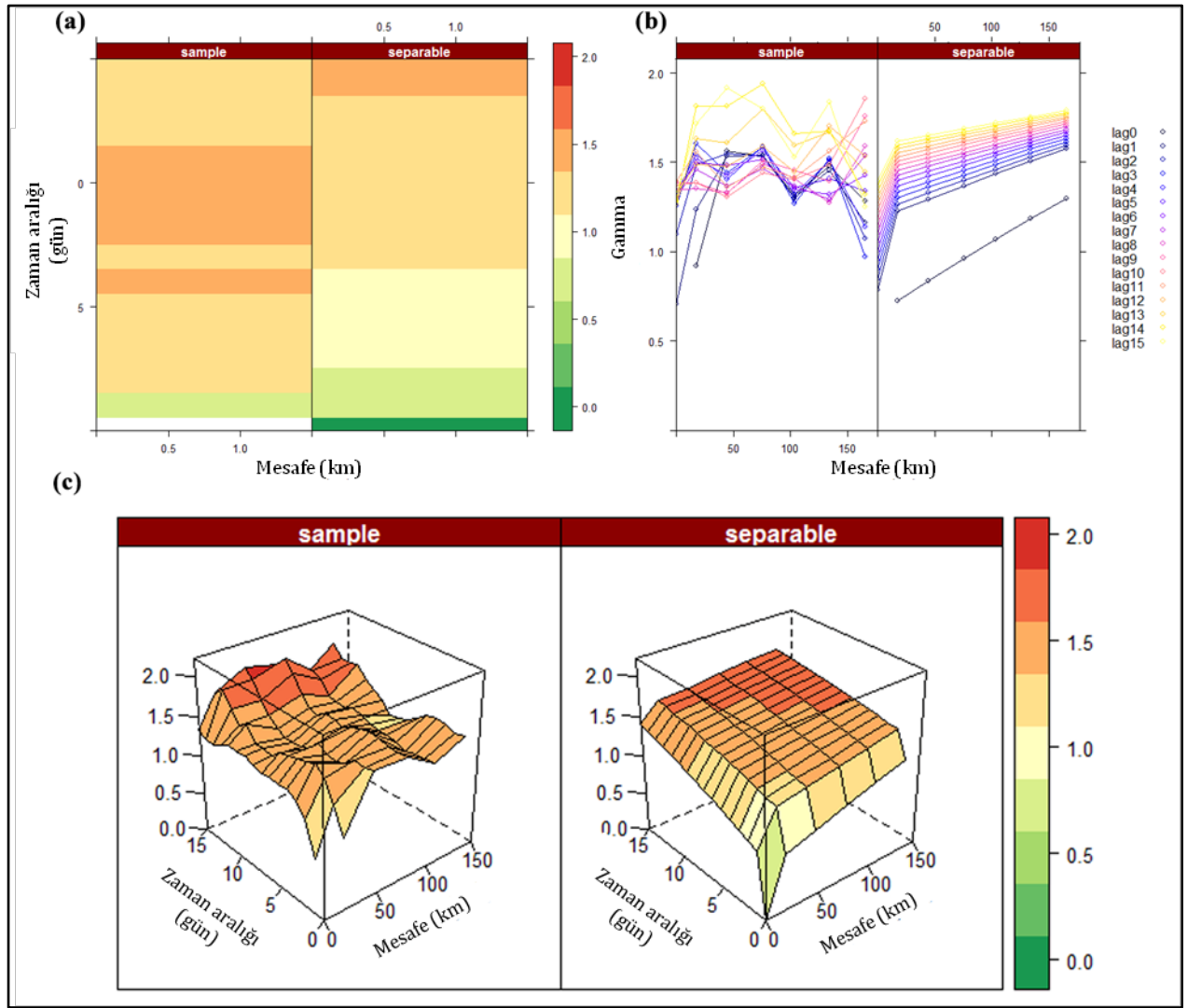
	Çift sayısı	Adım	Zaman	Gamma		Çift sayısı	Adım	Zaman	Gamma
		mesafesi (km)	mesafesi (saat)				mesafesi (km)	mesafesi (saat)	
43	306	0	7	1,3064	55	270	0	9	1,3838
44	612	15	7	1,4605	56	540	15	9	1,3836
45	1.972	45	7	1,3667	57	1.740	45	9	1,3252
46	1.326	75	7	1,4664	58	1.170	75	9	1,5094
47	816	105	7	1,3688	59	720	105	9	1,4554
48	340	135	7	1,2937	60	300	135	9	1,3955
49	288	0	8	1,3438	61	252	0	10	1,3705
50	576	15	8	1,3542	62	504	15	10	1,3848
51	1.856	45	8	1,3310	63	1.624	45	10	1,3054
52	1.248	75	8	1,4940	64	1.092	75	10	1,4426
53	768	105	8	1,4075	65	672	105	10	1,4025
54	320	135	8	1,2734	66	280	135	10	1,4900

Çizelge 7. Teorik yarıvარიogram sonuçları

	23 Eylül 2015		22-23 Ekim 2015	
Ölçek	Mekânsal	Zamansal	Mekânsal	Zamansal
Nugget	0,953	0,282	0,329	0,362
Model	Gaussian	Spherical	Spherical	Exponential
Eşik değeri	1,424		2,000	
Etki uzaklığı (km)	149,721	9,446	144,227	15,683



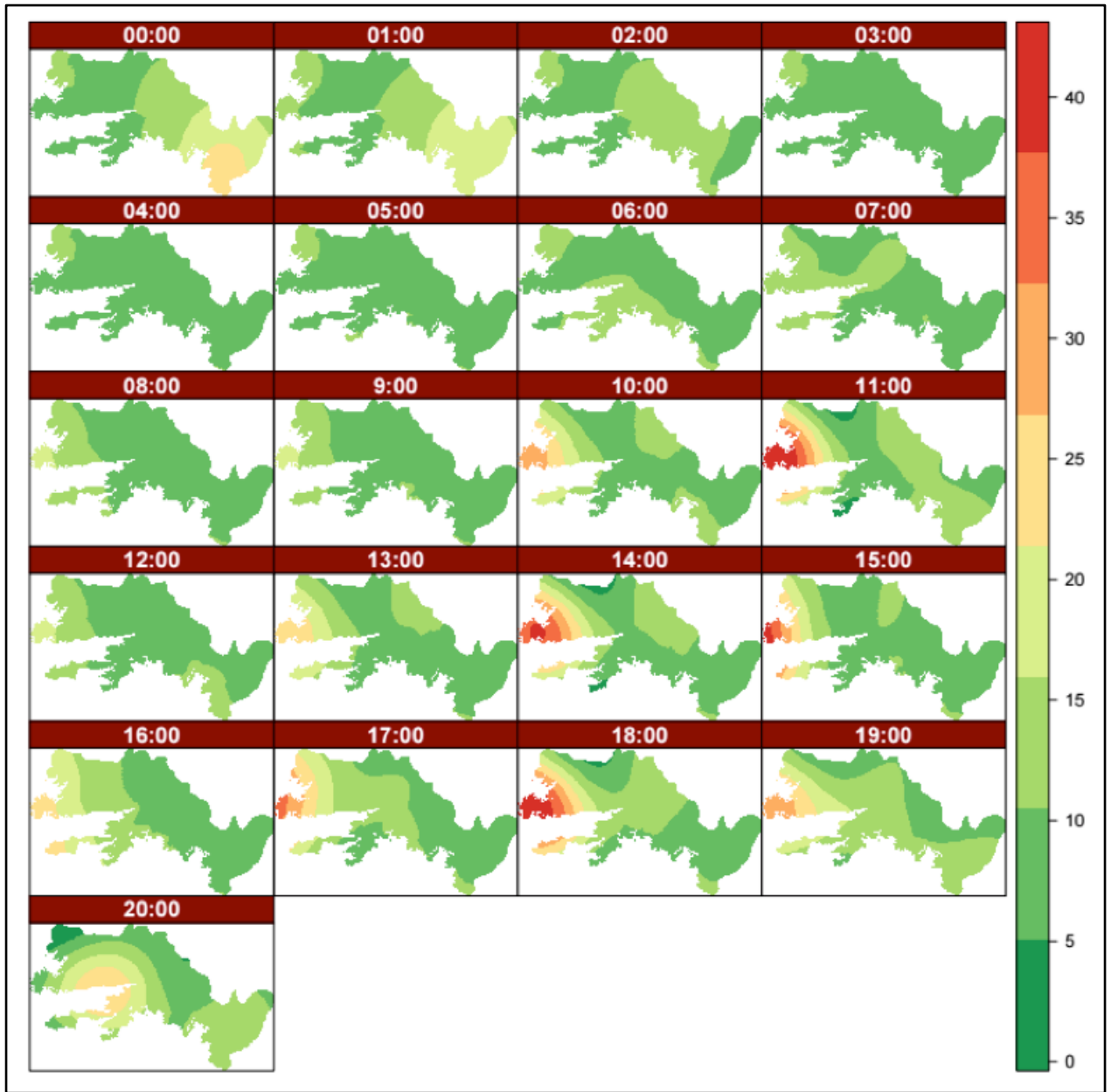
Şekil 14. (a) Mekânsal yarıvariogram haritası; **(b)** her adım mesafesi için zamansal yarıvariogram; **(c)** 23 Eylül 2015 saatlik ortalama yağışın bir saat zamansal adım mesafesi ile, mekânsal-zamansal yarıvariogramının 3D tel kafes gösterimi



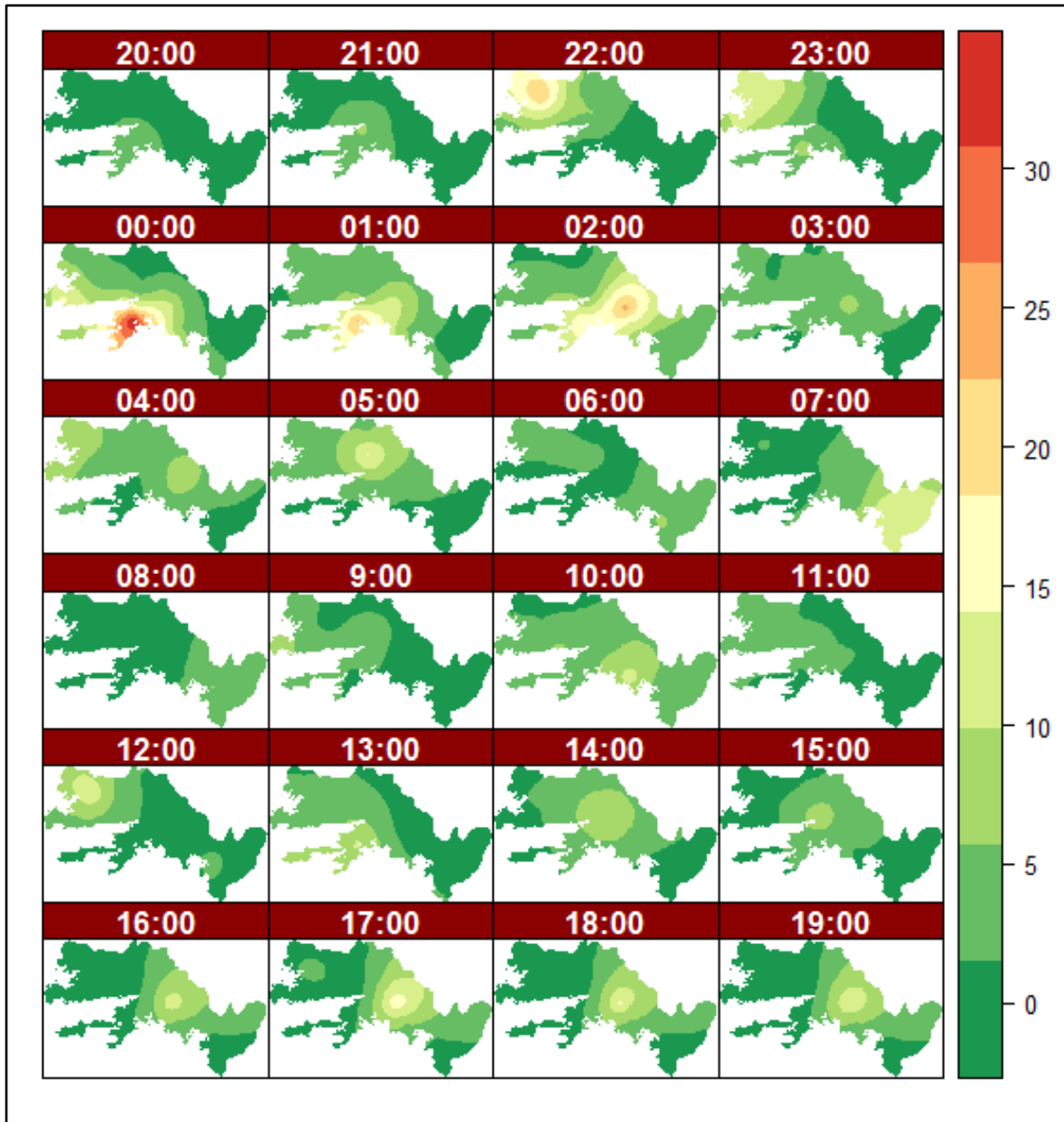
Şekil 15. (a) Mekânsal yarıvariogram haritası; **(b)** her adım mesafesi için zamansal yarıvariogram; **(c)** 22-23 Ekim 2015 saatlik ortalama yağışın bir saat zamansal adım mesafesi ile, mekânsal-zamansal yarıvariogramının 3D tel kafes gösterimi

3.1.3 Kriging Analizi Sonuçları

Şekil 16 ve Şekil 17 Kriging analizi sonuçlarını göstermektedir. İlk bakışta, 23 Eylül 2015’de her zaman aralığı için değerlendirildiğinde, Bodrum ilçesinde en yüksek yağış seviyesi, 10:00–11:00 ve 14:00–18:00 saatleri arasında 20 mm–40 mm’den daha fazla bir değerde değişmektedir. 23 Ekim 2015’de olay, daha küçük bir ölçekte gerçekleşmiştir. Yağış, Bodrum ilçesinin güneydoğusunda saat 00:00’da en yüksek seviyesine yükselmiştir. Bu tarihte, >30mm’den yüksek bir yağış değeri kayıt edilmiştir. Ortalama yoğunluğa sahip yağış, 21:00 (22 Ekim 2015) ve 02:00 (23 Ekim 2015) saatleri arasında, Muğla ilinin orta ve batı kesimlerinde görülmektedir. Saat 02:00’den sonra şehrin büyük çoğunluğunda yağış seviyesi, 15 mm ve altında bir değere sahip olmuştur.



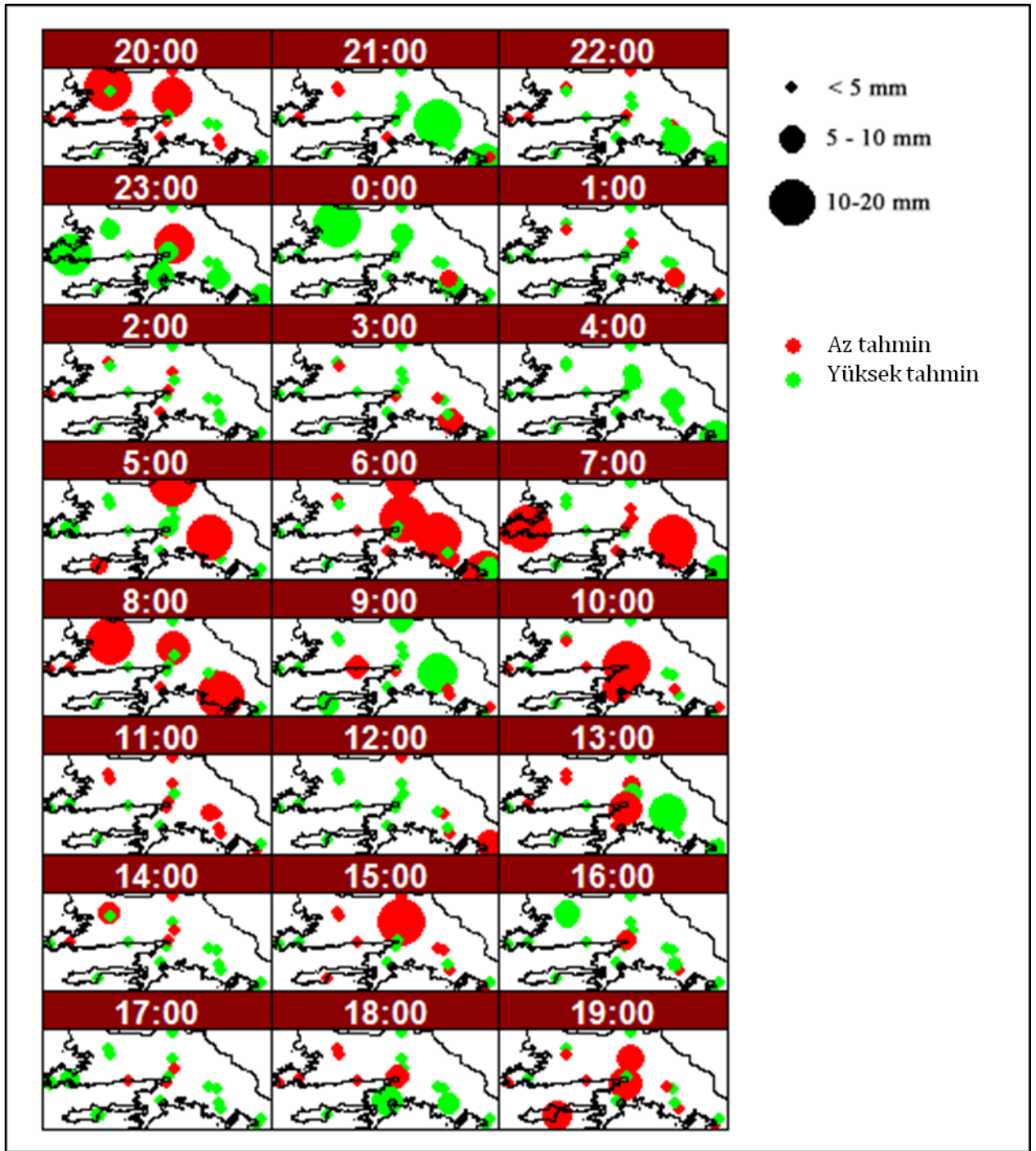
Şekil 16. Muğla ili, 23 Eylül 2015’de her saat adım mesafesi için oluşturulmuş saatlik ortalama yağışın (mm) mekânsal dağılımı



Şekil 17. Muğla ili, 22-23 Ekim 2015'de her saat adım mesafesi için oluşturulmuş saatlik ortalama yağışın (mm) mekânsal dağılımı

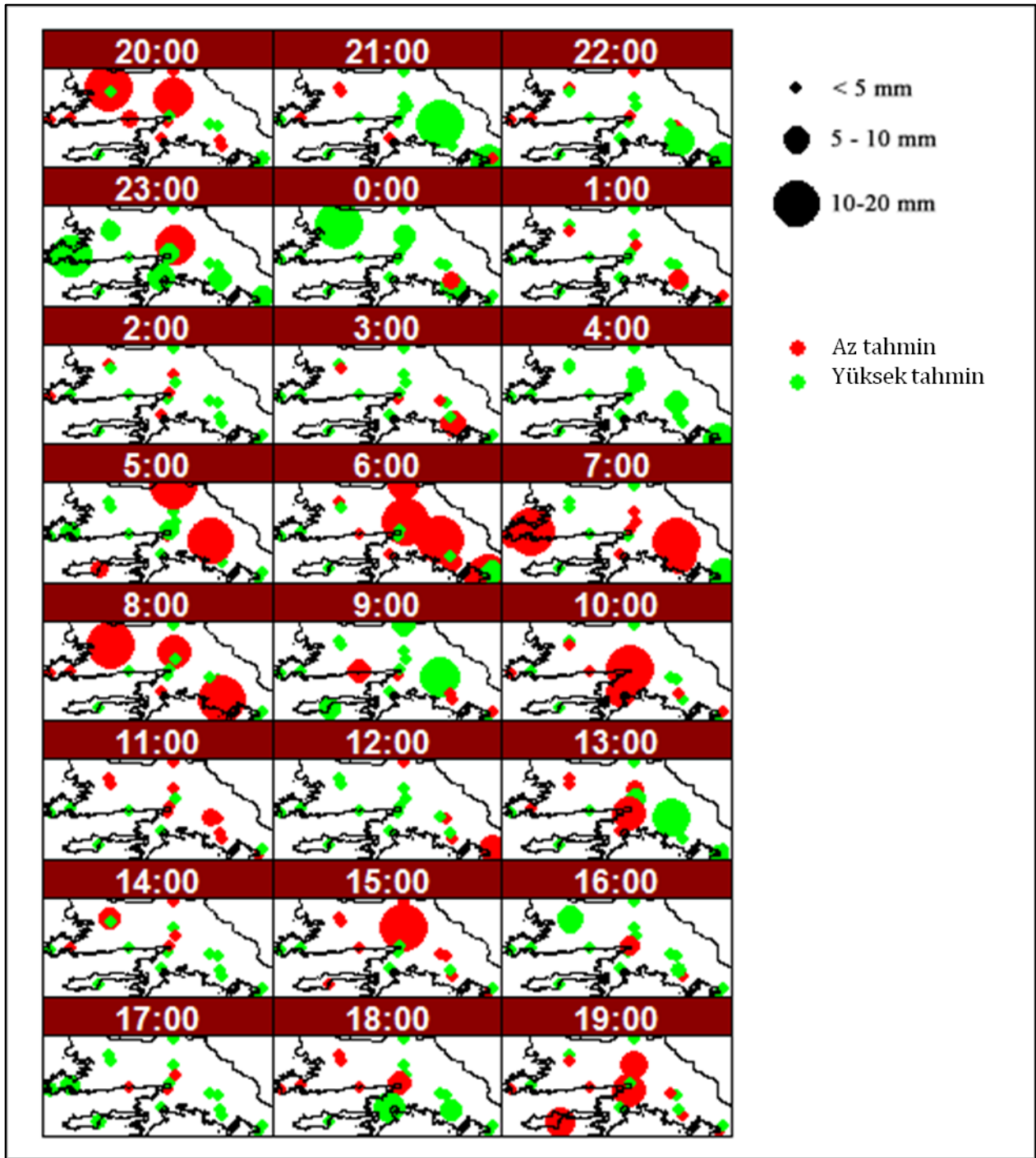
3.1.4 Performans Değerlendirmesi

Analiz sonuçları Çapraz Geçerlilik yöntemi ile test edilmiştir. Şekil 18 ve Şekil 19 Çapraz Geçerlilik sonuçlarını göstermektedir. 23 Eylül 2015’de 30 mm’den fazla yağış alan alanlar için enterpolasyon sonuçları yüksek tahmin değerleri vermektedir. Yüksek tahmin değerleri özellikle çalışma alanının iç ve yağışın düşük olduğu yerlerde izlenmektedir (Şekil 18). Buna karşılık, 22–23 Ekim 2015’de yağışın 10–20 mm olduğu yerlerde, özellikle saat 05:00 ve 08:00 civarlarında düşük tahmin değerleri gözlemlenmektedir (Şekil 19). Ancak, diğer zaman aralıklarında, Çapraz Geçerlilik sonuçları <5 mm ile yüksek ve düşük tahmin değerleri göstermektedir. 23 Eylül 2015’de, <20 mm’den gözlemlenen değerlerin, yüksek tahmin sonuçları verdiği Şekil 20’de izlenmektedir. >20 mm’den gözlemlenen değerler, Kriging modeli tarafından daha doğru tahmin edilmiştir. Fakat, 22–23 Ekim 2015’de <20 mm’den gözlemlenen değerler, >20 mm’den gözlemlenen değerlerle karşılaştırıldığında daha doğru tahmin sonuçları vermiştir (Şekil 21).



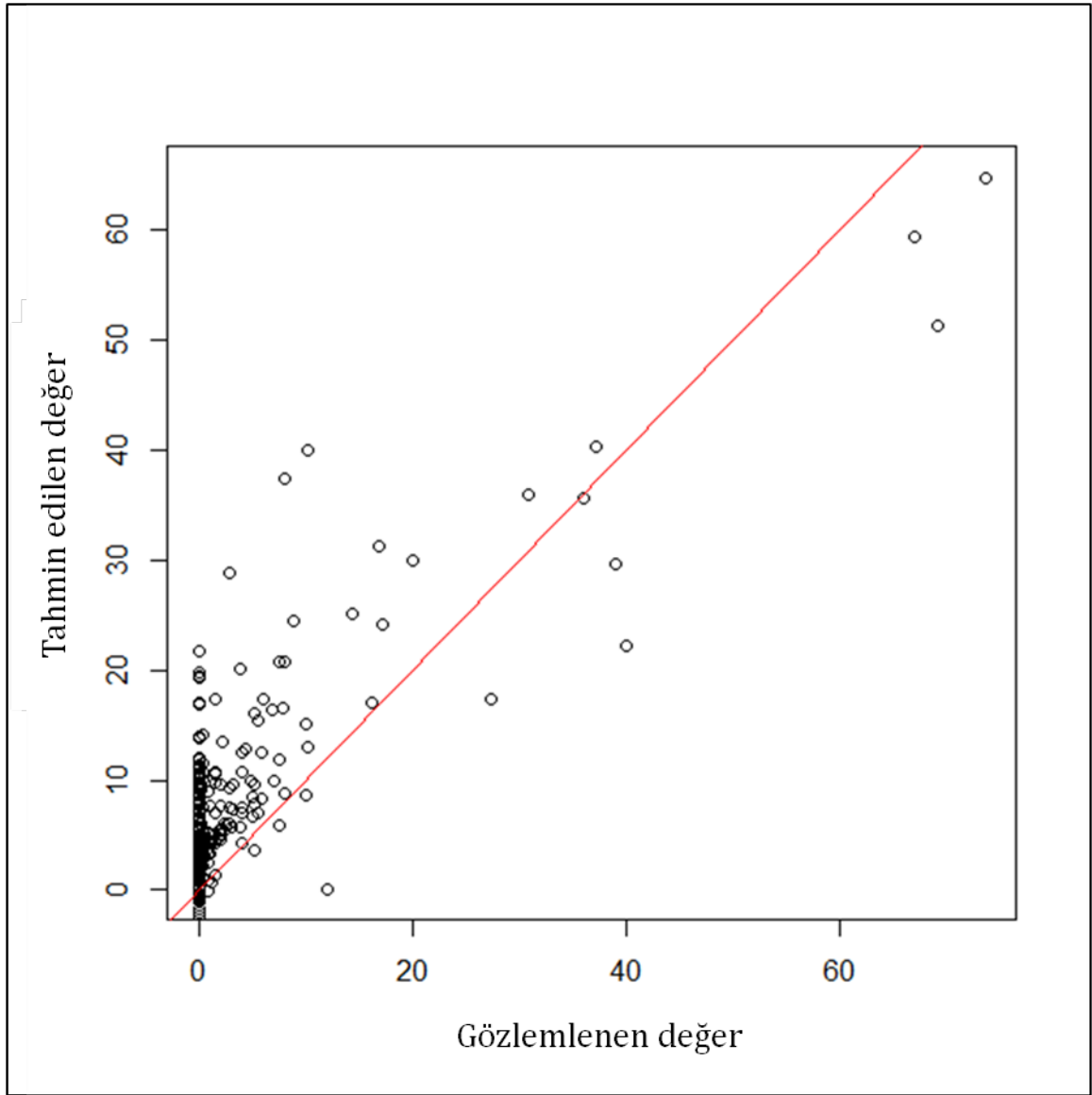
Şekil 18. Muğla ilinde 23 Eylül 2015 için saatlik ortalama yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (Leave One Out) yöntemiyle elde edilen hata haritaları

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



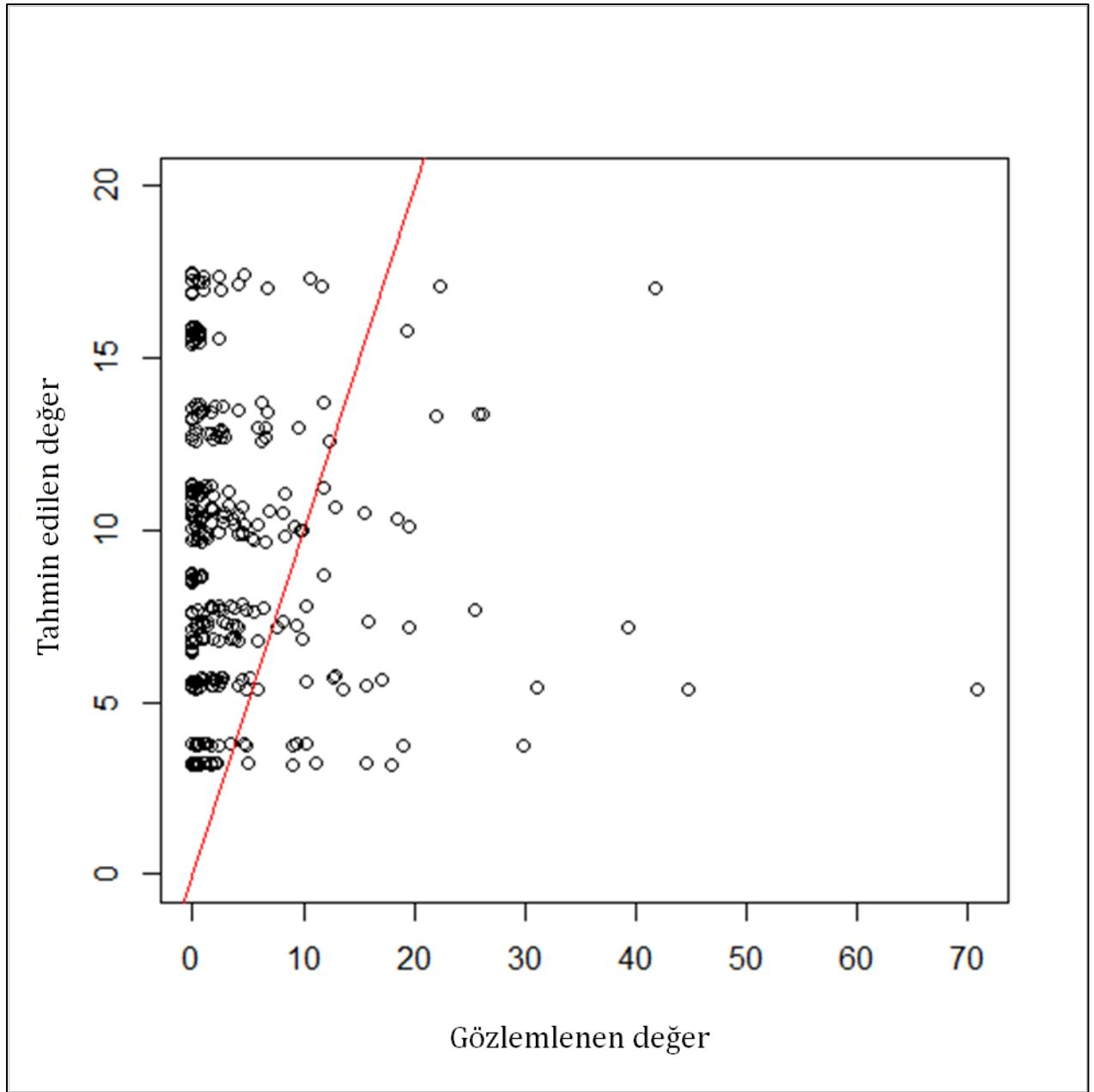
Şekil 19. Muğla ilinde 22-23 Ekim 2015 için saatlik ortalama yağış değişkeni için Çapraz Geçerlilik (Leave One Out) yöntemiyle elde edilen hata haritaları

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



Şekil 20. 23 Eylül 2015’de tahmin edilen değerlerle gözlemlenen değerler arasındaki regresyon modeli

Not: Grafikteki kırmızı düz çizgi lineer regresyon çizgisini göstermektedir.



Şekil 21. 22-23 Ekim 2015’de tahmin edilen değerlerle gözlemlenen değerler arasındaki regresyon modeli

Not: Grafikteki kırmızı düz çizgi lineer regresyon çizgisini göstermektedir.

Çizelge 8, 23 Eylül 2015 ve 22–23 Ekim 2015’de gerçekleşen yağış olaylarına ait gözlemlenen hata ölçüm değerlerini göstermektedir. 0,47 R^2 değeri, 23 Eylül 2015 yağış dağılışı için modelin neredeyse yarısının açıklandığını göstermektedir. 22–23 Ekim 2015’de 0,66 R^2 değeri, modelde açıklanabilen yağış davranışının %66’sının açıklayabildiğini ifade etmektedir. 1,74 ME değeri, 23 Eylül 2015 için anlamlı olmadığını göstermektedir. Ancak, pozitif ME değeri, yağışın yüksek tahmin ettiğini ifade etmektedir. 22–23 Ekim 2015’de pozitif ME değeri, tahmin edilen değerlerin oldukça yüksek tahmin ettiğini belirtmektedir. Yukarıda daha önce bahsedildiği gibi <20 mm yağışa sahip alanlarda, yüksek yağış tahmin değerleri ile karşılaşmıştır. RMSE ve MAE değerleri arasındaki 3,94 ve 1,01 gibi farklılıklar, her iki zamanda, enterpolasyon değerlerindeki gözlemlenen bireysel hatalardaki varyansı vermektedir.

Çizelge 8. 23 Eylül 2015 ve 22–23 Ekim 2015 hata ölçüm değerleri

Zaman	R^2	RMSE	ME	MAE
23 Eylül 2015	0,47	10,75	1,74	6,81
22–23 Ekim 2015	0,66	3,85	2,75	2,83

Mekânsal dağılımın özellikle yüksek değişkenliğe sahip olduğu iklim değişkenlerinden biri olan yağış değişkeninde, çok yüksek ölçüm sonuçlar vermesi zordur. Bundan dolayı elde edilen bu hata ölçüm sonuçları, yağış değişkeni için kabul edilebilir değerlerdir.

3.1.5 Genel Değerlendirme

Muğla ilinde, 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015'de gerçekleşen aşırı yağışlı günler dikkate alınarak, 19 meteoroloji istasyonundan elde edilen saatlik ortalama yağış verisi için mekânsal-zamansal Kriging analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece, yağışın hem mekânsal hem de zamansal ölçekte tahminleri yapılmıştır. Modelin, istatistik anlamlılığı Çapraz Geçerlilik ve çeşitli performans ölçümleri ile ortaya konulmuştur. Yağış dağılışı incelendiğinde, Muğla ilinin özellikle kıyı alanlarının aşırı yağış olaylarından etkilendiği, buna karşılık iç kesimlerin daha az yağış aldığını söylemek mümkündür. 23 Eylül 2015 için yüksek tahmin sonuçları, 22-23 Ekim 2015 için düşük tahmin sonuçları elde edilmiştir. Her iki zaman için elde edilen R^2 değerleri, modellerde yağış dağılışının yaklaşık yarısının açıkladığını ifade etmektedir.

Yağışın mekânsal dağılımı, bir ölçüde Ege Bölgesi'nde aşırı yağışların oluşmasına neden olan meteorolojik ölçütleri yansıtmaktadır. Millán vd. (2005) İspanya, Valencia'nın, kıyı ve iç kesimlerinde, aşırı yağışların olduğu zamanlar için yağış paternindeki değişimleri incelemişlerdir. Muğla ilindeki yağış dağılışı ile benzer bir dağılım gözlemlemişlerdir. Yani, kıyıdan iç kesimlere gidildikçe yağışın azaldığını gösteren benzer bir yağış dağılışı ortaya koymuşlardır. Millán vd. (2005) bunun nedenini cephesel sistemler üzerine tam tersi bir etki üreten Backdoor Cold Front ile ilişkilendirerek açıklamışlardır. Backdoor Cold Front ilk olarak, sıcak kıtasal havayı yer değiştirmek için, soğuk hava akımının doğudan veya kuzeydoğudan giren, güneye veya güneybatıya doğru hareket eden serin Atlantik adveksiyonunun tanımlanmasında kullanılmıştır (Eichler ve Shulman, 1987). Son yıllarda ise bu terim, Akdeniz'de, özellikle İber yarımadasındaki kış yağış trendlerini açıklamada kullanılmaktadır (Lopez-Bustins, vd., 2008; Millán, 2014; Millán, vd., 2005; Miró Pérez, vd., 2009).

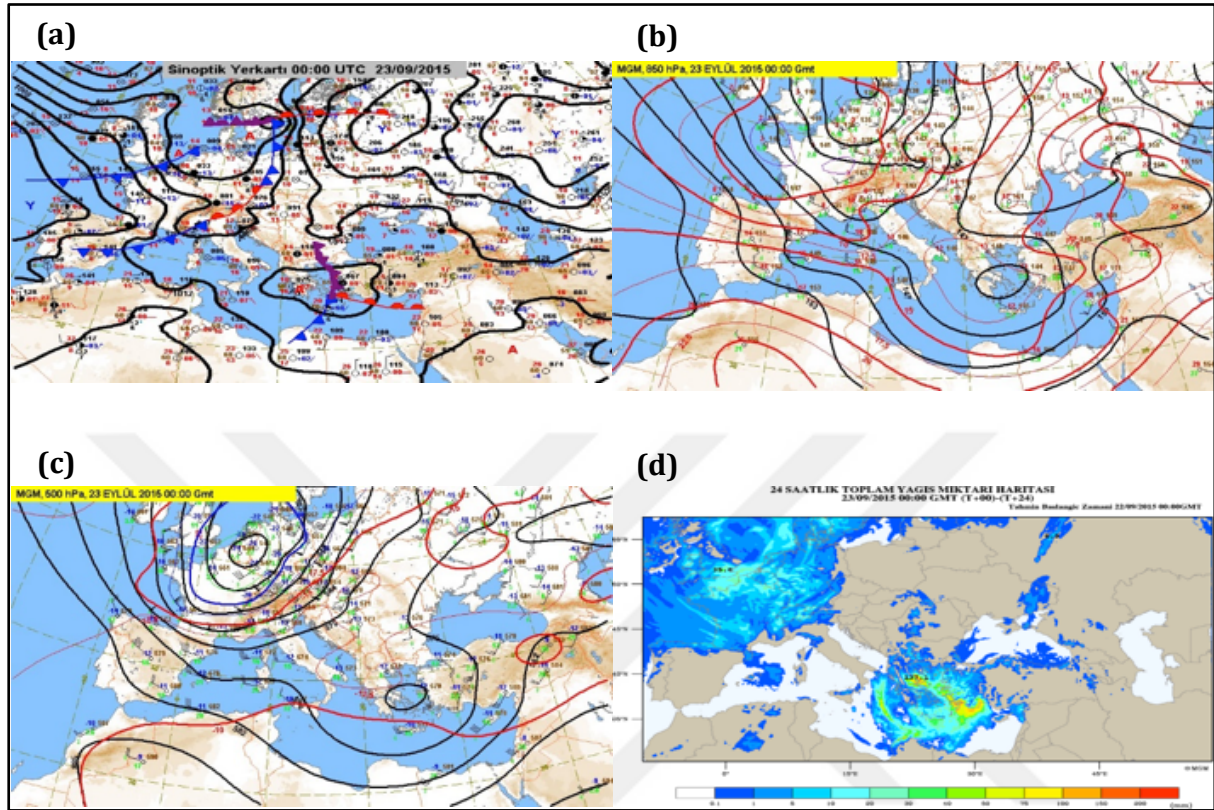
Akdeniz Havzası'nda Backdoor Cold Front, sıcak Akdeniz üzerinden gelen cephenin soğuk kıtasal havanın kuzey, kuzeydoğu veya doğudan akmasını sağlayan bir soğuk cephe anlamına gelmektedir. İspanya'nın doğu kıyısı boyunca oluşan şiddetli yağışlar, genellikle sonbahar ve kış aylarında, sıcak Akdeniz üzerinde doğudan gelen kıtasal havanın adveksiyonuyla ilişkili olmaktadır. Benzer gözlemler Akdeniz'de siklojenez klimatoloji çalışan Trigo vd. (2002) tarafından da tartışılmıştır. Çalışmalarında üst oluğun nispeten ılık su havzalarında hareket eden kış siklojenезinin, Ege Bölgesi üzerinde ortaya çıktığı sonucuna varmışlardır. Pastor vd. (2001) aynı bölgede aşırı yağış olaylarının oluşumunu iki aşamada açıklamışlardır. Bunlar; (1) Backdoor Cold Front yaklaşımı göz önünde bulundurularak, deniz üzerinde doğudan gelen soğuk adveksiyon yoluyla kararsız hava kütesinin oluşumu; (2) kıyı bölgelere doğru hareket eden kararsız hava kütlesi orografik etkisiyle yükselir. Bu yağış gelişimine neden olmaktadır.

Kömüşçü ve Çelik (2013) Marmara Bölgesi'nde, 7-9 Eylül 2010 tarihinde meydana gelen seli incelemişler ve sele neden olan hidrometeorolojik olayları araştırmışlardır. Araştırmacılar, bu olayın oluşmasına yol açan fırtınanın Maddox vd. (1979) tarafından çalışılmış yaklaşım ve Backdoor Cold Front olayı ile çok benzerlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Marmara selini oluşturan fırtınaların birden fazla mekanizmanın etkisi altında olduğu sonucuna varmışlardır. Bu mekanizmalardan biri, kuzeydoğudan (Karadeniz'den) gelen durağan veya yavaş hareket eden Backdoor Cold Front'dur. Buna ek olarak, Akdeniz siklonlarında gözlemlenen, kıyı alanlarında yağışı artıran, orografinin tipik etkileri, Marmara seli olayında gözlemlenmemektedir. Alçak basınç içinde gerçekleşen kümelenme, havanın yükselişi için yeterli olmuştur. Campins vd. (2010)'ın Akdeniz siklonları üzerine yapmış olduğu çalışmalarında, Ege Bölgesi'ndeki siklonların, diğer Akdeniz siklonlarından farklı olduğunu ve kasım ayından mayıs ayına

kadar olan soğuk mevsimde baskın bir özellik gösterdiklerini belirtmişlerdir. Bu siklonların büyük çoğunluğu derin bir özelliğe sahiptirler ve yoğun merkezleri vardır. Bu siklonlar genellikle sabittirler ve güney veya güneydoğuya (Kıbrıs'a) veya kuzeydoğuya (Karadeniz'e) doğru uzaklara taşınırlar. Romero vd. (2006), Akdeniz alanında ilk olarak aşırı yağış merkezlerinin hızlı ve küçük ölçekli baroklinik siklojenezle ilişkili olduğunu tartışmışlardır. Durağan sistemler, yoğun yağış için gerekli çevresel faktörleri oluşturmaktadır.

23 Eylül 2015'de Muğla ili ve çevresinde görülen şiddetli yağış, oklüzyon cephesi halindeki ve merkezi basınç değeri 1006,7 hPa olan orta enlem siklonunun bir ürünüdür (Şekil 22a). Sinoptik haritalar incelendiğinde, Bulgaristan üzerinden Türkiye kıyıları boyunca Bodrum yakınlarına kadar uzanan bir oklüzyon cephesi görülmektedir. Oklüzyon cephesinin sıcak cephesi, Bodrum civarından Türkiye'nin güneyi boyunca Suriye'ye doğru uzanmaktadır. 850 hPa ve 500 hPa jeopotansiyel yükseklik haritaları incelendiğinde, Kuzey Denizi üzerinden Yunanistan'a doğru kuzeybatı güneydoğu yönünde uzanan bir oluk ve bu oluğun güneydoğu ucunda bulunan soğuk damla ile ilişkilidir. Sistemin güneye çok sarkması ve kopmuş olması, geriden soğuk hava ile beslenmesi uzun bir süre varlığın sürdürmesine neden olmuştur (Şekil 22b, c). Orta enlem siklonu ve buna bağlı cephe sistemi, 20 Eylül 2015'de Akdeniz üzerine ulaşmış ve daha sonra sistem koparak oklüzyon cephesi haline dönüşmüştür. Sistemin 21 Eylül 2015'den itibaren kopmasıyla aynı yerde siklonik dönüş yapması Akdeniz üzerinde termik modifikasyona uğramışına neden olmuştur. Sistemin Akdeniz üzerinde ısınması ve nem alarak güneybatıdan Türkiye üzerine doğru sıcak ve nemli lodos ile nem taşınması, bu yüksek şiddetli yağışın oluşmasını sağlamıştır. Bu koşullar altında

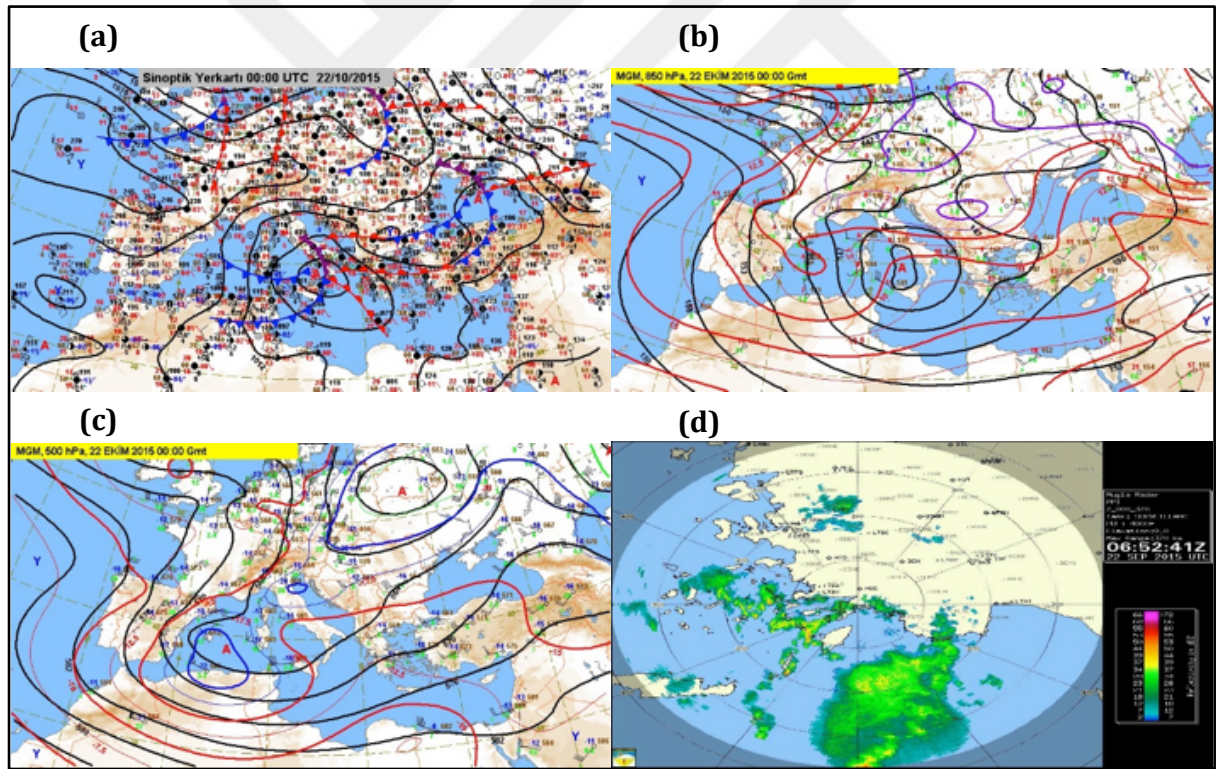
Yunanistan ile Güneybatı Anadolu arasında Ege Denizi üzerinde 24 saatte 100 mm üzerinde yağışın düştüğü izlenmiştir (Şekil 22d).



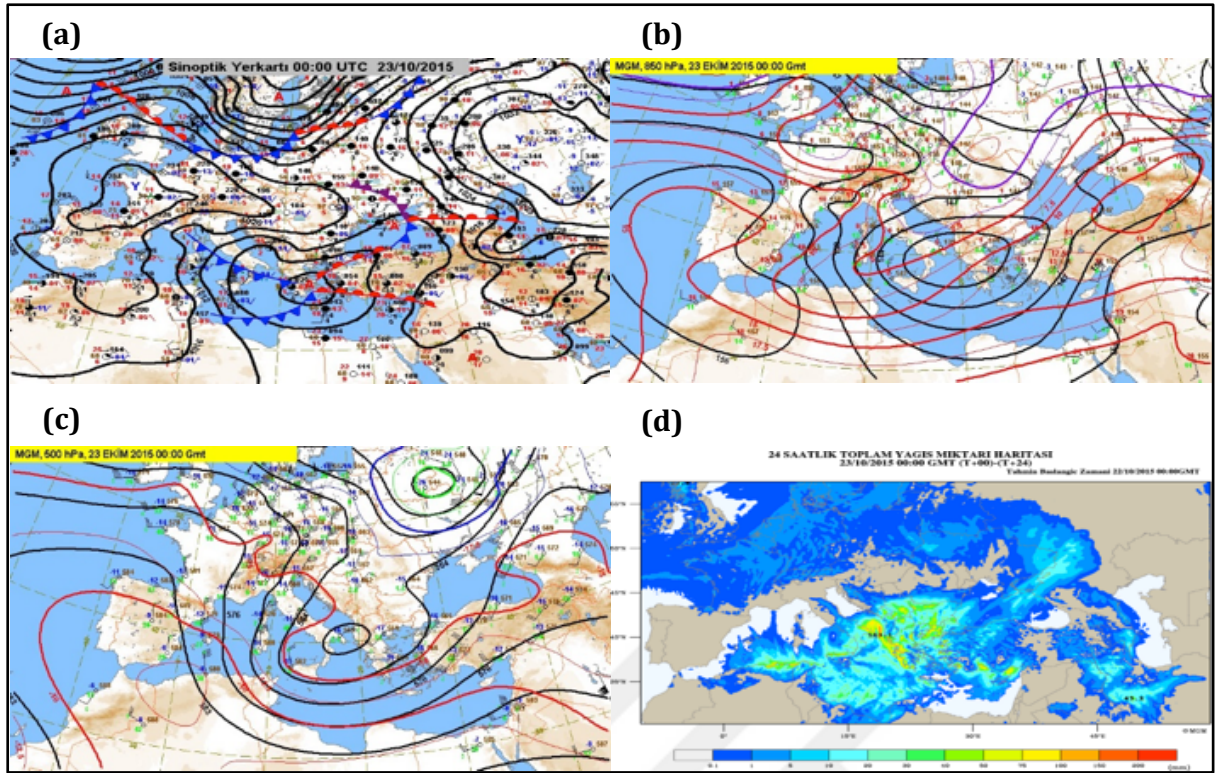
Şekil 22. 23 Eylül 2015 tarihine ait meteorolojik haritalar; **(a)** yer haritası; **(b)** 850 hPa jeopotansiyel yükseklik haritası; **(c)** 500 hPa jeopotansiyel haritası; **(d)** 24 saatlik toplam yağış miktarı haritası

22-23 Ekim 2015 tarihinde oluşan aşırı yağış ile ilgili olan sinoptik haritalar incelendiğinde, merkezi basınç değeri 1004 hPa'dan düşük ve oklüzyon aşamasına gelmiş bir cephe sistemi ile Karadeniz üzerinde 1012 hPa'dan düşük bir orta enlem siklonu ve cephe sistemi bulunduğu görülmektedir (Şekil 23a, 24a). 850 ve 500 hPa jeopotansiyel yükseklik haritalarında, kuzeydoğuda Rusya üzerinden, güneybatıda İtalya'ya doğru uzanan bir oluk bulunmaktadır. Oluğun gerisinde bulunan soğuk adveksiyon orta enlem siklonunun varlığını korumasına neden olmaktadır. Oluk önündeki sıcak adveksiyonda konveksiyonu kuvvetlendirerek yağış oluşumuna neden olmuştur (Şekil 23b, c; 24b, c). 22 Ekim 2015'e ait radar görüntüsünde kuvvetli yağış

görülmektedir (Şekil 23d). 23 Ekim 2015 tarihinde yer seviyesi haritasında bir gün önce İtalya üzerinde olan orta enlem siklonunun Ege Denizi üzerine ulaştığı görülür. Cephe sisteminde iki sıcak ve iki soğuk cephe bulunmaktadır. Bu durum Akdeniz üzerinde oluşan termik modifikasyon ve 500 hPa jeopotansiyel yükseklik haritasında kopmuş sistem haline gelen oluk ile ilişkilidir (Şekil 24b). Oluk arkadan soğuk hava ile beslenirken Akdeniz ve Ege üzerindeki termik modifikasyona neden olmuştur. Bu durum siklon üzerindeki havanın daha kararsız olmasına ve konveksiyonun artmasına sağlamıştır (Şekil 24b, c). Bu sistem Yunanistan üzerinde 160 mm/24 saat yağış oluşumuna neden olurken, Güneybatı Anadolu'da 75 mm/24 saatten fazla yağış düşmüştür (Şekil 24d).



Şekil 23. 22 Ekim 2015 tarihine ait meteorolojik haritalar; **(a)** yer haritası; **(b)** 850 hPa jeopotansiyel yükseklik haritası; **(c)** 500 hPa jeopotansiyel yükseklik haritası; **(d)** radar görüntüsü



Şekil 24. 23 Ekim 2015 tarihine ait meteorolojik haritalar; **(a)** yer haritası; **(b)** 850 hPa jeopotansiyel yükseklik haritası; **(c)** 500 hPa jeopotansiyel yükseklik haritası; **(d)** 24 saatlik yağış miktarı haritası

Bu iki yağış olayları arasında büyük benzerlik bulunmaktadır. Her iki yağış olayı kopmuş bir oluk ile ilişkilidir. Bu sistemin doğuya hareketinin yavaşlamasına ve Akdeniz üzerinde alttan ısınarak, nem bakımından zenginleşmesine ve konvektif hareketlerin artmasına neden olmuştur. Yine sistemin koparak oklüzyon aşamasına gelmesi sıcak sektörün yerle ilişkisinin kalmayarak yükselip yoğunlaşmanın artmasını sağlar.

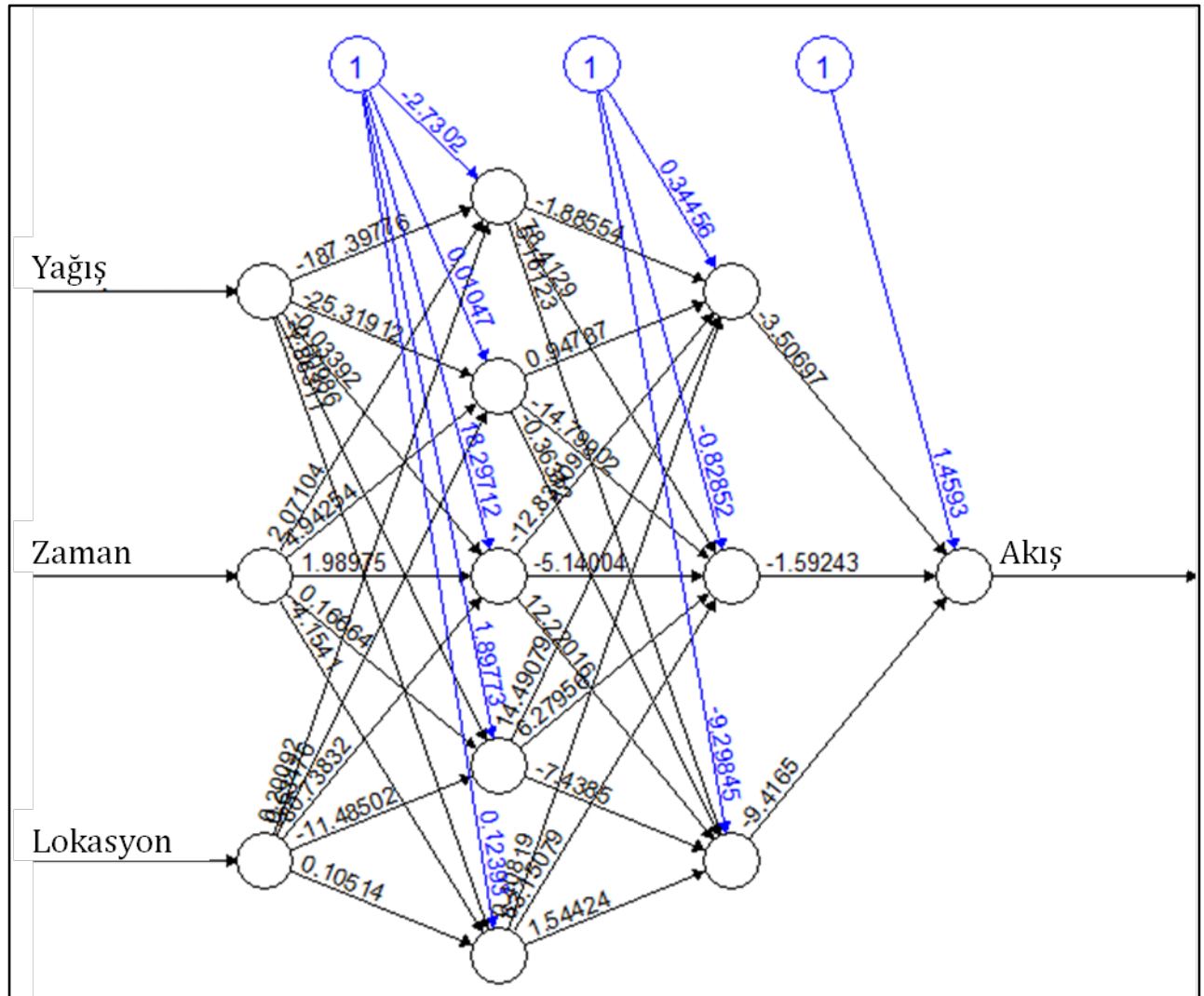
Millán vd. (2014) Batı Akdeniz havzasında, iklim tahminleri ve iklim modellerinin geri yayılımlarını araştırmışlardır. Su buharı tarafından oluşan sera etkisi ve foto-oksidanlar Deniz Yüzey Sıcaklıklarını (Sea Surface Temperature, SST) arttırmaktadır. Bundan dolayı, Akdeniz kıyılarında sonbahar dönemlerinde yağışların şiddeti artmaktadır. Pastor vd. (2015) Batı Akdeniz Havzasındaki fırtına yağış merkezlerini araştırmak ve bu gibi olaylara neden olan hâkim hava kütlelerini belirlemek için bir

simülasyon geliştirmişlerdir. SST değeri, bu gibi olayların oluşmasında bir rol oynamaktadır. Ancak, yüksek SST değeriinin varlığı, şiddetli yağış anlamına gelmemektedir. Akdeniz’de aşırı yağış olaylarının gelişmesinde, SST anomalileri/değeri, bir öngörü ve izleme aracı olarak kullanılabilir. Ayrıca, nispi nem, Akdeniz’de aşırı yağış olaylarında düşünülmesi gereken diğeri önemli bir faktördür. Kömüşçü ve Çelik (2013) Marmara seli sırasında ve öncesinde nemin %90 değeriini geçtiğini belirtmişlerdir.

Berne vd. (2009) Akdeniz yağışının mekânsal değışimini açıklamak için, jeostatistik yöntemlerini kullanmışlardır. Yağış dağılışındaki mekânsal yapı üzerine, zamansal çözünürlüğün etkisini de vurgulamışlardır. Bu sebeple, yağışın mekânsal dağılışıının kısa ve uzun zaman aralıklarında çok farklıdır. Yağış dağılışıının alandaki değışiminde, hâkim rüzgârların etkisi olabileceğini de belirtmişlerdir. Bu değışim, rüzgâr yönüne dik bir yönde sınırlandırılır. Nastos vd. (2014) Akdeniz Havzası’ndaki aşırı yağışla ilişkili çalışmalarına, sıcaklık değışkenini de eklemişlerdir. Bu çalışmada, Muğla ilinde meydana gelen aşırı yağışların mekânsal-zamansal analizinde sadece kıyıya uzaklık verisi kullanılarak model açıklanmaya çalışılmıştır. Sıcaklık, rüzgâr gibi yardımcı değışkenlerin eklenmesi, daha doğru bir modelin oluşmasını gerçekleştirecek, hata ölçüm değeriini azaltacak ve R^2 değeriinin yükselmesini sağlayacaktır.

3.2 YSA Sonuçları

Şekil 25, Bodrum ilçesinde gerçekleşen selin tahmini için oluşturulan YSA modeli şemasını göstermektedir. YSA modelinde girdiler, sürekli değişken olan saatlik ortalama yağış, zaman ve lokasyon kategorize değişkenlerdir. Ağ yapısı, beş ve üç nokta içeren iki saklı tabaka ve çıktı tabakası yani seçili lokasyonlardaki akıştan oluşmaktadır.



Şekil 25. Çalışmada kullanılan YSA modelinin şematik gösterimi

Saklı tabaka sayısı ve noktalardan oluşan ağın biçimlendirilmesi, farklı saklı tabaka ve noktaların uygulamaya dâhil edilip, performans sonuçlarının en iyisi elde edilene kadar denenmiştir. Ağ, geri yayılımla eğitilen bir MLP'dir. Eğitim 20 kez tekrar

edilmiştir ve rastgele seçilen ağılıklardan oluşabilecek hataları azaltmak için sonuçların ortalaması alınmıştır. Eğitimin tekrarlanması ve ortalama değerin alınmasından dolayı, çalışmada bir doğrulama veri seti kullanılmamıştır. Bu durumda, verinin aşırı uyum göstermesinin göz ardı edilmesi için, öğrenme sürecini sonlandırmada bir doğrulama veri setinin çıkarılmaya ihtiyacı yoktur (Anctil, 2007). Bundan dolayı, öğrenme sürecinde daha fazla veriden yararlanılmaktadır. 23 Eylül 2015 yağış tahmin modeli, YSA'yı doğrulamak ve eğitmek için kullanılmıştır. 22-23 Ekim 2015 yağış tahmin modeli ise YSA'nın bağımsızlık testini yapmak için kullanılmıştır. Hazırlık döneminde, modelde yağış değerinin sıfır olduğu yerler için gereken süre 1-6 saat olarak düşünülmüştür. Yağış verisi, Bodrum istasyonuna ait yağış değerinden, akış, seçilmiş lokasyonlar için yağış tahmin modelinden hesaplanmıştır.

Çizelge 9 gözlemlenen ve hesap edilen zaman serilerinin istatistik özelliklerini özetlemektedir. Genel olarak, doğrulama setinin istatistik değerleri ile gereken süre için gözlemlenen değerler uyumlu çıkmıştır. Ancak, 23 Ekim 2015 veri seti, akışın gereken kısa sürelerde, yüksek tahmin değerine sahip olduğunu göstermektedir. Çizelge 10, 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015 için hesaplanan performans ölçütlerini vermektedir. Sel olayının başladığı 23 Eylül 2015, yüksek R^2 değeri ile iyi bir performans göstermiştir. Benzer şekilde küçük ME değerleri, hesap edilen değerlerin, gözlemlenen değerlere çok yakın olduğunu vermektedir. RMSE ve MAE değerleri arasındaki küçük fark, hesaplanan değerlerdeki bireysel hatalarda, düşük varyans değerinin olduğunu belirtmektedir. Diğer taraftan, YSA modeli 22-23 Ekim 2015 için, kötü sonuç vermiştir. Eğitim veri setine göre daha küçük akış değerleri ve çok daha küçük bir olay olması sonucun kötü çıkmasına neden olmuştur. Bundan dolayı, YSA'nın daha kötü performans göstermesi beklenen bir durumdur. Sel tahmininde gereken sürenin artması,

performansını azaltmaktadır. Gözlemlenen değerlerle karşılaştırıldığında, ME pozitif değerler, modelin akış değerlerini yüksek tahmin ettiği fikrini vermektedir. RMSE ve MAE değerleri arasındaki farklılıklar hesaplanan değerlerdeki bireysel hataların varyanslarını göstermektedir.

Çizelge 9. YSA modeli ile gözlemlenen ve hesaplanan akışların tanımlayıcı istatistik sonuçları

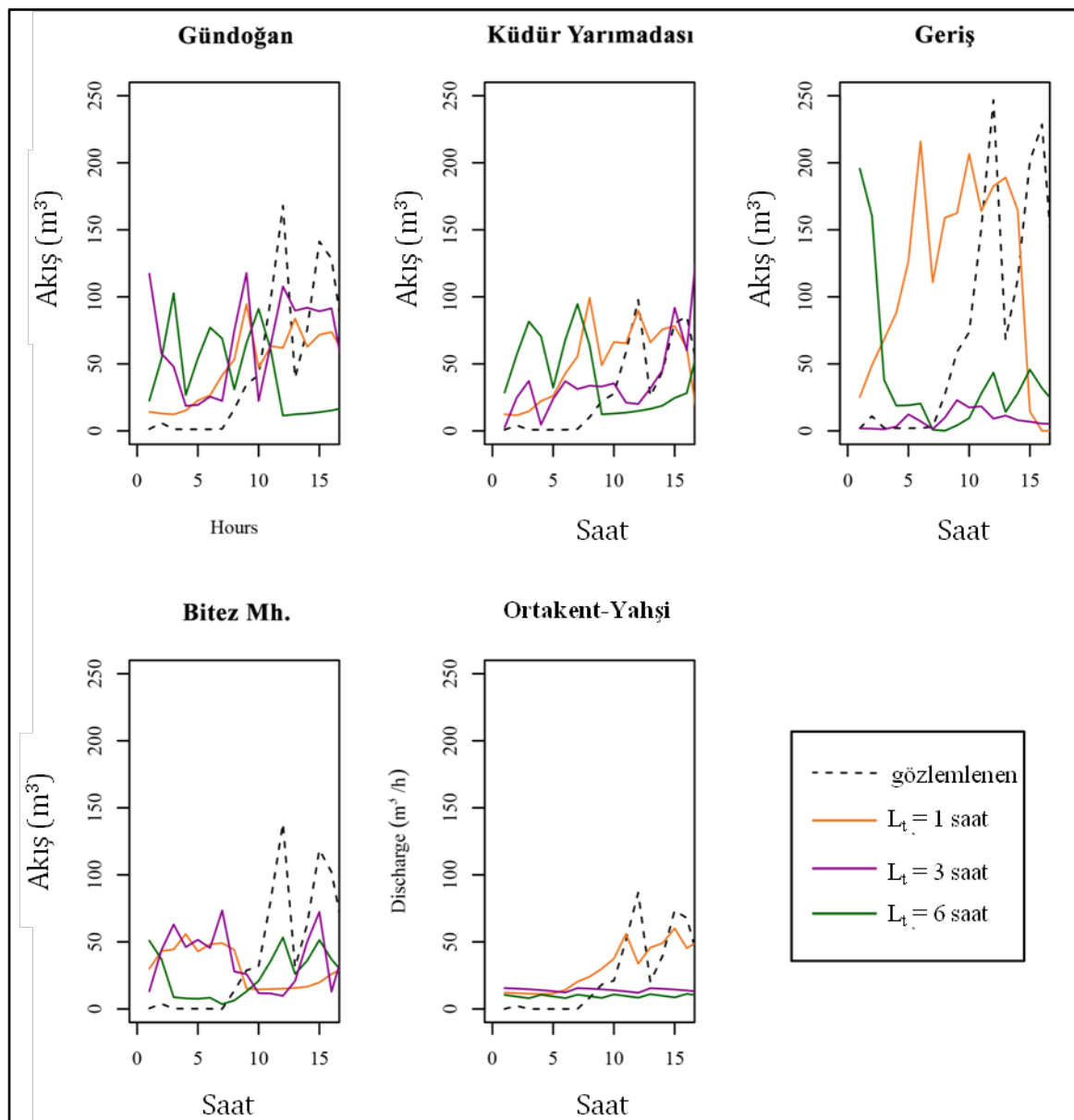
İstatistik	Olay	Gözlemlenen	L _t					
			1	2	3	4	5	6
Ortalama	23 Eylül 2015 (doğrulama veri seti)	21,24	20,37	20,87	19,54	20,41	21,28	20,77
Minimum		-15,22	-13,15	-14,62	-15,18	-10,44	-15,11	-14,42
Ortanca		4,04	8,17	13,36	12,21	13,02	9,95	10,70
Maksimum		246,83	195,65	201,39	188,04	188,59	222,01	208,18
Standart Sapma		36,30	30,90	29,26	28,49	28,81	31,36	30,59
Varyans		1.317,58	954,77	856,08	811,61	830,22	983,39	935,66
Ortalama	22-23 Ekim 2015	5,75	14,21	8,22	9,67	13,39	11,44	11,46
Minimum		-0,16	-9,40	-7,47	-14,88	-10,32	-10,75	-10,52
Ortanca		2,18	16,34	2,02	7,95	10,59	10,23	8,78
Maksimum		8,46	38,35	73,21	189,47	50,21	76,88	37,81
Standart Sapma		55,07	10,29	15,82	17,95	11,50	14,12	10,68
Varyans		71,63	105,94	250,41	322,03	132,25	199,31	114,02

Çizelge 10. 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015, gözlemlenen ve tahmin edilen akış değerlerine ait istatistik hata oranları

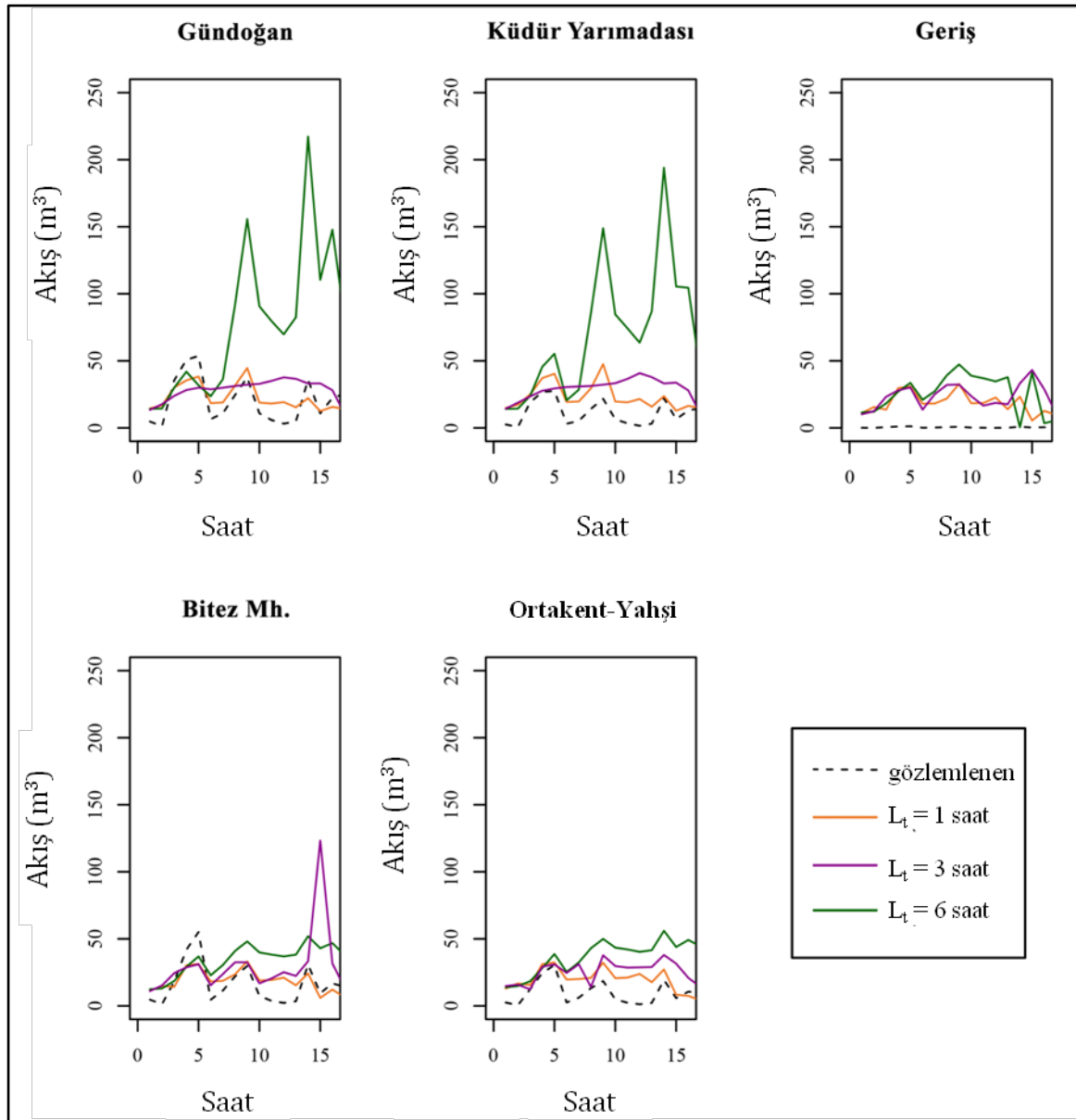
Performans ölçümleri	Olay	L _t					
		1	2	3	4	5	6
R ²	23 Eylül 2015 (doğrulama veri seti)	0,820	0,718	0,723	0,812	0,789	0,746
RMSE		0,076	0,050	0,093	0,075	0,068	0,089
ME		0,004	0,008	-0,027	-0,011	0,004	0,000
MAE		0,042	0,028	0,053	0,049	0,037	0,054
R ²	22-23 Ekim 2015	0,462	0,299	0,155	0,140	0,084	0,054
RMSE		5,108	3,129	7,125	9,128	2,094	9,091
ME		3,011	6,023	13,009	11,013	7,011	9,012
MAE		6,059	4,059	10,064	8,062	5,057	13,048

Hata ölçümleri değerlendirildiğinde, model performansı pozitif sonuçlar vermiştir. YSA modeli, bir ve iki saat gereken süre için 0,462 ve 0,299 R^2 değerleri vermiştir. 22-23 Ekim 2015 bağımsız veri seti, akış dağılışının %46 ve %30'unu oluşturmaktadır. oluşturduğunu göstermektedir. Ancak, gereken sürenin uzaması modelin performansını düşürmektedir. Şekil 26 ve Şekil 27, YSA modeli ile hesap edilen, gözlemlenen ve tahmin edilen akış değerlerinin sonuçlarını göstermektedir. 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015 için gereken sürelerin 1, 3 ve 6 saat olduğu belirlenmiştir. Bu iki tarih sırasında en yüksek akış değerlerinin gözlemlendiği lokasyonlar, Bodrum'daki seçilmiş önemli lokasyonlar için Gündoğan, Küdür Yarımadası, Geriş, Bitez Mahallesi ve Ortakent-Yahşi olarak tespit edilmiştir. 23 Eylül 2015'de sel, Bitez Mahallesi ve Ortakent-Yahşi lokasyonlarında gerçekleşmiştir. Şekil 26, 23 Eylül 2015 için akışın en yüksek değerleri belirlenmiş lokasyonların tamamı için düşük tahmin yapmıştır. Bazı durumlarda 100 m³/h değerinden düşük tahmin yaptığı görülmektedir. Ortakent-Yahşi dışında, YSA diğer belirlenmiş lokasyonlar için, gözlemlenen en yüksek değeri, olması gerekenden 5 saat daha erken tahmin etmiştir. Buna rağmen, $L_t = 1$ de, hidrografının genel şekli, uygulamalarda kullanılabilir yeterliliğe sahiptir. Bitez Mahallesi için, gereken süre boyunca, sıfır yağış varsayım etkileri açıkça gözlemlenmektedir. Aksine, YSA modeli $L_t = 6$ da, Bitez Mahallesi için hidrografın, yükselen kolu doğru tahmin edilmiştir. $L_t = 6$ da, diğer belirlenmiş lokasyonlar için gerekli sürede, sıfır yağış varsayım etkilerini göstermektedir. Hidrografın yükselen kolunun tahmini $L_t = 3$ 'de hem Küdür Yarımadası hem de Bitez Mahallesi'nde daha sonra gerçekleşmiştir. $L_t = 3$ 'de Gündoğan için, hidrografın yükselen kolu doğru tahmin edilmiştir. YSA, $L_t = 3$ için Geriş, Ortakent-Yahşi lokasyonlarında zayıf bir performans göstermiştir. Buna karşın, 22-23 Ekim 2015 'de yüksek tahmin değerleri gözlemlenmiştir (Şekil 27). YSA'nın, 23

Eylül 2015 olayı için oluşturulmuş veri setinin büyük olması ve eğitiminde kullanılmasından dolayı elde edilen 22-23 Ekim 2015'in yüksek tahmin sonuçları şaşırtıcı değildir. $L_t = 1$ ve $L_t = 3$ 'de YSA, seçilmiş lokasyonlar için hidrografın yükselen kolunu tahmin etmede iyi sonuçlar vermiştir. $L_t = 6$ 'da, çok yüksek tahminler, Gündoğan ve Küdür Yarımadası için gözlemlenmiştir. Sonuç olarak 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015 olayları için model performansları gereken süre uzatıldığında, azalan değerler gösteriyor olsa da, YSA kabul edilebilir sonuçlar vermiştir.



Şekil 26. 23 Eylül 2015 için doğrulama veri seti kullanılarak, gereken süre 1, 3 ve 6 saatler için gözlemlenen ve tahmin edilen akış değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 27. 22-23 Ekim 2015 için bağımsız test veri seti kullanılarak, gereken süre 1, 3 ve 6 saatler için gözlemlenen ve tahmin edilen akış değerlerinin karşılaştırılması

3.2.1 YSA'nın Genel Değerlendirme

Bu çalışmada, Muğla ilinin Bodrum ilçesinde ani şehir seli tahmini yapmak için gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için, çok tabakalı geri yayılım modeli olan YSA kullanılmıştır. YSA analizinde kullanılmak üzere, ilk olarak yağış-akış modeli oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan bu yağış-akış modeli 2 veri setine ayrılmıştır. YSA'nın eğitimi, 23 Eylül 2015'de aşırı yağış değerleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bağımsız veri seti kullanılarak gerçekleştirilen doğruluk değerlendirmesi, 22-23 Ekim 2015'de meydana gelen aşırı yağış olayının analize dâhil edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. 1-6 saatlik gereken süre, model performansı için değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Model performansı modelin etkinliğini belirlemek için kullanılmıştır. Bu çalışmada, 2 saatlik gereken süre tatmin edici sonuç vermiştir. Başlıca iki gözlem yapılmıştır: (1) bağımsız veri seti kullanılarak gerçekleştirilen doğrulama sürecinde model, akışı yüksek tahmin etmiştir; (2) gereken sürenin artmasıyla model performansının düşüş gösterdiği izlenmiştir. Model sonuçları, veri setinin test edilmesi için analiz edildiğinde, hidrografın yükselen kolunun çoğunlukla zamanından önce tahmin ettiği not edilmiştir.

Gereken zaman arttıkça performansta gözlemlenen düşüşün ana nedeni, çalışmada kullanılan veri setinin sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışma Bodrum ilçesinde ani şehir sel tahmininde, YSA kullanımının ön araştırılması olarak kabul edilebilir. Genel olarak, ani şehir seli tahminlerinde, metrik model kullanmanın dezavantajı, modelin kalibrasyonunun sağlanması ve eğitilmesi için uzun zamanlı veri setini gerektirmesidir. Li vd. (2013) sınırlı veriye sahip havzalarda, modellerin kalibrasyon etkisini çalışırken, nemli ve yarı nemli havzaların, kurak iklim şartlarına sahip alanlarla karşılaştırdığında, Bodrum ilçesi gibi, daha iyi yağış akış performansı

verdiklerini, benzer şekilde, Jeong ve Kim (2005) kurak mevsimlerde model doğruluğunun önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Her iki çalışmada da birkaç yıl içinde gerçekleşen aşırı yağış olaylarının, YSA kalibrasyonu için dikkate alınması gerektiği önerilmiştir. Dawson ve Wilby (1998) çok sayıda sel olaylarıyla ilişkili yüksek bilgi içerikli veri kullanımını kalibrasyon için önermişlerdir. Ancak, Bodrum'da Kasım 1988 ve 23 Eylül 2015'de gerçekleşen olaylar dışındaki geçmişteki aşırı yağışlar sel olaylarını gerçekleştirmemiştir. Bu sebeple, Bodrum'da söz konusu sel olayları az olduğundan mevcut veri seti azdır. Buna ek olarak, Kasım 1988 yılına ait sadece aylık maksimum ve toplam yağış değerlerine ait veri mevcudiyeti söz konusudur. Çalışma alanı için ani sel olayını araştırmada, saatlik ortalama yağış verisi sadece tespit edilen tarihler için elde edilebilmiştir. Ortalama saatlik yağış verileri en azından son on yıl için elde edilebilir. aşırı yağış olaylarına ilişkin tarihsel ortalama saatlik yağış veri setinin eklenmesi model performansını oldukça artıracaktır.

Ani sel tahmin çalışmalarındaki zorluklardan biri, su havzalarının küçük olması, yağışı ve akışı ölçen gözlem istasyonlarının az olmasıdır (Younis, vd., 2008). Bu çalışmada, Bodrum ilçesinde tek bir istasyon bulunmaktadır. Bu istasyon çalışma alanının tamamını temsil etmemektedir. Bu sebeple Bodrum ilçesinde var olan tek istasyon ile yağış-akış tahmini yapılamamaktadır. Bu amaçla, Muğla ilinde var olan 19 meteorolojik istasyon verisinin saatlik ortalama yağış değerleri kullanılarak mekânsal-zamansal Kriging yöntemi ile yağış modelleri elde edilmiştir. Elde edilen yağışın tahmin modelleri, çalışma alanındaki belirlenen lokasyonlar için akış tahmini yaparken kullanılmıştır. Bölgesel iklim modelinin sonuçlarını analiz etmek için yağış tahmini yapmada OK yöntemini kullanan Herrera vd. (2010), Kriging sonucunun her bir istasyonun gözleminde iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Bundan dolayı, sınırlı

istasyonun bulunduğu, veri temin etmek için alternatif kaynakların olmadığı ve sel riskinin çok fazla olduğu bu çalışma alanı için çalışmada kullanılan yağış verisi yeterlidir. Buna rağmen bu çalışma alanında istasyon ağının geliştirilmesi gerekmektedir. Çünkü, akış verisinin doğru olarak hesap edilmesi için bu önemlidir. Chiang vd. (2007) akış tahmini için çoklu yağış kaynaklarını (istasyon ve radar verisi) kullanarak, bir YSA modeli ortaya koymuşlardır. Tayfun dönemleri için yaptıkları araştırmalarında, YSA sonuçlarının model performansını geliştirdiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında istasyon verilerinin akış tahmin için pek çok durumda yeterli bilgi sağlayabildiğini vurgulamışlardır. Birleştirme işlemi, istasyon sayısına ve verinin kalitesine bağlıdır. Çalışmanın sınırlı istasyon sayısı olan bölgelerde, radar verisi görüntüsü kullanılarak modelin geliştirilmesinde faydalı olacağını vurgulamışlardır. Akhtar vd. (2009), Chiang vd. (2007)'in araştırması gibi iyi bir YSA yapısı inşa etmek ve gereken zamanı geliştirmek için istasyon yağış verisiyle birlikte, radar verisinin kullanımının gerekliliğinden bahsetmişlerdir.

Younis vd. (2008) seli meydana getiren akış değeri için bir eşik değeri tanımlamışlardır. Bu eşik değeri üzerinde gerçekleşebilecek seli tahmin edebilen ve hava durumu gibi gereken süreyi gösterebilen bir model geliştirmişlerdir. Çalışma alanı için uygulanan bu metod çok sayıda yanlış alarm vermiştir. Ancak, kaçırdığı olay sayısı az olmuştur. Yanlış alarm daha sonra kolaylıkla tanımlanabilmiştir. Fakat, kaçırılan olayın olması durumunda hazırlık önlemlerinin alınması imkansız olmaktadır. Gereken süre, ani sel tahminin doğruluğunu belirlemede önemlidir. İyi bir sel tahmini yapılmış olabilir ancak, zamanında selin gerçekleşme riski olan alandaki nüfusa ulaşamazsa, yapılan tahmin ve uyarı sistemi, o vakit işe yaramadığı sonucuna varılır. Ani şehir seli birkaç saatlik kısa bir süre içinde meydana gelmektedir. Bu durum sel sırasında tahliye

planı yapmayı zorlaştırmaktadır (Singh, 2007). Artigue vd. (2012) Akdeniz, Fransa'da YSA kullanarak iki saat kadar etkin olan bir ani sel tahmini yapmışlardır. Cools vd. (2012) ani sel durumunda etkili bir hazırlık için gereken süreyi yaklaşık iki saat olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada bazı lokasyonlar için gereken zaman YSA ile bulunmuştur. Buna rağmen, gereken süre ile ilişkili model performansını geliştirmeye ihtiyaç vardır. Gereken zaman 2000 yılından beri, ani sel tahmini için 6 saate kadar yükseltilmiştir (Hapuarachchi, vd., 2011). Gereken sürenin daha uzun olması, acil duruma müdahale edecek kişiler tarafından önemli hazırlıkların yapılmasına izin vermektedir (Stephens ve Cloke, 2014).

Muğla ilinin Bodrum ilçesinde, ani sel tahmini için gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları, çalışmanın amacıyla örtüşmektedir. Model, 2 saat gereken süre için etkili sonuçlar vermiştir. Pozitif sonuçlara ve tartışmaya dayalı olarak, tekniğin daha da geliştirilmesi ve test devamlılığının sağlanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

4 SONUÇ

Bu çalışmanın ana hedefi, Türkiye'nin güneybatısında yer alan Muğla ili, Bodrum ilçesinde sel etkisini azaltmaya yardımcı olmak için yeterli doğruluğa ve gereken sürede bilgi sağlama yeteneğine sahip ani sel tahmini oluşturmaktır. Şehrin drenaj havzalarında ani sel tahmini, küçük mekânsal kısa zamanlı ölçeklerde yağış tahmini yapma yeteneğine sıkı bir şekilde bağlıdır. Muğla ilinde yer alan meteoroloji istasyon ağı mekânsal-zamansal Kriging analizi sonucunda yağış tahmin modelleri oluşturulmuş, daha sonra bu veriden belirlenmiş lokasyonlar için akış hesaplaması yapılmıştır. Daha sonra YSA metodu kullanarak i bir yağış-akış modeli oluşturulmuştur.

Bodrum ilçesindeki aşırı yağış olayları, kıyı boyunca fazla, iç kesimlerinde az gözlemlenmiştir. Millán vd. (2005) göre, yağışın bu türü, kıyı alanlarında olduğundan dolayı hidrolojik sistem için daha az etkilidir. Buna karşın, soğuk cepheler ve konveksiyon durumlarıyla ilişkili olan düşük yağış olayları iç kesimlerde meydana gelmektedir. Bu tür yağışlar hidrolojik sistem için daha etkilidir. Türkiye'de gözlemlenen yıllık yağış miktarı azalır ve aşırı yağış olayları artmaktadır. Bundan dolayı, su kaynakları ve mevcudiyeti ile ilişkili gelecekte karşılaşılabilecek ciddi problemler olabilir. Buna ek olarak, küresel iklim değişikliğinin etkileri ile yağış sıklığı ve şiddetindeki artış, sellerin oluşmasına neden olacaktır. Ani sel tahminlerinin yapılması ve etkili uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, risk yönetimi açısından bir ihtiyaç olduğu açıktır. Güvenli yerler ve gereken süre gibi hazırlık önlemleri, ani şehir seli özelliklerine göre yapılandırılır.

Kara kutu özelliğine rağmen YSA, ani şehir seli gibi fiziksel eşitlikler kullanılarak sebep-sonuç süreçlerinin özelliklerinin olduğu problemleri tanımlamanın zor olduğu örneklerde oldukça etkili ve faydalı olmasından dolayı seçilmiştir. Geri yayılım özelliği

ile birlikte MLP, bu çalışmada Bodrum ilçesi için uygulanmıştır. Buna göre, model akış değerleri için yüksek tahmin yapmıştır ve gereken sürenin artmasıyla performansta bir düşüş olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, şehirde yaşayan insanları uyarmak için yeterli bir süre olarak düşünülen 2 saat için doğru sonuçlar vermiştir. Ancak gereken sürenin uzun olması yerel yönetimin gerekli önlemleri alması için önemlidir. Gereken süre artıkça model performansının düşmesinin nedeni çalışmada kullanılan sınırlı veri setinden kaynaklanmaktadır. Aşırı yağış olayları için tarihi yağış kayıtlarını kullanmak model performansının artmasını sağlayacaktır. Buna ek olarak, girdi verisi olarak radar verisinin dâhil edilmesi gereken sürede oluşturulan model performansını yükseltecektir. YSA'nın hesaplama gücü ve esnekliğinden dolayı, bu teknik Türkiye'nin ani şehir seli riski taşıyan diğer alanları içinde uygulanabilir. Ani şehir seli tahmini üzerine gerçekleştirilen bu çalışma, sadece coğrafyacılar için değil, diğer alanlarda çalışan araştırmacılar içinde farklı bir bakış açısı sağlamaktadır.

Gelecek araştırmalar için önemli öneriler düşünüldüğünde;

- (1) Bodrum ilçesinde aşırı yağış olaylarını etkileyen diğer önemli faktörlerinde jeostatistik yöntemlerine dâhil edilerek daha doğru yağış modellerinin oluşturulması
- (2) Uzun bir dönemi içine alan verilerin kullanımı YSA'nın ani sel olaylarını daha iyi karakterize edebilmesini sağlar
- (3) Tahmin sürecinde, kapsamlı veri seti oluşturabilmek için istasyon verisi ile birlikte radar verisinde analizlere ilave edilmesi önemli olmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan YSA yaklaşımının Türkiye'de sel araştırmaları için örnek bir çalışma olduğu söylenebilir. Mekânsal-zamansal Kriging tekniği daha önce gerçekleşen yağış olaylarının yeniden kurgulanmasına izin

vermektedir. Böylece, o alanla ilgili yağış trendini açık bir şekilde ortaya koyan bir resim çizmektedir. YSA yöntemi ile, ani şehir sel tahminlerinin yapılması gereken sürenin belirlenmesini sağlamaktadır. Bu, alan için uyarının yapılarak önlemlerin alınmasını gerçekleştirmektedir. Uyarıların yapılabilmesi erken uyarı ve izleme sistemlerinin yerel yöneticiler tarafından gereken yerlere yerleştirilmesiyle mümkündür. Bu sayede uyarıyı alan halk acil olarak gereken önlemleri alabilecektir. Bununla birlikte, bireyden başlayarak toplumun tüm kesimlerine gereken bu süre içinde oluşan sele hazırlıklı olma kültürünü kazandırmak, farkındalık yaratmak, yaşadıkları mekânda alabilecekleri temel önlemleri paylaşmak, doğru davranış şekillerini öğrenmelerini ve uygulamalarını sağlamak, acil durum planlarının yapılmasına yönelik bilgilendirmelerin yapılması, alabilecekleri temel önlemleri paylaşmak, acil durumda kolaylıkla ulaşabilecekleri altyapıları kurmak gibi çeşitli yollarda büyük önem taşımaktadır. Ani şehir seli tahminleri için bu tekniklerin uygulanması sadece Bodrum ilçesi ile sınırlı değildir. Aynı zamanda özellikle son zamanlarda aşırı yağışların gözlemlendiği pek çok şehir alanları için de geliştirilebilmektedir. Böylece, bu şehir alanlarında gerçekleşen sel karşısındaki hazırlıklar ve doğru davranış şekilleri, yapabilirlik/yeterlilik bilincinin gerçekleşmesine ve sel risklerin azaltılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Abebe, A. J., Price, R. K. (2004) "Information Theory and Neural Networks for Managing Uncertainty in Flood Routing", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 18(4), 373–380.
- Abrahart, R. J., Anctil, F., Coulibaly, P., Dawson, C. W., Mount, N. J., See, L. M., Shamseldin, A. Y., Solomatine, D. P., Toth, E., Wilby, R. L. (2012) "Two decades of anarchy? Emerging themes and outstanding challenges for neural network river forecasting", *Progress in Physical Geography*, 36(4), 480–513.
- Abrahart, R. J., Heppenstall, A. J., See, L. M. (2007) "Timing error correction procedure applied to neural network rainfall—runoff modelling", *Hydrological Sciences Journal*, 52(3), 414–431.
- Abrahart, R. J., See, L. (2000) "Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments", *Hydrological Processes*, 14(11–12), 2157–2172.
- Abrahart, R. J., See, L. (2002) "Multi-model data fusion for river flow forecasting: an evaluation of six alternative methods based on two contrasting catchments", *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6(4), 655–670.
- Abrahart, R. J., See, L., Kneale, P. E. (1999) "Using pruning algorithms and genetic algorithms to optimise network architectures and forecasting inputs in a neural network rainfall-runoff model", *Journal of Hydroinformatics*, 1(2), 103–114.
- Abrahart, R. J., See, L. M. (2007) "Neural network emulation of a rainfall-runoff model", *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4(1), 287–326.
- Abrahart, R. J., See, L. M., Dawson, C. W. (2009) "Neural Network Hydroinformatics: Maintaining Scientific Rigour" In: Abrahart, R. J., See, L. M. Solomatine, D. P. (Eds.), *Practical Hydroinformatics* (pp. 33–47), Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Abrahart, R. J., See, L. M., Dawson, C. W., Shamseldin, A. Y., Wilby, R. L. (2010) "Nearly two decades of neural network hydrologic modeling" In: Sivakumar, B. Berndtsson, R. (Eds.), *Advances in Data-Based Approaches for Hydrologic Modeling and Forecasting* (pp. 267–346). Singapore: World Scientific.
- Abtew, W., Obeysekera, J., Shih, G. (1993) "Spatial Analysis for Monthly Rainfall in South Florida", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 29(2), 179–188.
- Adamowski, J., Sun, K. (2010) "Development of a coupled wavelet transform and neural network method for flow forecasting of non-perennial rivers in semi-arid watersheds", *Journal of Hydrology*, 390(1), 85–91.
- Ahmed, K., Shahid, S., Harun, S. Bin. (2014) "Spatial interpolation of climatic variables in a predominantly arid region with complex topography", *Environment Systems and Decisions*, 34(4), 555–563.
- Akhtar, M. K., Corzo, G. A., van Andel, S. J., Jonoski, A. (2009) "River flow forecasting with

- artificial neural networks using satellite observed precipitation pre-processed with flow length and travel time information: case study of the Ganges river basin", *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(9), 1607–1618.
- Akiner, M. E., Akkoyunlu, A. (2012) "Modeling and forecasting river flow rate from the Melen Watershed, Turkey", *Journal of Hydrology*, 456–457, 121–129.
- Akkemik, K. A. (2012) "Assessing the importance of international tourism for the Turkish economy: A social accounting matrix analysis", *Tourism Management*, 33(4), 790–801.
- Alpert, P., Osetinsky, I., Ziv, B., Shafir, H. (2004) "Semi-objective classification for daily synoptic systems: application to the eastern Mediterranean climate change", *International Journal of Climatology*, 24(8), 1001–1011.
- Ampazis, N., Perantonis, S. J. (2002) "Two highly efficient second-order algorithms for training feedforward networks", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 13(5), 1064–1074.
- Anagnostou, E. N., Grecu, M., Anagnostou, M. N. (2006) "X-band Polarimetric Radar Rainfall Measurements in Keys Area Microphysics Project", *Journal of the Atmospheric Sciences*, 63(1), 187–203.
- Ancil, F. (2007) "Tools for the assessment of hydrological ensemble forecasts" In: Coulibaly, P. (Ed.), *Proceedings of the International Workshop on Advances in Hydroinformatics, 4–7 June 2007*. Niagara Falls, Canada.
- Ancil, F., Rat, A. (2005) "Evaluation of Neural Network Streamflow Forecasting on 47 Watersheds", *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(1), 85–88.
- Ancil, F., Tape, D. G. (2004) "An exploration of artificial neural network rainfall-runoff forecasting combined with wavelet decomposition", *Journal of Environmental Engineering and Science*, 3(1), 121–128.
- Anderson, M. G., Burt, T. P. (1985) "Modelling strategies" In: Anderson, M. G. Burt, T. P. (Eds.), *Hydrological Forecasting* (pp. 1–13). Chichester: Wiley.
- Aqil, M., Kita, I., Yano, A., Nishiyama, S. (2007) "A comparative study of artificial neural networks and neuro-fuzzy in continuous modeling of the daily and hourly behaviour of runoff", *Journal of Hydrology*, 337, 22–34.
- Araújo, M. B., Alagador, D., Cabeza, M., Nogués-Bravo, D., Thuiller, W. (2011) "Climate change threatens European conservation areas", *Ecology Letters*, 14(5), 484–492.
- Artigue, G., Johannet, A., Borrell, V., Pistre, S. (2012) "Flash flood forecasting in poorly gauged basins using neural networks: case study of the Gardon de Mialet basin (southern France)", *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(11), 3307–3324.
- ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology. (2000a) "Artificial Neural Networks in Hydrology. I: Preliminary Concepts", *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), 115–123.

- ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology. (2000b). "Artificial Neural Networks in Hydrology. II: Hydrologic Applications", *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), 124–137.
- Aydin, O., Çiçek, İ. (2015) *Geostatistical Interpolation of Precipitation in Turkey*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing.
- Aydın, O., Çiçek, İ. (2013) "Ege Bölgesi'nde Yağışın Mekânsal Dağılımı (Spatial distribution of precipitation in Aegean Region)", *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 101–120.
- Bahadır, M. (2011) "Ege Bölgesi'nde yağışın yüzeysel dağılım modellemesi", *Turkish Studies-International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 6(2), 213–228.
- Beek, E. G., Stein, A., Janssen, L. L. F. (1992) "Spatial variability and interpolation of daily precipitation amount", *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 6(4), 304–320.
- Berne, A., Delrieu, G., Boudevillain, B. (2009) "Variability of the spatial structure of intense Mediterranean precipitation", *Advances in Water Resources*, 32, 1031–1042.
- Beven, K. (2001) "How far can we go in distributed hydrological modelling?", *Hydrology and Earth System Sciences*, 5(1), 1–12.
- Beven, K. (2004) "Robert E. Horton's perceptual model of infiltration processes", *Hydrological Processes*, 18(17), 3447–3460.
- Bhattacharya, B., Lobbrecht, A. H., Solomatine, D. P. (2003) "Neural Networks and Reinforcement Learning in Control of Water Systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(6), 458–465.
- Bishop, C. M. (1995) *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford: Oxford University Press.
- Bivand, R., Pebesma, E. J., Gómez-Rubio, V. (2008). *Applied spatial data analysis with R*. New York: Springer.
- Bogaert, P. (1996) "Comparison of kriging techniques in a space-time context" *Mathematical Geology*, 28(1), 73–86.
- Bolle, H.-J. (2012) *Mediterranean Climate: Variability and Trends*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Borga, M., Gaume, E., Creutin, J. D., Marchi, L. (2008) "Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes", *Hydrological Processes*, 22(18), 3883–3885.
- 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.
- Bowden, G. J., Dandy, G. C., Maier, H. R. (2005a) "Input determination for neural network models in water resources applications. Part 1—background and methodology",

Journal of Hydrology, 301(1), 75–92.

- Bowden, G. J., Maier, H. R., Dandy, G. C. (2005b) "Input determination for neural network models in water resources applications. Part 2. Case study: forecasting salinity in a river", *Journal of Hydrology*, 301(1), 93–107.
- Bradshaw, C. J. A., Sodhi, N. S., Peh, K. S.-H., Brook, B. W. (2007) "Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world", *Global Change Biology*, 13(11), 2379–2395.
- Brath, A., Montanari, A., Toth, E. (2002) "Neural networks and non-parametric methods for improving real-time flood forecasting through conceptual hydrological models", 6(4), 627–639.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., Auer, I., Böhm, R., Schöner, W. (2006) "Precipitation variability and changes in the greater Alpine region over the 1800–2003 period", *Journal of Geophysical Research*, 111(D11).
- Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., Bièvre, B. De, Wyseure, G. (2006) "Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes", *Journal of Hydrology*, 329(3–4), 413–421.
- Camarasa-Belmonte, A. M., Soriano-García, J. (2012) "Flood risk assessment and mapping in peri-urban Mediterranean environments using hydrogeomorphology. Application to ephemeral streams in the Valencia region (eastern Spain)", *Landscape and Urban Planning*, 104(2), 189–200.
- Campins, J., Genovés, A., Picornell, M. A., Jansà, A. (2010) "Climatology of Mediterranean cyclones using the ERA-40 dataset" *International Journal of Climatology*, 31(11), 1596–1614.
- Campolo, M., Soldati, A., Andreussi, P. (1999) "Forecasting river flow rate during low-flow periods using neural networks", *Water Resources Research*, 35(11), 3547–3552.
- Carrera-Hernández, J. J., Gaskin, S. J. (2007) "Spatio-temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico", *Journal of Hydrology*, 336(3–4), 231–249.
- Chaipimonplin, T. (2010) *An exploration of neural network modelling options for the upper river Ping, Thailand* (PhD). University of Leeds.
- Chen, H., Yang, D., Hong, Y., Gourley, J. J., Zhang, Y. (2013) "Hydrological data assimilation with the Ensemble Square-Root-Filter: Use of streamflow observations to update model states for real-time flash flood forecasting", *Advances in Water Resources*, 59, 209–220.
- Chen, Y., Chang, F.-J. (2009) "Evolutionary artificial neural networks for hydrological systems forecasting", *Journal of Hydrology*, 367(1), 125–137.
- Chiang, Y. M., Hsu, K. L., Chang, F. J., Hong, Y., Sorooshian, S. (2007) "Merging multiple precipitation sources for flash flood forecasting", *Journal of Hydrology*, 340(3–4),

- Chidthong, Y., Tanaka, H., Supharatid, S. (2009) "Developing a hybrid multi-model for peak flood forecasting", *Hydrological Processes*, 23(12), 1725–1738.
- Cools, J., Vanderkimpfen, P., El Afandi, G., Abdelkhalek, A., Fockedey, S., El Sammany, M., Abdallah, G., El Bihery, M., Bauwens, W., Huygens, M. (2012) "An early warning system for flash floods in hyper-arid Egypt", *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(2), 443–457.
- Corani, G., Guariso, G. (2005) "An application of pruning in the design of neural networks for real time flood forecasting", *Neural Computing and Applications*, 14(1), 66–77.
- Corzo, G. A., Solomatine, D. P., de Wit, M., Werner, M., Uhlenbrook, S., Price, R. K. (2009) "Combining semi-distributed process-based and data-driven models in flow simulation: A case study of the Meuse river basin", *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 13, 1619–1634.
- Coulibaly, P., Baldwin, C. K. (2009) "Dynamic Neural Networks for Nonstationary Hydrological Time Series Modeling", In: *Practical Hydroinformatics* (pp. 71–85). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Coulibaly, P., Dibikey, Y. B., Anctil, F. (2005) "Downscaling Precipitation and Temperature with Temporal Neural Networks", *Journal of Hydrometeorology*, 6(4), 483–496.
- Cressie, N. A. C. (1993) *Statistics for spatial data* (Rev. ed). New York: Wiley.
- Cressie, N. A. C., Huang, H.-C. (1999) "Classes of Nonseparable, Spatio-Temporal Stationary Covariance Functions" *Journal of the American Statistical Association*, 94(448), 1330–1340.
- Creutin, J. D., Delrieu, G., Lebel, T. (1988) "Rain Measurement by Rainage-Radar Combination: A Geostatistical Approach", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 5(1), 102–115.
- Dastorani, M. T., Moghadamnia, A., Piri, J., Rico-Ramirez, M. (2010) "Application of ANN and ANFIS models for reconstructing missing flow data", *Environmental Monitoring and Assessment*, 166(1–4), 421–434.
- Dawson, C. W., Abrahart, R. J., See, L. M. (2007) "HydroTest: A web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts", *Environmental Modelling Software*, 22(7), 1034–1052.
- Dawson, C. W., See, L. M., Abrahart, R. J., Heppenstall, A. J. (2006) "Symbiotic adaptive neuro-evolution applied to rainfall-runoff modelling in northern England", *Neural Networks*, 19(2), 236–247.
- Dawson, C. W., Wilby, R. L. (1998) "An artificial neural network approach to rainfall-runoff modelling", *Hydrological Sciences Journal*, 43(1), 47–66.
- Dawson, C. W., Wilby, R. L. (2001) "Hydrological modelling using artificial neural

- networks", *Progress in Physical Geography*, 25(1), 80–108.
- De Cesare, L., Myers, D. E., Posa, D. (2001) "Estimating and modeling space-time correlation structures", *Statistics Probability Letters*, 51(1), 9–14.
- De Cesare, L., Myers, D. E., Posa, D. (2002) "FORTRAN programs for space-time modeling", *Computers Geosciences*, 28(2), 205–212.
- De Iaco, S., Myers, D. E., Posa, D. (2002) "Space-time variograms and a functional form for total air pollution measurements", *Computational Statistics Data Analysis*, 41(2), 311–328.
- De Lima, M. I. P., Santo, F. E., Ramos, A. M., Trigo, R. M. (2015) "Trends and correlations in annual extreme precipitation indices for mainland Portugal, 1941–2007", *Theoretical and Applied Climatology*, 119(1–2), 55–75.
- De Luis, M., González-Hidalgo, J. C., Longares, L. A., Štěpánek, P. (2009) "Seasonal precipitation trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in second half of 20th century", *International Journal of Climatology*, 29(9), 1312–1323.
- Dehghani, M., Saghafian, B., Nasiri Saleh, F., Farokhnia, A., Noori, R. (2014) "Uncertainty analysis of streamflow drought forecast using artificial neural networks and Monte-Carlo simulation", *International Journal of Climatology*, 34(4), 1169–1180.
- Dimitrakopoulos, R., Luo, X. (1994) "Spatiotemporal Modelling: Covariances and Ordinary Kriging Systems", In: Dimitrakopoulos, R. (Ed.), *Geostatistics for the Next Century* (pp. 88–93). Dordrecht : Springer Science+Business Media.
- 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(3), 351–363.
- Diodato, N., Bellocchi, G. (2010) "Storminess and Environmental Changes in the Mediterranean Central Area", *Earth Interactions*, 14(5), 1–16.
- Doan, C. D., Liong, S.-Y. (2004) "Generalisation for multilayer neural network bayesian regularisation or early stopping", In: *Proceedings of Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources 2nd Conference*. Singapore.
- DSI (2016) *The General Directorate of State Hydraulic Works* [Online] Available at: <http://www2.dsi.gov.tr/> [Accessed 12 July 2016]
- Duncan, A. P. (2014). *The Analysis and Application of Artificial Neural Networks for Early Warning Systems in Hydrology and the Environment* (PhD). University of Exeter.
- Eichler, T. P., Shulman, M. D. (1987) "A note on the climatology of backdoor cold fronts", *National Weather Digest*, 12(4), 14–16.
- Einfalt, T., Jensen, T. S., Klinting, A. (2004) "Combining NWP data, radar data, raingauge data and a hydrological-hydrodynamical model", In: *Proceedings of the European conference on radar in meteorology and hydrology (ERAD)* (pp. 522–524). Kaltenburg-Lindau: Copernicus.

- El-Shafie, A., Taha, M. R., Noureldin, A. (2007) "A neuro-fuzzy model for inflow forecasting of the Nile river at Aswan high dam", *Water Resources Management*, 21(3), 533–556.
- EM-DAT. (2016) *The international disasters database* [Online] Available at: <http://www.emdat.be/> [Accessed 12 July 2016]
- Firat, M., Güngör, M. (2008) "Hydrological time-series modelling using an adaptive neuro-fuzzy inference system", *Hydrological Processes*, 22(13), 2122–2132.
- Flaounas, E., Drobinski, P., Bastin, S. (2013) "Dynamical downscaling of IPSL-CM5 CMIP5 historical simulations over the Mediterranean: benefits on the representation of regional surface winds and cyclogenesis", *Climate Dynamics*, 40(9–10), 2497–2513.
- Fragoso, M., Trigo, R. M., Pinto, J. G., Lopes, S., Lopes, A., Ulbrich, S., Magro, C. (2012) "The 20 February 2010 Madeira flash-floods: synoptic analysis and extreme rainfall assessment", *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(3), 715–730.
- Frazier, A. G., Giambelluca, T. W., Diaz, H. F., Needham, H. L. (2016) "Comparison of geostatistical approaches to spatially interpolate month-year rainfall for the Hawaiian Islands", *International Journal of Climatology*, 36(3), 1459–1470.
- Furundzic, D. (1998) "Application example of neural networks for time series analysis: Rainfall–runoff modeling", *Signal Processing*, 64(3), 383–396.
- Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaskovicova, L., Blochl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, G., Szolgay, J., Tsanis, I., Velasco, D., Viglione, A. (2009) "A compilation of data on European flash floods", *Journal of Hydrology*, 367(1–2), 70–78.
- Gautam, D. K., Holz, K. P. (2001) "Rainfall-runoff modelling using adaptive neuro-fuzzy systems", *Journal of Hydroinformatics*, 3(1), 3–10.
- Ghalkhani, H., Golian, S., Saghafian, B., Farokhnia, A., Shamseldin, A. (2013) "Application of surrogate artificial intelligent models for real-time flood routing", *Water and Environment Journal*, 27(4), 535–548.
- Golob, R., Štokelj, T., Grgič, D. (1998) "Neural-network-based water inflow forecasting", *Control Engineering Practice*, 6(5), 593–600.
- Goovaerts, P. (1997) *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford: Oxford University Press.
- Goovaerts, P. (2000) "Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall", *Journal of Hydrology*, 228(1–2), 113–129.
- Goubanova, K., Li, L. (2007) "Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations", *Global and Planetary Change*, 57(1–2), 27–42.

- Govindaraju, R. S., Rao, A. R. (2013) *Artificial Neural Networks in Hydrology*. Dordrecht: Springer Science+Business Media.
- Gribbin, J. E. (2013). *Introduction to Hydraulics Hydrology: With Applications for Stormwater Management* (4th ed.). New York: Cengage Learning.
- Gualdi, S., Somot, S., Li, L., Artale, V., Adani, M., Bellucci, A., Braun, A., Calmanti, S., Carillo, A., Dell'Aquila, A., Deque, M., Dubois, C., Elizalde, A., Harzallah, A., Jacob, D., L'Heveder, B., May, W., Oddo, P., Rutti, P., Sanna, A., Sannino, G., Scoccimarro, E., Sevaut, F., Navarra, A. (2012) "The CIRCE Simulations: Regional Climate Change Projections with Realistic Representation of the Mediterranean Sea", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(1), 65–81.
- Gunduz, L., Hatemi-J, A. (2005). "Is the tourism-led growth hypothesis valid for Turkey?" *Applied Economics Letters*, 12(8), 499–504.
- Haberlandt, U. (2007) "Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event", *Journal of Hydrology*, 332(1–2), 144–157.
- Haining, R. P. (2003) *Spatial data analysis: theory and practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Han, D., Kwong, T., Li, S. (2007) "Uncertainties in real-time flood forecasting with neural networks", *Hydrological Processes*, 21(2), 223–228.
- Hapuarachchi, H. A. P., Wang, Q. J., Pagano, T. C. (2011) "A review of advances in flash flood forecasting", *Hydrological Processes*, 25(18), 2771–2784.
- Hecht-Nielsen, R. (1987) "Counterpropagation networks", *Applied Optics*, 26(23), 4979–4983.
- Hejazi, M. I., Cai, X. (2009) "Input variable selection for water resources systems using a modified minimum redundancy maximum relevance (mMRMR) algorithm", *Advances in Water Resources*, 32(4), 582–593.
- Hengl, T., Heuvelink, G. B. M., Stein, A. (2003) *Comparison of kriging with external drift and regression kriging (Technical Note)*. Enschede: International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.
- Henonin, J., Russo, B., Mark, O., Gourbesville, P. (2013) "Real-time urban flood forecasting and modelling – a state of the art", *Journal of Hydroinformatics*, 15(3), 717.
- Heppenstall, A. J., See, L. M., Abrahart, R. J., Dawson, C. W. (2009) "Neural Network Hydrological Modelling: An Evolutionary Approach", In: *Practical Hydroinformatics* (pp. 319–330). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Herrera, S., Fita, L., Fernández, J., Gutiérrez, J. M. (2010) "Evaluation of the mean and extreme precipitation regimes from the ENSEMBLES regional climate multimodel simulations over Spain", *Journal of Geophysical Research*, 115(D21), D21117.

- Hertig, E., Seubert, S., Paxian, A., Vogt, G., Paeth, H., Jacobeit, J. (2014) "Statistical modelling of extreme precipitation indices for the Mediterranean area under future climate change", *International Journal of Climatology*, 34(4), 1132–1156.
- Heuvelink, G. B. M., Musters, P., Pebesma, E. J. (1997) "Spatio-Temporal Kriging of Soil Water Content", In: Baafi, E. Y. Schofield, N. A. (Eds.), *Geostatistics Wollongong' 96* (Vol. 8, pp. 1020–1030). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Hipni, A., El-shafie, A., Najah, A., Karim, O. A., Hussain, A., Mukhlisin, M. (2013) "Daily Forecasting of Dam Water Levels: Comparing a Support Vector Machine (SVM) Model With Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)", *Water Resources Management*, 27(10), 3803–3823.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., Kanae, S. (2013) "Global flood risk under climate change", *Nature Climate Change*, 3(9), 816–821.
- Hohn, M. E. (1999) *Geostatistics and petroleum geology*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Hong, Y.-S. T., White, P. A. (2009) "Hydrological modeling using a dynamic neuro-fuzzy system with on-line and local learning algorithm", *Advances in Water Resources*, 32(1), 110–119.
- Hsu, K., Gupta, H. V., Sorooshian, S. (1995) "Artificial Neural Network Modeling of the Rainfall-Runoff Process", *Water Resources Research*, 31(10), 2517–2530.
- Hürriyet Gazetesi. (2015) Bodrum'u sel vurdu [Online] Available at: <http://www.hurriyet.com.tr/bodrumu-sel-vurdu-30142019> [Accessed 12 July 2016]
- IPCC. (2012) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Isaaks, E. H., Srivastava, R. M. (1989) *Applied geostatistics*. New York: Oxford University Press.
- Jain, A. (2005). "Comment on 'Comparison of static-feedforward and dynamic-feedback neural networks for rainfall-runoff modeling' by Chiang, Y.M., Chang, L.C., and F.J. Chang, 2004. *Journal of Hydrology* 290 (3–4), 297–311", *Journal of Hydrology*, 314(1–4), 207–211.
- Jain, A., Srinivasulu, S. (2006) "Integrated approach to model decomposed flow hydrograph using artificial neural network and conceptual techniques", *Journal of Hydrology*, 317(3), 291–306.
- Jang, J.-S. R. (1993) "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665–685.
- Jang, J.-S. R., Sun, C.-T., Mizutani, E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Michigan: Prentice

Hall.

- Jeong, D.-I., Kim, Y.-O. (2005) "Rainfall-runoff models using artificial neural networks for ensemble streamflow prediction", *Hydrological Processes*, 19(19), 3819–3835.
- Jia, Y., Zhao, H., Niu, C., Jiang, Y., Gan, H., Xing, Z., Zhao, X., Zhao, Z. (2009) "A WebGIS-based system for rainfall-runoff prediction and real-time water resources assessment for Beijing", *Computers Geosciences*, 35(7), 1517–1528.
- Kalteh, A. M. (2013) "Monthly river flow forecasting using artificial neural network and support vector regression models coupled with wavelet transform", *Computers Geosciences*, 54, 1–8.
- Kant, A., Suman, P. K., Giri, B. K., Tiwari, M. K., Chatterjee, C., Nayak, P. C., Kumar, S. (2013) "Comparison of multi-objective evolutionary neural network, adaptive neuro-fuzzy inference system and bootstrap-based neural network for flood forecasting", *Neural Computing and Applications*, 23(S1), 231–246.
- Karunanithi, N., Grenney, W., Whitley, D., Bovee, K. (1994) "Neural Networks for River Flow Prediction", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 8(2), 201–220.
- Katircioglu, S. T. (2009) "Revisiting the tourism-led-growth hypothesis for Turkey using the bounds test and Johansen approach for cointegration", *Tourism Management*, 30(1), 17–20.
- Kelley, C., Ting, M., Seager, R., Kushnir, Y. (2012) "Mediterranean precipitation climatology, seasonal cycle, and trend as simulated by CMIP5", *Geophysical Research Letters*, 39(21), L21703.
- Keskin, F. (2012). *Quantitative Flood Risk Assessment with Application in Turkey* (PhD). Middle East Technical University.
- Keskin, M. E., Taylan, D., Terzi, Ö. (2006) "Adaptive neural-based fuzzy inference system (ANFIS) approach for modelling hydrological time series", *Hydrological Sciences Journal*, 51(4), 588–598.
- Khaki, M., Yusoff, I., Islami, N. (2015) "Application of the Artificial Neural Network and Neuro-fuzzy System for Assessment of Groundwater Quality", *CLEAN – Soil, Air, Water*, 43(4), 551–560.
- Khan, M. S., Coulibaly, P. (2006) "Bayesian neural network for rainfall-runoff modeling", *Water Resources Research*, 42(7), W07409.
- Kim, S., Kim, J.-H., Park, K.-B. (2009) "Neural Networks Models for the Flood Forecasting and Disaster Prevention System in the Small Catchment", *Disaster Advances*, 2(3), 51–63.
- Kisi, O., Kerem Cigizoglu, H. (2007) "Comparison of different ANN techniques in river flow prediction", *Civil Engineering and Environmental Systems*, 24(3), 211–231.
- Kitano, H. (1994) "Neurogenetic learning: an integrated method of designing and training neural networks using genetic algorithms", *Physica D: Nonlinear*

Phenomena, 75(1-3), 225-238.

- Kobiyama, M., Goerl, R. F. (2007) "Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters", *SUISUI Hydrological Research Letters*, 1, 11-14.
- Koçman, A., Işık, Ş., Mutluer, M. (1996) "Ege Ovalarında Yağış Değişkenliği ve Kuraklık Sorunu", *Ege Coğrafya Dergisi*.
- Kohavi, R. (1995) "A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection", In: *Proceedings of the 14th international joint conference on Artificial intelligence - Volume 2* (pp. 1137-1143). Montreal: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Kömüşcü, A. Ü., Çelik, S. (2013) "Analysis of the Marmara flood in Turkey, 7-10 September 2009: an assessment from hydrometeorological perspective", *Natural Hazards*, 66(2), 781-808.
- Kömüşcü, A. Ü., Çelik, S., Ceylan, A. (2011) "8-12 Eylül 2009 Tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde Meydana Gelen Sel Olayının Yağış Analizi (Rainfall analysis of the flood event that occurred in Marmara Region on 8-12 September 2009)", *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 209-220.
- Kouroutzoglou, J., Flocas, H. A., Hatzaki, M., Keay, K., Simmonds, I., Mavroudis, A. (2013) "Identification of the development mechanisms of an explosive cyclone in the central Mediterranean with the aid of the MSG satellite images", In: Hadjimitsis, D. G., Themistocleous, K., Michaelides, S. Papadavid, G. (Eds.) *Proceedings of SPIE: First International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2013)* (p. 87951S). Bellingham: SPIE.
- Kouroutzoglou, J., Flocas, H. A., Keay, K., Simmonds, I., Hatzaki, M. (2011) "Climatological aspects of explosive cyclones in the Mediterranean", *International Journal of Climatology*, 31(12), 1785-1802.
- Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K. (2010) "A method for estimating flash flood peak discharge in a poorly gauged basin: Case study for the 13-14 January 1994 flood, Giofiros basin, Crete, Greece", *Journal of Hydrology*, 385(1-4), 150-164.
- Krause, P., Boyle, D. P., Bäse, F. (2005) "Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment", *Advances in Geosciences*, 5, 89-97.
- Kumar, A., Minocha, V. K. (2001) "Rainfall Runoff Modeling Using Artificial Neural Networks", *Journal of Hydrologic Engineering*, 6(2), 176-177.
- Kumari, M., Basistha, A., Bakimchandra, O., Singh, C. K. (2016) "Comparison of Spatial Interpolation Methods for Mapping Rainfall in Indian Himalayas of Uttarakhand Region", In: N. J. Raju (Ed.), *Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment* (pp. 159-168). Springer International Publishing.
- Kundzewicz, Z. (2012) *Changes in Flood Risk in Europe*. Wallingford: International Association of Hydrological Sciences.

- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechker, R., Bouwer, L. M., Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, R., Brakenridge, G. R., Kron, W., Benito, G., Honda, Y., Takahashi, K., Sherstyukov, B. (2014) "Flood risk and climate change: global and regional perspectives", *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1–28.
- Kuvan, Y. (2010) "Mass Tourism Development and Deforestation in Turkey", *Anatolia*, 21(1), 155–168.
- Kyriakidis, P. C., Journel, A. G. (1999) "Geostatistical Space–Time Models: A Review", *Mathematical Geology*, 31(6), 651–684.
- 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(11), 1855–1877.
- Kysely, J., Beguería, S., Beranová, R., Gaál, L., López-Moreno, J. I. (2012) "Different patterns of climate change scenarios for short-term and multi-day precipitation extremes in the Mediterranean", *Global and Planetary Change*, 98–99, 63–72.
- Largueche, F.-Z. B. (2006) "Estimating Soil Contamination with Kriging Interpolation Method", *American Journal of Applied Sciences*, 3(6), 1894–1898.
- Leedal, D., Weerts, A. H., Smith, P. J., Beven, K. J. (2013) "Application of data-based mechanistic modelling for flood forecasting at multiple locations in the Eden catchment in the National Flood Forecasting System (England and Wales)", *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 177–185.
- Legates, D. R., McCabe, G. J. (1999) "Evaluating the use of “goodness-of-fit” Measures in hydrologic and hydroclimatic model validation", *Water Resources Research*, 35(1), 233–241.
- Lekkas, D. F. (2008) "Using complementary methods for improved flow forecasting", *Hydrological Sciences Journal*, 53(4), 696–705.
- Lekkas, D. F., Onof, C. (2006) "Introducing the variation of advective time delay (ATD) to Transfer Function models", *Environmental Modelling Software*, 21(8), 1180–1189.
- Li, C., Tang, H., Ge, Y., Hu, X., Wang, L. (2014) "Application of back-propagation neural network on bank destruction forecasting for accumulative landslides in the three Gorges Reservoir Region, China", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(6), 1465–1477.
- Li, C. Z., Liu, J., Yu, F. L., Wang, H., Zhao, N. N., Liu, W. J. (2013) "Impact of calibration data variability on rainfall-runoff modelling performance in data-limited basins", *20th International Congress on Modelling and Simulation*, Adelaide, Australia, 1–6 December 2013.
- Li, J., Heap, A. D. (2011) "A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors", *Ecological Informatics*, 6(3–4), 228–241.

- Lionello, P. (2012) *The Climate of the Mediterranean Region: From the Past to the Future*. London: Elsevier.
- Lionello, P., Bhend, J., Buzzi, A., Della-Marta, P. M., Krichak, S. O., Jansà, A., Maheras, P., Sanna, A., Trigo, I. F., Trigo, R. (2006). "Chapter 6 Cyclones in the Mediterranean region: Climatology and effects on the environment", *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 4, 325–372.
- Liong, S.-Y., Lim, W.-H., Paudyal, G. N. (2000) "River Stage Forecasting in Bangladesh: Neural Network Approach", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14(1), 1–8.
- Llasat, M. C., Llasat-Botija, M., Prat, M. A., Porcú, F., Price, C., Mugnai, A., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Katsanos, D., Michaelides, S., Yair, Y, Savvidou, K., Nicolaidis, K. (2010) "High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database", *Advances in Geosciences*, 23, 47–55.
- Lloyd, C. D. (2005) "Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain", *Journal of Hydrology*, 308(1–4), 128–150.
- Lopez-Bustins, J.-A., Martin-Vide, J., Sanchez-Lorenzo, A. (2008) "Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns", *Global and Planetary Change*, 63(2), 171–176.
- 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 and Earth System Sciences*, 15(7), 2259–2274.
- Maddox, R. A., Chappell, C. F., Hoxit, L. R. (1979) "Synoptic and Meso- α Scale Aspects of Flash Flood Events", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 60(2), 115–123.
- Maier, H. R., Dandy, G. C. (1998) "Understanding the behaviour and optimising the performance of back-propagation neural networks: an empirical study", *Environmental Modelling Software*, 13(2), 179–191.
- Maier, H. R., Dandy, G. C. (1999) "Empirical comparison of various methods for training feed-Forward neural networks for salinity forecasting", *Water Resources Research*, 35(8), 2591–2596.
- Maier, H. R., Dandy, G. C. (2000) "Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications", *Environmental Modelling Software*, 15(1), 101–124.
- Maier, H. R., Jain, A., Dandy, G. C., Sudheer, K. P. (2010) "Methods used for the development of neural networks for the prediction of water resource variables in river systems: Current status and future directions", *Environmental Modelling Software*, 25(8), 891–909.
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., Gaume, E. (2010) "Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management", *Journal of Hydrology*, 394(1–2), 118–133.

- Marty, R., Zin, I., Obled, C., Bontron, G., Djerboua, A. (2012) "Toward Real-Time Daily PQPF by an Analog Sorting Approach: Application to Flash-Flood Catchments", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(3), 505–520.
- Mason, J. C., Price, R. K., Tem'Me, A. (1996) "A neural network model of rainfall-runoff using radial basis functions", *Journal of Hydraulic Research*, 34(4), 537–548.
- Matheron, G. (1969). *Le krigeage universel*. Paris: École nationale supérieure des mines de Paris.
- Mathworks (2016) [Online] Available from: <http://www.mathworks.com/> [Accessed 12 July 2016]
- McBratney, A. B., Odeh, I. O. A., Bishop, T. F. A., Dunbar, M. S., Shatar, T. M. (2000) "An overview of pedometric techniques for use in soil survey", *Geoderma*, 97(3–4), 293–327.
- McIntyre, N., Young, P., Orellana, B., Marshall, M., Reynolds, B., Wheeler, H. (2011) "Identification of nonlinearity in rainfall-flow response using data-based mechanistic modeling", *Water Resources Research*, 47(3), W03515.
- Mekanik, F., Imteaz, M. A., Gato-Trinidad, S., Elmahdi, A. (2013) "Multiple regression and Artificial Neural Network for long-term rainfall forecasting using large scale climate modes", *Journal of Hydrology*, 503, 11–21.
- Militino, A. F., Ugarte, M. D., Goicoa, T., Genton, M. (2015) "Interpolation of daily rainfall using spatiotemporal models and clustering", *International Journal of Climatology*, 35(7), 1453–1464.
- Millán, M. M. (2014) "Extreme hydrometeorological events and climate change predictions in Europe", *Journal of Hydrology*, 518, 206–224.
- Millán, M. M., Estrela, M. J., Miró, J. (2005) Rainfall Components: Variability and Spatial Distribution in a Mediterranean Area (Valencia Region). *Journal of Climate*, 18(14), 2682–2705.
- Minns, A. W., Hall, M. J. (1996) "Artificial neural networks as rainfall- runoff models", *Hydrological Sciences Journal*, 41(3), 399–417.
- Miró Pérez, J., Estrela Navarro, M. J., Pastor Guzman, F., Millán, M. (2009) "Análisis comparativo de tendencias en la precipitación, por distintos inputs, entre los dominios hidrológicos del Segura y del Júcar (1958–2008)", *Investigaciones Geográficas*, 49(07), 129–157.
- Mitchell, M. W., Genton, M. G., Gumpertz, M. L. (2006) "A likelihood ratio test for separability of covariances", *Journal of Multivariate Analysis*, 97(5), 1025–1043.
- Moral, F. J. (2010) "Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: application to precipitation", *International Journal of Climatology*, 30(4), 620–631.
- Moriarty, D. E., Miikkulainen, R. (1997) "Forming Neural Networks Through Efficient

- and Adaptive Coevolution", *Evolutionary Computation*, 5(4), 373–399.
- Mujumdar, P. P., Kumar, D. N. (2012). *Floods in a Changing Climate: Hydrologic Modeling*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mukerji, A., Chatterjee, C., Raghuwanshi, N. S. (2009) "Flood Forecasting Using ANN, Neuro-Fuzzy, and Neuro-GA Models", *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(6), 647–652.
- Mutua, F. (2015) "A comparison of spatial rainfall estimation techniques: A case study of Nyando river basin Kenya", *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 14(1), 96–113.
- Napolitano, G., See, L., Calvo, B., Savi, F., Heppenstall, A. (2010) "A conceptual and neural network model for real-time flood forecasting of the Tiber River in Rome", *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(3–5), 187–194.
- Nason, G. P., von Sachs, R. (1999) "Wavelets in time-series analysis", *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 357(1760), 2511–2526.
- Nastos, P. T., Paliatsos, A. G., Koukouletsos, K. V., Larissi, I. K., Moustris, K. P. (2014) "Artificial neural networks modeling for forecasting the maximum daily total precipitation at Athens, Greece", *Atmospheric Research*, 144, 141–150.
- NatCatSERVICE (2016) [Online] Available from: <https://www.munichre.com/> [Accessed 12 July 2016]
- Nayak, P., Sudheer, K., Rangan, D., Ramasastri, K. (2004) "A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series", *Journal of Hydrology*, 291(1), 52–66.
- Nayebi, M., Khalili, D., Amin, S., Zand-Parsa, S. (2006) "Daily Stream Flow Prediction Capability of Artificial Neural Networks as influenced by Minimum Air Temperature Data", *Biosystems Engineering*, 95(4), 557–567.
- Nicklow, J., Reed, P., Savic, D., Dessalegne, T., Harrell, L., Chan-Hilton, A., Karamouz, M., Minsker, B., Ostfeld, A., Singh, A., Zechman, E., ASCE Task Committee on Evolutionary Computation in Environmental and Water Resources Engineering (2010) "State of the Art for Genetic Algorithms and Beyond in Water Resources Planning and Management", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(4), 412–432.
- Oikonomou, C., Flocas, H. (2008) "Future changes in the occurrence of extreme precipitation events in eastern Mediterranean", *Global NEST J*, 10(2), 255–262.
- Olea, R. A. (1994) "Fundamentals of semivariogram estimation, modeling and usage", In: Yarus, J. M. Chambers, R. L. (Eds.), *Stochastic modeling and geostatistics: Principles, methods and case studies* (pp. 27–35). Tulsa: American Association of Petroleum Geologists.
- Olsson, P., Folke, C., Hahn, T. (2004) "Social-ecological transformation for ecosystem

- management: the development of adaptive co-management of a wetland landscape in southern Sweden", *Ecology and Society*, 9(4), 2.
- OpenStreetMap (2016) [Online] Available from: <https://www.openstreetmap.org> [Accessed 12 July 2016]
- Parasuraman, K., Elshorbagy, A., Carey, S. K. (2007) "Modelling the dynamics of the evapotranspiration process using genetic programming", *Hydrological Sciences Journal*, 52(3), 563–578.
- Partal, T. (2009) "Modelling evapotranspiration using discrete wavelet transform and neural networks", *Hydrological Processes*, 23(25), 3545–3555.
- Partal, T. (2012) "Wavelet analysis and multi-scale characteristics of the runoff and precipitation series of the Aegean region (Turkey)", *International Journal of Climatology*, 32(1), 108–120.
- Pastor, F., Estrela, M. J., Peñarrocha, D., Millán, M. M. (2001) "Torrential Rains on the Spanish Mediterranean Coast: Modeling the Effects of the Sea Surface Temperature", *Journal of Applied Meteorology*, 40(7), 1180–1195.
- Pastor, F., Valiente, J. A., Estrela, M. J. (2015) "Sea surface temperature and torrential rains in the Valencia region: modelling the role of recharge areas", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 15, 1677–1693.
- Patacchini, E., Zenou, Y., Henderson, J. V., Epple, D. (2009) "Urban Sprawl in Europe", *Brookings-Wharton Papers on Urban Affairs*, 125–149.
- Patel, D., Parekh, F. (2014) "Flood Forecasting using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)", *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 12(10).
- Phien, H. N., Kha, N. D. A. (2004) "Flood forecasting for the upper reach of the Red River Basin, North Vietnam", *Water SA*, 29(3), 267–272.
- Philandras, C. M., Nastos, P. T., Kapsomenakis, J., Douvis, K. C., Tselioudis, G., Zerefos, C. S. (2011) "Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11(12), 3235–3250.
- Pramanik, N., Panda, R. K. (2009) "Application of neural network and adaptive neuro-fuzzy inference systems for river flow prediction", *Hydrological Sciences Journal*, 54(2), 247–260.
- Raja, N. B., Aydin, O., Türkoğlu, N., Çiçek, I. (2016) "Space-time kriging of precipitation variability in Turkey for the period 1976–2010", *Theoretical and Applied Climatology*, in press.
- Rajukar, M. P., Kothiyari, U. C., Chaube, U. C. (2002) "Artificial neural networks for daily rainfall—runoff modelling", *Hydrological Sciences Journal*, 47(6), 865–877.
- Rao, Y. R. S., Krishna, B. (2009) "Modelling hydrological time series data using wavelet neural network analysis", In: Yilmaz, K., Yucel, I., Gupta, H. V., Wagener, T., Dawen,

- Y., Savenije, H., Neale, C., Kunstmann, H., Pomeroy, J. (Eds.), *New Approaches to Hydrological Prediction in Data-sparse Regions, Proceedings of symposium HS2 held in Hyderabad, India, 6–12 September 2009*. Hyderabad: International Association of Hydrological Sciences.
- Rezaeianzadeh, M., Tabari, H., Arabi Yazdi, A., Isik, S., Kalin, L. (2014) "Flood flow forecasting using ANN, ANFIS and regression models", *Neural Computing and Applications*, 25(1), 25–37.
- Riad, S., Mania, J., Bouchaou, L., Najjar, Y. (2004) "Rainfall-runoff model using an artificial neural network approach", *Mathematical and Computer Modelling*, 40(7), 839–846.
- Río, S. del, Herrero, L., Fraile, R., Penas, A. (2011) "Spatial distribution of recent rainfall trends in Spain (1961–2006)", *International Journal of Climatology*, 31(5), 656–667.
- Rodríguez-Iturbe, I., Mejía, J. M. (1974) "The design of rainfall networks in time and space", *Water Resources Research*, 10(4), 713–728.
- Rogers, L. L., Dowla, F. U. (1994) "Optimization of groundwater remediation using artificial neural networks with parallel solute transport modeling", *Water Resources Research*, 30(2), 457–481.
- Romero, R., Martin, A., Homar, V., Alonso, S., Ramis, C. (2006) "Predictability of prototype flash flood events in the Western Mediterranean under uncertainties of the precursor upper-level disturbance", *Adv. Geosci.*, 7, 55–63.
- Rouhani, S., Myers, D. E. (1990) "Problems in space-time kriging of geohydrological data. *Mathematical Geology*, 22(5), 611–623.
- Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., Asanuma, C. (1986). *Parallel Distributed Processing: Foundations*. MIT Press.
- Sajikumar, N., Thandaveswara, B. S. (1999) "A non-linear rainfall–runoff model using an artificial neural network", *Journal of Hydrology*, 216, 32–55.
- Scalenghe, R., Marsan, F. A. (2009) "The anthropogenic sealing of soils in urban areas", *Landscape and Urban Planning*, 90(1–2), 1–10.
- Schiemann, R., Erdin, R., Willi, M., Frei, C., Berenguer, M., Sempere-Torres, D. (2011) "Geostatistical radar-raingauge combination with nonparametric correlograms: methodological considerations and application in Switzerland", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15(5), 1515–1536.
- Schuermans, J. M., Bierkens, M. F. P., Pebesma, E. J., Uijlenhoet, R. (2007) "Automatic Prediction of High-Resolution Daily Rainfall Fields for Multiple Extents: The Potential of Operational Radar", *Journal of Hydrometeorology*, 8(6), 1204–1224.
- Seçkin, N., Cobaner, M., Yurtal, R., Haktanir, T. (2013) "Comparison of Artificial Neural Network Methods with L-moments for Estimating Flood Flow at Ungauged Sites: the Case of East Mediterranean River Basin, Turkey", *Water Resources Management*, 27(7), 2103–2124.

- Sedki, A., Ouazar, D., El Mazoudi, E. (2009) "Evolving neural network using real coded genetic algorithm for daily rainfall-runoff forecasting", *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4523–4527.
- See, L., Abrahart, R. J. (2001) "Multi-model data fusion for hydrological forecasting", *Computers Geosciences*, 27(8), 987–994.
- See, L. M., Openshaw, S. (2000) "A hybrid multi-model approach to river level forecasting", *Hydrological Sciences Journal*, 45(4), 523–536.
- See, L., Openshaw, S. (1999) "Applying soft computing approaches to river level forecasting", *Hydrological Sciences Journal*, 44(5), 763–778.
- Sharma, A. (2000) "Seasonal to interannual rainfall probabilistic forecasts for improved water supply management: Part 1 — A strategy for system predictor identification", *Journal of Hydrology*, 239(1), 232–239.
- Sharma, A., Luk, K. ., Cordery, I., Lall, U. (2000) "Seasonal to interannual rainfall probabilistic forecasts for improved water supply management: Part 2 — Predictor identification of quarterly rainfall using ocean-atmosphere information", *Journal of Hydrology*, 239(1), 240–248.
- Singh, P., Deo, M. C. (2007) "Suitability of different neural networks in daily flow forecasting", *Applied Soft Computing*, 7(3), 968–978.
- Singh, R. D. (2007) "Real Time Flood Forecasting - Indian Experiences", *Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas*, 139–156.
- Singh, V. P. (1995) *Computer models of watershed hydrology*. Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications.
- Singh, V. P., Frevert, D. K. (2005) *Watershed Models*. Boca Raton: CRC Press.
- Skøien, J. O., Blöschl, G. (2007) "Spatiotemporal topological kriging of runoff time series: Topological Kriging of Runoff Time Series", *Water Resources Research*, 43(9), W09419.
- Smith, J., Eli, R. (1995) "Neural-Network Models of Rainfall-Runoff Process", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 121(6), 499–508.
- Smith, P. J., Panziera, L., Beven, K. J. (2014) "Forecasting flash floods using data-based mechanistic models and NORA radar rainfall forecasts", *Hydrological Sciences Journal*, 59(7), 1403–1417.
- Snepvangers, J. J. J. C., Heuvelink, G. B. M., Huisman, J. A. (2003) "Soil water content interpolation using spatio-temporal kriging with external drift", *Geoderma*, 112(3–4), 253–271.
- Srinivasulu, S., Jain, A. (2006) "A comparative analysis of training methods for artificial neural network rainfall-runoff models", *Applied Soft Computing*, 6(3), 295–306.
- Srivastav, R. K., Sudheer, K. P., Chaubey, I. (2007) "A simplified approach to quantifying predictive and parametric uncertainty in artificial neural network hydrologic

- models", *Water Resources Research*, 43(10), W10407.
- Stephens, E., Cloke, H. (2014) "Improving flood forecasts for better flood preparedness in the UK (and beyond)", *The Geographical Journal*, 180(4), 310–316.
- Sudheer, K. P. (2005) "Knowledge Extraction from Trained Neural Network River Flow Models", *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(4), 264–269.
- Sudheer, K. P., Jain, A. (2004) "Explaining the internal behaviour of artificial neural network river flow models", *Hydrological Processes*, 18(4), 833–844.
- Sun, D., Zhang, D., Cheng, X. (2012) "Framework of National Non-Structural Measures for Flash Flood Disaster Prevention in China", *Water*, 4(4), 272–282.
- Tabios III, G. Q., Salas, J. D. (1985) "A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation", *Journal of the American Water Resources Association*, 21(3), 365–380.
- Taormina, R., Chau, K., Sethi, R. (2012) "Artificial neural network simulation of hourly groundwater levels in a coastal aquifer system of the Venice lagoon", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(8), 1670–1676.
- Tarolli, P., Borga, M., Morin, E., Delrieu, G. (2012) "Analysis of flash flood regimes in the North-Western and South-Eastern Mediterranean regions", *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(5), 1255–1265.
- Tayfur, G., Moramarco, T., Singh, V. P. (2007) "Predicting and forecasting flow discharge at sites receiving significant lateral inflow", *Hydrological Processes*, 21(14), 1848–1859.
- Thirumalaiah, K., Deo, M. C. (1998) "Real-Time Flood Forecasting Using Neural Networks", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 13(2), 101–111.
- Thompson, D. (2004) *The Rational Method*. Texas: Texas Technical University.
- Trigo, I. F., Bigg, G. R., Davies, T. D. (2002) "Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean", *Monthly Weather Review*, 130(3), 549–569.
- Trigo, I. F., Davies, T. D., Bigg, G. R. (2000) "Decline in Mediterranean rainfall caused by weakening of Mediterranean cyclones", *Geophysical Research Letters*, 27(18), 2913–2916.
- Türker, A., Özeltin Türker, G., Çelik, A. (2015) "Dış Mekân Turizm Ve Rekreasyon Faaliyetleri Açısından Muğla İli İklim Konforu Analizi (Muğla Province Climatic Comfort Analysis for Outdoor Tourism and Recreation Activities)", *Dokuz Eylül University Journal of Graduate School of Social Sciences*, 17(4), 555–577.
- Türkeş, M., Koç, T., Sarış, F. (2009) "Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey", *International Journal of Climatology*, 29(8), 1056–1074.
- Usul, N., Turan, B. (2006) "Flood forecasting and analysis within the Ulus Basin, Turkey, using geographic information systems", *Natural Hazards*, 39(2), 213–229.

- Valipour, M., Banihabib, M. E., Behbahani, S. M. R. (2013) "Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir", *Journal of Hydrology*, 476, 433–441.
- Velasco-Forero, C. A., Sempere-Torres, D., Cassiraga, E. F., Jaime Gómez-Hernández, J. (2009) "A non-parametric automatic blending methodology to estimate rainfall fields from rain gauge and radar data", *Advances in Water Resources*, 32(7), 986–1002.
- Verworn, A., Haberlandt, U. (2011) "Spatial interpolation of hourly rainfall – effect of additional information, variogram inference and storm properties", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15(2), 569–584.
- Volkman, T. H. M., Lyon, S. W., Gupta, H. V., Troch, P. A. (2010) "Multicriteria design of rain gauge networks for flash flood prediction in semiarid catchments with complex terrain", *Water Resources Research*, 46(11), W11554.
- Wagner, P. D., Fiener, P., Wilken, F., Kumar, S., Schneider, K. (2012) "Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions", *Journal of Hydrology*, 464–465, 388–400.
- Wang, W., Gelder, P. H. A. J. M. Van, Vrijling, J. K., Ma, J. (2006) "Forecasting daily streamflow using hybrid ANN models", *Journal of Hydrology*, 324(1), 383–399.
- Wei, S., Yang, H., Song, J., Abbaspour, K., Xu, Z. (2013) "A wavelet-neural network hybrid modelling approach for estimating and predicting river monthly flows", *Hydrological Sciences Journal*, 58(2), 374–389.
- Wheater, H. S. (2002) "Progress in and Prospects for Fluvial Flood Modelling", *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360(1796), 1409–1431.
- Wheater, H. S., Jakeman, A. J., Beven, K. J. (1993) "Progress and directions in rainfall-runoff modelling", In: Jakeman, A. J., Beck, M. B. McAleer, M. J. (Eds.), *Modelling Change in Environmental Systems* (pp. 101–132). Chichester: Wiley.
- Wilby, R. L. (Ed.). (1997). *Contemporary hydrology: towards holistic environmental science*. New York: Wiley.
- Woods, R., Sivapalan, M. (1999) "A synthesis of space-time variability in storm response: Rainfall, runoff generation, and routing", *Water Resources Research*, 35(8), 2469–2485.
- Wu, C. L., Chau, K. W. (2011) "Rainfall-runoff modeling using artificial neural network coupled with singular spectrum analysis", *Journal of Hydrology*, 399(3), 394–409.
- Wu, C. L., Chau, K. W., Fan, C. (2010) "Prediction of rainfall time series using modular artificial neural networks coupled with data-preprocessing techniques", *Journal of Hydrology*, 389(1), 146–167.
- Wu, C. L., Chau, K. W., Li, Y. S. (2009) "Methods to improve neural network performance in daily flows prediction", *Journal of Hydrology*, 372(1), 80–93.

- Wu, X., Yu, D., Chen, Z., Wilby, R. L. (2012) "An evaluation of the impacts of land surface modification, storm sewer development, and rainfall variation on waterlogging risk in Shanghai", *Natural Hazards*, 63(2), 305–323.
- Xu, A., Hu, L., Shu, H. (2011) "Extension and implementation from spatial-only to spatiotemporal Kriging interpolation", *Journal of Computer Applications*, 31(1), 273–276.
- Yang, M. (2015). *Benchmarking rainfall interpolation over the netherlands* (Master's Thesis). University of Twente, Enschede.
- Yang, T.-H., Yang, S.-C., Ho, J.-Y., Lin, G.-F., Hwang, G.-D., Lee, C.-S. (2015) "Flash flood warnings using the ensemble precipitation forecasting technique: A case study on forecasting floods in Taiwan caused by typhoons", *Journal of Hydrology*, 520, 367–378.
- Yazdani, M. R., Saghafian, B., Mahdian, M. H., Soltani, S. (2009) "Monthly Runoff Estimation Using Artificial Neural Networks", *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11(0), 335–362.
- Young, P. C. (1999) "Data-based mechanistic modelling, generalised sensitivity and dominant mode analysis", *Computer Physics Communications*, 117(1–2), 113–129.
- Young, P. C. (2006) "Rainfall-Runoff Modeling: Transfer Function Models", In: Anderson, M.G. (ed) *Encyclopedia of Hydrological Sciences, Vol 3, Part 11* (pp. 1985–2000). New York: Wiley.
- Young, P. C., Romanowicz, R. J., Beven, K. (2014) "A Data-Based Mechanistic Modelling Approach to Real-Time Flood Forecasting", In: *Applied Uncertainty Analysis for Flood Risk Management* (pp. 407–461). London: Imperial College Press.
- Younis, J., Anquetin, S., Thielen, J. (2008) "The benefit of high-resolution operational weather forecasts for flash flood warning", *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 5(1), 345–377.
- Zealand, C. M., Burn, D. H., Simonovic, S. P. (1999) "Short term streamflow forecasting using artificial neural networks", *Journal of Hydrology*, 214(1–4), 32–48.
- Zeng, Z., Lei, L., Guo, L., Zhang, L., Zhang, B. (2013) "Incorporating temporal variability to improve geostatistical analysis of satellite-observed CO₂ in China", *Chinese Science Bulletin*, 58(16), 1948–1954.
- Zhang, G., Hu, Y. M., Eddy Patuwo, B., C. Indro, D. (1999) "Artificial neural networks in bankruptcy prediction: General framework and cross-validation analysis", *European Journal of Operational Research*, 116(1), 16–32.
- Zhang, X., Srinivasa, R. (2009) "GIS-Based Spatial Precipitation Estimation: A Comparison of Geostatistical Approaches", *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.

- Zhou, H., Peng, Y., Liang, G. (2008) "The Research of Monthly Discharge Predictor-corrector Model Based on Wavelet Decomposition", *Water Resources Management*, 22(2), 217–227.
- Zounemat-Kermani, M., Teshnehlab, M. (2008) "Using adaptive neuro-fuzzy inference system for hydrological time series prediction", *Applied Soft Computing*, 8(2), 928–936.



ÖZET

Türkiye; topografik yapısının yüksek ve engebeli oluşu, jeolojik yapı ve toprakların erozyona karşı hassasiyeti, yarı kurak iklim şartlarının karakteristik özelliklerine sahip olması, şiddetli sağanak yağışlar sebebiyle, erozyon ve sel felaketine oldukça hassas bir yapıda bulunmaktadır. Bu gibi sebeplerden dolayı, Türkiye'deki coğrafi bölgelerimizde değişik zamanlarda pek çok kişinin çeşitli şekillerde zarar gördüğü birçok sel ve taşkın olaylarına rastlanmıştır. Ayrıca, tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi, Türkiye'de iklim değişikliğinden payına düşeni almış, pek çok şehir iklim değişikliğine bağlı kısa süreli ve ani yağışlar sebebi ile sular altında kalmıştır.

Bu durum özellikle yoğun nüfuslu yerlerde, insanları olumsuz olarak etkilemekte, can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Seller sonucu meydana gelen maddi ve manevi kayıplar, uzun süreli ekonomik, sosyal, kültürel ve çevresel hasarları da beraberinde getirmektedir. Bu sebeple, sellerin zamanında ve doğru olarak tahmin edilmesi, bu gibi olumsuz sonuçların önlenmesinde ve daha etkili stratejilerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Akdeniz Havzası selleri, kısa sürede çok miktarda yağış oluşturan şiddetli sonbahar fırtınaları ile karakterize edilir. Akdeniz siklonlarının ana merkezi olan Ege Denizi'nin de içinde yer aldığı Doğu Akdeniz Havzası'nda, küresel ısınma etkisiyle gerçekleşen aşırı yağışlar, sel sıklığının giderek artmasına neden olmuştur. Bu sebeple, Ege ve Akdeniz sahillerinde sonbahar ve kış dönemlerinde meydana gelen yağış, bu Akdeniz siklonlarından etkilenerek oluşmakta ve şehirler bu dönemlerde yoğun yağış almaktadır.

Muğla ilinin, Bodrum ilçesi, 23 Eylül 2015 ve 22-23 Ekim 2015 tarihlerinde aşırı yağışların olduğu bir dönem yaşamıştır. 23 Eylül 2015'de, 12 saat içerisinde 176 mm'lik yağış miktarı kaydedilmiştir. Bu, ilçede ani sel olayının meydana gelmesine neden

olmuştur. Bu dönemde aşırı yağışlardan kaynaklı meydana gelen şehir selinin büyüklüğü, öncesinde iyi tahmin yapılamadığından ciddi hasarlar bırakmıştır. Sel tahmininde kullanılan geleneksel yöntemler fiziksel, istatistiksel yağış-yüzey akışı modelleridir. Bu hesaplama yöntemlerini kullanarak gerekli çalışmalar yapmak genellikle saatler ve günler gerektirebilir. Bu gibi yöntemler mekânda birkaç saat içinde meydana gelebilecek su baskını gibi hızlı değişen durumları takip edemeyebilir. İzleme, haberleşme, erken tahmin sistemi tasarlama gibi yeni girişimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden, tahliye tedbirlerinin uygulanması, insan hayatını tehlikeye atabilecek risklerin minimum seviyeye indirilmesi için, yerinde ve kesin sel uyarılarına sahip olmak gerekir. Ancak, ani selin izlenmesi ve tahmini, mekânsal ve zamansal boyutları dikkate alındığında zordur. Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network, YSA) ve diğer yapay zekâ tabanlı hesaplama yöntemleri ani sel tahminlerinin yapılması ve seller sonucu oluşan zararların azaltılmasında önemli yeni girişimlerden bazılarıdır. Sel olayında YSA yöntemi, gerekli önlemlerin alınabilmesi için makul bir zaman içinde tahmin, erken uyarı ve izleme sistemi sağlama potansiyeline sahiptir. Bundan dolayı, bu gibi sistemlerin operasyonel yararlılığını belirlemek önemli bir gerekliliktir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin Ege Bölgesi'nde yer alan turizm için cazibe merkezlerden biri olan Bodrum ilçesi için, ani sele yol açan şiddetli yağış olaylarının mekânsal-zamansal Kriging yöntemiyle analiz etmek, gerekli tedbirlerin alınabilmesinde doğru ve zamanında uyarılar verebilen ani sel tahmin modeli tasarlamak ve Bodrum ilçesi için yapılan bu çalışmanın Türkiye'nin ani sel riski taşıyan diğer şehirler için de uygulanabilirliğini gösteren bir tahmin modeli oluşturmaktır. Bu çalışmada model, akış değerleri için yüksek tahmin yapmıştır ve gereken sürenin artmasıyla performansta bir düşüş olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, şehirde yaşayan

insanları uyarmak için yeterli bir süre olarak düşünölen 2 saat, gereken süre için doğru sonuç vermiştir.

Yapılan sel tahminleriyle, sel sonucunda meydana gelebilecek hasarların önlenmesi veya en aza indirgenmesi mümkün olmaktadır. YSA yöntemi, yağışın gerçek zamanlı değışikliklerine tepki verebildiğinden şehir alanlarında meydana gelebilecek selleri tahmin etmede kullanılabilecek uygun bir tahmin ve izleme sistemidir. Olası bir sel felaketinde uyarıyı yeterli bir zaman diliminde yapabilmek mümkün olmaktadır. Böylece, sel riskinin olduğı alanların tahliyesinde gerekli zaman dilimi oluşturulabilmektedir.

ABSTRACT

Turkey possesses an elevated and uneven topography, with geological structures relatively sensitive to erosion, and a semi-arid climate. Many parts of the country are therefore highly vulnerable to erosion and floods resulting from heavy precipitation. As such, the damage associated with floods is extensive in several regions of Turkey. Along with the whole world, Turkey has also been affected by climate change with many cities experiencing floods as a result of sudden and short-lived rainfall. Combined with the urbanisation process, especially in the densely population cities, floods of unpredictable magnitudes have been observed.

Urban floods are the reason for several material as well as non-pecuniary losses such as long-term economic, social, cultural and environmental damages. Therefore the forecasting of such destructive events for the purpose of disaster preparedness and mitigation is of utmost importance. Mediterranean floods are usually characterised by intense autumn storm events generating high amounts of precipitation within a short period of time. As a result of global warming, extreme precipitation events, and thus floods, are becoming increasingly frequent in the Eastern Mediterranean region, where the Aegean Sea represents a major centre for explosive cyclogenesis. Precipitation occurring in the Mediterranean region, especially in the Aegean region, during the autumn and winter periods is influenced by such cyclones, and coastal cities are thus experiencing an increase in heavy and extreme precipitation events.

Located in the Muğla province, the region of Bodrum suffered from extreme precipitation events on 22-23 September and 22-23 October 2015. The most recent flood to have occurred in the Bodrum region was on September 23, 2015, where 176 mm of rain was recorded in the space of 12 hours. The main cause of the flooding was

the high rainfall intensity observed. Serious damage was caused due to the inability to forecast the magnitude of the flood in advance. Physical, conceptual and/or statistical rainfall-runoff models represent traditional methods used for flood forecasting. These traditional computational methods usually require hours or days to run and therefore are not able to keep up with fast-changing situations such as urban flooding which occur in the space of a couple of hours. Therefore there is a need for new initiatives such as forecasting, early warning and monitoring systems. Artificial Neural Networks (ANNs) and other computational methods derived from artificial intelligence represent another new initiative for flood forecasting as an attempt to reduce the damages caused by flash floods.

The aim of this research is to analyse the extreme precipitation events building up to flash floods in the Aegean Region of Turkey using spatiotemporal kriging; to design a flash flood forecasting system issuing timely and accurate flood warnings in order for operational measures to be put in action; and to provide some insight gained with this analysis for better flood management other regions of Turkey. In this study, it was observed that the model overestimated the runoff and that the model performance decreased with increasing lead times. However, the model could provide accurate results within lead times of 2 hours, which is considered sufficient time for local authorities to take emergency precautions and to warn the population.

The damage caused by flood events can be prevented or at least minimised through the use of a flood forecasting system. ANNs are able to react to real time changes in precipitation and therefore their sensitivity is suitable to set up a predictive system for urban floods. In addition, ANNs offer a means of reducing the analytical costs of topographical and hydrological information by reducing the amount of time analysing

the data and also reducing the amount of data required. This would allow enough time to issue warnings and when necessary to act promptly to evacuate the areas at risk from floods.

