

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KURAKLIĞIN GAZZE KIYI AKİFERİNE ETKİSİ VE
GELENEKSEL OLMAYAN SU KAYNAKLARI
KULLANILARAK MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Hassan S.H. AL-NAJJAR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gökmen ÇERİBAŞI

Aralık 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURAKLIĞIN GAZZE KIYI AKİFERİNE ETKİSİ VE
GELENEKSEL OLMAYAN SU KAYNAKLARI
KULLANILARAK MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Hassan S.H. AL-NAJJAR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 09/12/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

HASSAN S. H. AL-NAJJAR

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu araştırmayı gerçekleştirmem için bana sabır ve güç verdiği için Rahman ve Rahim olan Allah'a hamdolsun. Manevi ve fiziksel olarak sonsuz destekleri, teşvikleri ve anlayışları için aileme teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmanın tamamlanmasındaki danışmanlığından dolayı Doç. Dr. Gökmen ÇERİBAŞI'na teşekkür ederim. Ayrıca tez sürecimde desteklerinin esirgemeyen Prof. Dr. Emrah DOĞAN ve Prof. Dr. Metin İPEK'e teşekkür ederim.

Hayatımın bu eşsiz aşamasını tamamlamak için verdiği büyük destek için Türkiye Devlet Bursu'na (YTP) çok teşekkür ederim. Ayrıca, Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ve Fen Bilimleri Enstitüsü'ne de özel teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GENEL GİRİŞ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Sorun Bildirimi	2
1.3. Çalışmanın Amacı	2
1.4. Araştırma Önemi	2
1.5. Araştırma Metodolojisi	3
1.6. Tez Yapısı	3
BÖLÜM 2.	
KURULIK MODELLEME VE DEĞERLENDİRME	5
2.1. Giriş	5
2.2. Veri Üretimi ve Zaman Serisi Analizi	9
2.3. Otokorelasyon Fonksiyonları	10
2.4. Frekans Alanı Analizi	11
2.5. Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) Modelleri	14

2.6. Standardize Yağış İndeksi (SPI) ve Standardize Yağış Evapotranspirasyonu (SPEI) indeksleri	15
2.7. Ortadoğu ve Kuzey Afrika'nın (MENA) Doğu Akdeniz Bölgesi'nde	17
2.8. Gazze Şeridi'ne Genel Bakış (Filistin)	22
2.9. Araç ve yöntemler	24
2.10. Verilerin toplanması ve analizi	25
2.11. Zaman Serilerinin Analizi ve Manipülasyonu ve Model Yapılanması	26
2.12. Model Parametreleri Tahmini ve Doğrulaması	28
2.13. Kuraklık Analizi ve Sınıflandırması	33
2.14. Sonuç Tartışması	35
 BÖLÜM 3.	
YERALTI SUYU MODELLEME	42
3.1. Giriş	42
3.2. Stokastik Zaman Serisi Modelleri	44
3.3. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modelleri	44
3.4. Gazze Şeridinde Su Kaynağı ve Kuraklık Dayanımı	46
3.5. Gazze Kıyı Akiferinin Hidrojeolojisi	48
3.6. Malzemeler ve Yöntemler	50
3.7. Verilerin Toplanması ve Analizi	50
3.8. Stokastik Zaman Serisi Modelleri	51
3.9. Gazze Kıyı Akiferinden Yeraltı Suyu Çekimi	63
3.10. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modelleri	64
3.11. Sonuçlar ve Tartışma	67
 BÖLÜM 4.	
SU KAYNAKLARI MÜDAHALELERİ	70
4.1. Giriş	70
4.2. Deniz Suyunun Tuzdan Arındırılması ve Atık Su Geri Dönüşümünün Ekonomisi	72

4.3. Gazze Şeridi, Filistin'de İklim ve Su Durumu	73
4.4. Araç ve yöntemler	76
4.5. Sonuç Tartışması	82
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE TAVSİYELER	84
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	105



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACF	: Otokorelasyon Fonksiyonu
ADF	: Artırılmış Dickey-Fuller Testi
AR	: Mevsimsel Olmayan Otoregresif Parametri
ARIMA	: Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
CAMP	: Kıyı Akifer Yönetim Programı
CDF	: Kümülatif Dağılım Fonksiyonunun
CSO-G	:Gazze Şeridi İçin Su Temini Seçeneklerinin Karşılaştırmalı Çalışması
EC	: Elektriksel İletkenlik
GCA	: Gazze Kıyı Akiferi
GCM	: İklimin Genel Sirkülasyon Modelleri
GETAP	: Yağmur Suyu Sızma Planı, Gazze Şeridi'ne Su Temini ile ilgili Gazze Acil Teknik Yardım Programı
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
MA	: Hareketli Ortalama Parametri
MENA	: Orta Doğu ve Kuzey Afrika
MoA	: Tarım Bakanlığı
MSI	: Ortalama Deniz Seviyesi
NGEST	: Kuzey Gazze Acil Kanalizasyon Arıtma
NWP	: Ulusal Su Planı
PACF	: Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu
PCBS	: Filistin Merkez İstatistik Bürosu
PEL	: Filistin Çevre Kanunu
PS	: Filistin Standardı

PWA	: Filistin Su Otoritesi
R	: Korelasyon Katsayısı
RMSE	: Kök Ortalama Kare Hata
RO	: Ters Osmoz
SPEI	: Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
SPI	: Standardize Yağış İndeksi
STLV	: Bölgesel Kısa Vadeli Düşük Hacimli
TDS	: Toplam Çözünmüş Katılar
USD	: Amerikan Doları
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
WSTF	: Su Kıtlığı Görev Gücü
WSPS	: Su Sektörü Strateji Planlama Çalışması
YSA	: Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Araştırma yaklaşımı	3
Şekil 2.1. MENA'nın Doğu Akdeniz ülkelerinin coğrafi konumu ve Gazze Şeridi'nin konumu	19
Şekil 2.2..1970 ve 2019 arasındaki dönem için MEAN Doğu Akdeniz için SPEI kuraklık endeksi	20
Şekil 2.3. MENA Doğu Akdeniz'de kuraklık oluşumu	21
Şekil 2.4. Gazze Şeridi haritası: (a) meteoroloji istasyonları; (b) yağış dağılımı .	23
Şekil 2.5. Çalışmanın metodolojisinin akış şeması	25
Şekil 2.6. (AA') Korelogram aracılığıyla orijinal ve değiştirilmiş zaman serisi analizi; (BB') kısmi otokorelasyon; ve (CC') güç spektrumu	27
Şekil 2.7. (A) Beit Hanon'daki modeller; (B) Beyt Lahya; (C) Şati; (D) Remal; (E) Muğraka; (F) Nussirat; (G) Deir Al-Balah; (H) Hanyuniler; ve (I) Refah	29
Şekil 2.8. Modellerin performansı (A) Beit Hanon'da; (B) Beyt Lahis; (C) Şati; (D) Remal; (E) Muğraka; (F) Nussirat; (G) Deir Al-Balah; (H) Hanyuniler; ve (I) Refah	31
Şekil 2.9. (A) Beit Hanon meteoroloji istasyonları için normal dağılım, kümülatif normal dağılım fonksiyonları (CND) ve yağış eşik seviyelerinin grafiklerinin eşleştirilmesi; (B) Beyt Lahya; (C) Şati; (D) Remal; (E) Muğraka; (F) Nussirat; (G) Deir Al-Balah; (H) Hanyuniler; ve (I) Refah	34
Şekil 2.10. (A) Beit Hanon meteoroloji istasyonları için 12 aylık ölçek; (B) Beyt Lahya; (C) Şati; (D) Remal; (E) Muğraka; (F) Nussirat; (G) Deir Al-Balah; (H) Hanyuniler; ve (I) Refah	35
Şekil 2.11. 1974-2040 yılları arasında kuraklık yayılımı	39

Şekil 2.12. (a) Aşırı, (b) Şiddetli, (c) Orta ve (d) Normal kuraklıklar için kuraklık oluşma olasılığı	40
Şekil 2.13. Kuraklık dönüş süreleri	41
Şekil 3.1. Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Yapısı	45
Şekil 3.2. Gazze Şeridi'nin Coğrafi Konumu	47
Şekil 3.3. Gazze Kıyı Akiferinin Hidrojeolojik Özellikleri	49
Şekil 3.4. (A1, A2) Korelogram; (B1, B2) Kısmi Otokorelasyon; ve (C1, C2) Güç Spektrumu	52
Şekil 3.5. Zaman Serisi Modellemesi: A. Minimum Sıcaklık, B. Ortalama Sıcaklık, C. Maksimum Sıcaklık, D. Güneş Işığı, E. Buharlaşma, F. Nem	54
Şekil 3.6. (A) Minimum Sıcaklık, (B) Ortalama Sıcaklık, (C) Maksimum Sıcaklık, (D) Güneş Işığı, (E) Buharlaşma ve (F) Nem için Kalibrasyon ve Doğrulama Performansı	56
Şekil 3.7. (A1, A2) Korelogram Yoluyla Zaman Serisi Analizi; (B1, B2) Kısmi Otokorelasyon; ve (C1, C2) Güç Spektrumu	57
Şekil 3.8. Yeraltı Suyu Simülasyonu: (A) C/48, (B) E/45, (C) G/24B, (D) F/68B, (E) S/15, (F) L/86, (G) L/66, (H) N/12, (I) N/16, (J) P/48H	59
Şekil 3.9. (A) C/48, (B) E/45, (C) G/24B, (D) F/68B, (E) S/15, (F) L/86, (G) için Yeraltı Suyu Kalibrasyonu ve Validasyonu) L/66, (H) N/12, (I) N/16, (J) P/48H	61
Şekil 3.10. (A) Beit Hanon, (B) Beit Lahia, (C) Gazze, (D) Orta Gazze, (E) Khanyounis, (F) Refah için Yeraltı Suyu Çıkarma	63
Şekil 3.11. YSA'nın Performans Testi	65
Şekil 3.12. YSA Yapılandırması	66
Şekil 3.13..Stokastik-ANN Modeli için Yeraltı Suyu Seviyesinin Performansı: (A) C/48, (B) E/45, (C) G/24B, (D) F/68B, (E) S/15, (F) L/86, (G) L/66, (H) N/12, (I) N/16, (J) P/48H	66
Şekil 3.14. Gazze Kıyı Akiferinin Yeraltı Suyu Seviyesi	69
Şekil 4.1. Gazze Şeridi'nde Deniz Suyunun Tuzdan Arındırılması ve Atık Suyun Yeniden Kullanımının Ekonomisi	72
Şekil 4.2. Gazze Şeridi'nin Coğrafi Konumu	73

Şekil 4.3. Filistin'de Kurumsal Yeraltı Suyu Yönetimi Çerçevesi	74
Şekil 4.4. Gazze Şeridi'ndeki geleneksel olmayan su kaynakları müdahalelerine genel bakış	77
Şekil 4.5. (a) 2020-2030, (b) 2031-2040 için Etkili Yağış Tahmini (Al-Najjar ve ark. 2020'ye göre)	78
Şekil 4.6. Senaryonun İlerlemesi (II)	79
Şekil 4.7. Senaryonun İlerlemesi (III)	79
Şekil 4.8. (a) farksızlık, (b) birinci dereceden fark için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon analizi	80
Şekil 4.9. Üç Farklı Senaryoda GCA'nın Yeraltı Suyu Seviyesi	82



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kuraklık kategorileri (McKee ve ark. 1993)	17
Tablo 2.2. Gazze Şeridi'nin meteoroloji istasyonları için coğrafi konum ve istatistiksel analiz	26
Tablo 2.3. Gazze Şeridi'nin meteoroloji istasyonlarındaki model AR ve MA parametreleri	28
Tablo 3.1. İklim parametreleri için model mevsimsel olmayan otoregresif (AR) ve hareketli ortalama (MA) parametreleri	53
Tablo 3.2. İklim parametreleri için model mevsimsel otoregresif (AR) ve hareketli ortalama (MA) parametreleri	53
Tablo 3.3. Yeraltı Suyu Parametreleri için Model Otoregresif (AR) ve Hareketli Ortalama (MA) Parametreleri	58
Tablo 4.1. Atıksu Kalite Sınıflandırmaları	75
Tablo 4.2. Modeller Otoregresif ve Hareketli Ortalama Parametreleri	81

ÖZET

Anahtar kelimeler: Stokastik modelleme, Yapay sinir ağları, kuraklık, yeraltı suyu, Gazze şeridi, Filistin.

Orta Doğu ve Kuzey Afrika'nın Doğu Akdeniz bölgesi, artan sıcaklıkların ve azalan yağış seviyelerinin etkileri nedeniyle kuraklık riski taşımaktadır. Bu çalışmada, kuraklığının sınırlı su kaynakları üzerindeki etkileri ve geleneksel olmayan su kaynakları kullanılarak su kıtlığının giderilmesi için modeller hazırlanmış ve değerlendirilmiştir. Çalışma alanı seçilen Gazze Şeridi, iklim parametrelerinin (4,0,1) (5,1,1)₁₂'lik stokastik zaman serisi ve Kuraklık İndeksleri (SPI-SPEI) ile analiz edildiğinde, bölgenin Kuzeyde %8 ve Güneyde ise %100'lük bir kuraklık ihtimali olduğu sonucuna varılmıştır. Bu kuraklığın sonucunda 2020 - 2040 yılları arasında yağışta -%5,2 oranında bir azalış ve sıcaklıkta +1°C oranında bir artış meydana geleceği hesaplanmıştır. Ayrıca 2020 yılında yeraltı suyundan çekilen 124 milyon m³ göz önünde bulundurulduğunda, 2040 yılında yeraltı suyundan çekilen suyun miktarı yaklaşık %55 oranında artacağı görülmüştür. İklim değişimi ve yeraltı suyu çekiminde meydana gelen bu değişimler sonucunda Gazze şeridinde yaşayan 2 milyon insanın kullandığı tek su kaynağı olan Gazze Kıyı Akiferi tükenme tehdidi altında kalmaktadır. Gazze Kıyı Akiferi için hazırlanan Stokastik (2,1,5) (4,1,2)₁₂ ve 20 nöronlu YSA modelleri sonucunda yeraltı su seviyesinin, 2020 yılında Gazze Şeridi'nin kuzey kesimlerinde -0,38 m ve güney kesimlerinde yaklaşık -18,49 m azaldığı hesaplanmıştır. Bununla birlikte, yeraltı suyu seviyesindeki düşüşün 2040 yılına kadar devam edeceği kuzey ve güney kesimlerinde sırasıyla -1,13 m ve -27,77 m'ye kadar azalış göstereceği hesaplanmıştır. Gazze Kıyı Akiferindeki bu azalışı önlemek amaçlı, geleneksel olmayan su kaynaklarının kullanılması modellenmiştir. Bu modelde, deniz suyu arıtma tesislerinin kısa vadeli düşük hacimli planda günlük 36.000 m³ arıtması, orta vade de 2025 yılına kadar 150.000 m³ arıtması, uzun vadede ise 2035 yılına kadar günlük 300.000 m³ arıtması planlanmaktadır. Ayrıca günlük 130.000 m³ kapasiteli üç atıksu arıtma tesisi, 2025 yılı itibarıyla 235.000 m³ kapasiteye çıkarılması planlanmaktadır. Modelin uygulanması sonucunda Gazze Kıyı Akiferi su seviyesi 2040 yılı sonuna kadar +10 m yükseleceği sonucuna varılmıştır.

MODELING THE IMPACT OF DROUGHT ON THE GAZA COASTAL AQUIFER AND THE POTENTIAL USE OF THE UNCONVENTIONAL WATER RESOURCES

SUMMARY

Keywords: Stochastic modeling, Artificial neural networks, Groundwater, Unconventional water resources, Gaza Strip, Palestine

In the region of Eastern Mediterranean, the area of the Gaza Strip is a vulnerable area to the consequences of climate changes where the stochastic model of $(4,0,1)$ $(5,1,1)_{12}$ might signify that the region of the Gaza Strip risks drought status with an incidence likelihood varying from 8% in the north to 100% in the south. The climate stochastic models reveal that the Gaza Strip region will face a decline in the precipitation by -5.2% and an increase in the temperature by $+1^{\circ}\text{C}$ in the timeframe of 2020-2040. The potential evaporation and the sunshine period will increase by about 111 mm and 5 hours, respectively during the next 20 years. However, the atmosphere is predicted to be drier where the relative humidity will fall by a trend of -8% in 20 years. The Gaza Coastal Aquifer is the only water resource that is under stress due to climate change and anthropogenic activities. Hence, the modeling of groundwater table level using the ANN model of 20 neurons indicates that the water table shows a substantial drop below the mean sea level (MSL) by a range between -0.38 m in the northern parts and about -18.5 m in the southern parts of the Gaza Strip. However, the simulation projections reveal that the decline in the groundwater level would decrease sharply by the year 2040 to -1.13 m and -27.77 m below MSL at the northern and southern governorates of the Gaza Strip, respectively. The non-conventional water resources of seawater desalination, wastewater treatment, and stormwater harvesting are promising water resources to enhance the water supply and to cope with groundwater depletion. In total, the current daily operation of the short-term low-volume (STLV) seawater desalination plants produces $36,000\text{ m}^3$ and on the large-scale perspective, the seawater desalination capacity is planned to lift from $150,000\text{ m}^3$ to $300,000\text{ m}^3$ per day by the years 2025 and 2035, respectively. The wastewater treatment and reuse activities are processed through three wastewater treatment plants with a total daily capacity of $130,000\text{ m}^3$ which is proposed to be lifted to a capacity of $235,000\text{ m}^3$ by the beginning of 2025. The simulation outputs of using unconventional water resources to maintain the groundwater integrity indicate that the restoration of the groundwater balance is assigned to +10 m by the end of 2040.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Giriş

Su, bu gezegendeki insan varlığını besleyen en önemli kaynaklardan biridir. Suyun bulunabilirliği bir topluluğun yaşam kalitesini ve ekonomisini iyileştirir. Su, dünya yüzeyinin dörtte üçünü kaplamasına rağmen, tüm su kaynaklarının sadece yaklaşık %3'ü içilebilir niteliktedir. Su kıtlığı, aşırı kullanım, su kaynaklarının kirlenmesi, yetersiz su yönetimi, iklim değişikliği ve nüfus artışı nedeniyle 21. yüzyılın en acil sorunlarından biri haline gelmiştir. Su kıtlığı, insan faaliyetleri ve kuraklık etkilerinin bir sonucu olarak önümüzdeki on yıllarda tarımsal üretimi, ekosistem işlevini ve kentsel kaynakları sınırlayabilir. İnsan nüfusunun yaklaşık %80'i bir tür su stresi ve kuraklık tehdidi altındayken, kıta çıkışlı besleme alanlarının yaklaşık %65'i orta ile yüksek biyolojik çeşitlilik riskleriyle karşı karşıyadır. Bu bağlamda, su kaynaklarının bütünlüğü ve su kaynaklarının güvenliği, iklim değişikliğinin sonuçları açısından dünya üzerindeki yaşamın sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Kuraklık fenomeni, yağışların normal miktarın altına düşmesiyle ele alınan kurak ve yarı kurak bölgelerdeki iklim değişikliği etkilerinin baskın kanıtıdır ve buda doğal su kaynaklarının yeniden doldurulmasını olumsuz etkiler. Tuzdan arındırılmış deniz suyu ile arıtılmış atık su ve hasat edilmiş yağmur suyunun geleneksel olmayan su kaynakları, kuraklık tehlikelerinin ve yeraltı suyu kaynaklarının tükenmesinin etkilerini hafifletmek için umut verici kaynaklar olarak kabul edilir. Gazze Şeridi bölgesi, Gazze Kıyı Akiferinin yeraltındaki sınırlı yeraltı suyuyla sınırlı doğal kaynak eksikliği olan yüksek nüfuslu bir alandır. Gazze Şeridi'ndeki kuraklık izleri, Gazze Kıyı Akiferinin sürdürülebilirliğine ve beslenmesine olumsuz etkilemekte ve sonuç olarak bu su kaynağının gelecekteki sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Bu bağlamda, Filistin Su Otoritesi (PWA), su bütçesindeki açığı dengelemek ve Gazze Şeridi'ndeki kuraklık risklerini gidermek için deniz suyunu tuzdan arındırma ve atık su arıtma yoluyla su sağlamaya dayanan bir stratejik yönetim planını kabul etti.

1.2. Sorun Bildirimi

İklim değişikliklerinin doğal su kaynakları üzerindeki etkisi, Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da (MENA) önümüzdeki on yıllarda bu kaynakların sürdürülebilirliğini sürekli olarak tehdit etmektedir. Gazze Şeridi bölgesi, su kaynakları için yeraltı suyuna bağlı olan bir su kıtlığı alanı olarak sınıflandırılmıştır. Gazze Şeridi'ndeki Gazze Kıyı Akiferindeki kuraklığın sonuçlarının araştırılması, karar vericileri Gazze Kıyı Akiferinin faaliyetlerini korumak için etkili hafifletme önlemleri almaya yönlendirmek için hala derinlemesine araştırılması gereken belirsiz bir konudur.

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu araştırma, Gazze Kıyı Akiferinin yeraltı suyu üzerindeki kuraklık etkisinin modellenmesinin yanı sıra geleneksel olmayan su kaynaklarının kullanılmasının Gazze Kıyı Akiferinin geri kazanılması üzerindeki etkisini araştırmayı ve değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

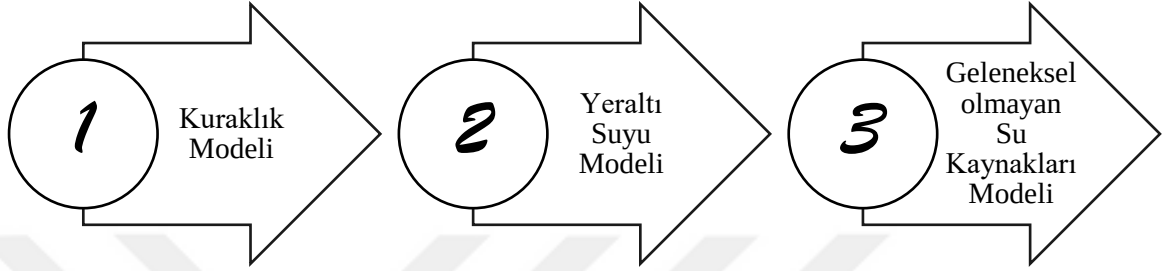
- 2020-2040 yılları arasında Gazze Şeridi'ndeki kuraklık gelişimi için model oluşturmak.
- Kuraklığın Gazze Kıyı Akiferinin yeraltı suyu durumu üzerindeki etkisini araştırılması.
- 2020-2040 döneminde geleneksel olmayan su kaynaklarının mevcudiyeti açısından Gazze Kıyı Akiferinin geri kazanımını modellemek.

1.4. Araştırma Önemi

Araştırma, su kurumlarının çalışma alanındaki su tedarik kaynaklarını etkileyen iklimsel ve antropojenik etkilerle başa çıkmak için önlem ve teknikler önermesini sağlamak için Gazze Şeridi'ndeki suyla ilgili konular hakkında kapsamlı bir çalışma sunuyor.

1.5. Araştırma Metodolojisi

Bu çalışmada izlenen metodoloji Şekil 1.1.'de verilmiştir. Temel olarak Gazze Şeridi'ndeki kuraklık ve su kıtlığına ilişkin modelleme kapsamının yürütülmesine dayanmaktadır.



Şekil 1.1. Araştırma yaklaşımı

Giriş verilerindeki doğal belirsizliği vurgulamak için, giriş parametrelerini değiştirerek yinelemeli simülasyonlar kullanılarak duyarlılık analizi de yapılmıştır. Genel olarak, bu araştırmanın metodolojisi birbirini takip eden üç adımdan oluşmaktadır.

1.6. Tez Yapısı

Tezin temel yapısı aşağıdaki gibi beş bölüm halinde düzenlenmiştir:

- Bölüm 1: Giriş: Gazze Şeridi'ndeki su krizi, kuraklık sonuçları ve etkileri, deniz suyunun tuzdan arındırılması ve olası yeni su kaynakları olarak atık suyun yeniden kullanımı hakkında arka plan, sorun bildirimi, araştırma hedefleri, araştırma metodolojisi ve araştırmanın yapısı hakkında bir özet sunar.
- Bölüm 2: Kuraklık Modeli ve Değerlendirmesi: Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA)'nın Doğu Akdeniz Bölgesi ve Gazze Şeridi'ndeki kuraklık olaylarıyla ilgili simülasyon ve modelleme çalışmasını tanıtır. Bu bölüm aynı zamanda kuraklık ve iklim değişikliği çalışmaları için stokastik model yaklaşımlarına genel bir bakış sunmaktadır.

- Bölüm 3: Yeraltı Suyu Modeli ve Değerlendirmesi: Yeraltı suyunun durumunu ve Gazze Kıyı Akiferinden çekilen suyun oranını açıklar. Ayrıca, yeraltı suyunun dinamik davranışını simüle etmek için bu bölümde stokastik ve yapay zeka tekniklerini birleştiren entegre bir model kurulmuştur.
- Bölüm 4: Gazze Şeridi'ndeki Geleneksel Olmayan Su Kaynakları: Gazze Şeridi'ndeki yeraltı suyunun aşırı kullanımını yönetmede geleneksel olmayan deniz suyunu tuzdan arındırma ve atık su geri dönüşümü gibi su kaynaklarından yararlanmanın verimliliğini gösterir.
- Bölüm 5: Sonuç ve Öneriler: Bu çalışmanın sonucunun yanı sıra Gazze Kıyı Akiferi ve Gazze Şeridi'ndeki su kaynakları yöneticilerine iletilecek önerileri açıklamaktadır.
- Kaynakça: araştırma metninin gövdesinde atıfta bulunulan temel referansları içerir.

BÖLÜM 2. KURALIK MODELİ ve DEĞERLENDİRMESİ

2.1. Giriş

İklimsel kuraklık, su kaynaklarının doğal koşullarını etkileyen iklim değişikliğinin olağanüstü bir kanıtıdır (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2014; Sheffield ve ark. 2014; Sheffield ve Wood 2011; IPCC 2007; Dai ve ark. 2004). Küresel olarak kuraklık, kurak ve yarı kurak bölgelerde meydana gelen ve ciddi ekonomik, sosyal ve çevresel hasara neden olabilen en yaygın doğal tehlike olarak bildirilmektedir (Mondol ve ark. 2017; Nagarajan 2010). Şiddetli kuraklıkların daha sık, daha uzun süreli olması ve daha fazla bozulmaya neden olan küresel ısınma nedeniyle daha geniş bir alanı kapsaması beklenmektedir (Han ve Singh 2020). Tarımsal üretim, bir örneğinin küresel tarımsal üretkenliği %0,8 oranında azaltabileceği kuraklığa karşı en savunmasız sektörler arasındadır ve küresel olarak ekilen alanların yaklaşık dörtte üçü, yılda yaklaşık 6-7 milyar ABD doları olarak tahmin edilen kuraklıktan periyodik kayıplar yaşanmaktadır (Kim ve ark. 2019). Kuraklığın neden olduğu kayıpların, gelecekte kuraklık indislerindeki potansiyel artışlar nedeniyle önemli ölçüde artacağı tahmin edilmektedir. Yaygın olarak bildirilen bir gerçek, sıcaklıktaki 1°C'lik bir artışın, yıllık gelirdeki %1.4'lük bir düşüşle güçlü bir şekilde bağlantılı olduğudur (Dell ve ark. 2012). 1975'te Amerika Birleşik Devletleri'nin Great Plains bölgesindeki kuraklığa bağlı mahsul kayıplarının 700 milyon USD değerinde olduğu tahmin edilmektedir (White ve Haas 1975). Bununla birlikte, Amerika Birleşik Devletleri'nde kuraklıktan kaynaklanan yıllık kayıplar tahmini 6-8 milyar USD'dir (FEMA 1995). Kaliforniya'nın uzun süreli kuraklığı, 2011-2017 yıllarında yaklaşık 5,5 milyar ABD doları değerinde mahsul kaybını tetikledi ve ormanlar 130 milyondan fazla bitki türünü kaybetmiştir (Kam ve ark. 2019). 1997 ve 2009 yılları arasında rapor edilen Milenyum kuraklığı, Güneydoğu Avustralya'da ekosistemi ve ekonomiyi ciddi şekilde etkileyen ortalamanın altındaki yağışların en kötü kuraklıklarından biri olduğu sonucuna varılmıştır (Xie ve ark. 2016;

AghaKouchak ve ark. 2014; CSIRO 2012; Leblanc ve ark. 2012). Kuraklığa yanıt olarak, gelecekteki kuraklık değişkenliklerinin sonuçlarını hafifletmek için su geri dönüşümü ve deniz suyunun tuzdan arındırılması gibi su koruma programlarına paralel olarak entegre ulusal ve devlet kurumsal çerçeveleri benimsenmiştir (Low ve ark. 2015). Banerjee ve ark. (2013) Milenyum kuraklığı sırasında Güney Avustralya'daki hidrolojik çevredeki bozulmayı ele almanın ekonomik maliyetlerinin yaklaşık 810 milyon USD olduğunu tahmin etmişlerdir. Yerel ekonominin projeksiyonları, kuraklığın sonuçlarının Avustralya'nın ulusal gayri safi yurtiçi hasılasında (GSYİH) yılda %1-2 civarında bir düşüşe yol açtığını ortaya koymaktadır (Haque ve ark. 2017). Afrika Sahel bölgesi, yağış düzenlerindeki keskin düşüş nedeniyle 1960'lardan bu yana meydana gelen çok yıllık iklim değişkenliğinin uç bir örneğini göstermektedir. 1950'lerden günümüze kadar Sahel bölgesinde sıcaklığın 3.5°C'ye yükselmesi, topraktan ve su yüzeylerinden buharlaşma sürecini arttırmakta ve bu bölgede yaklaşık 100 kişi için su güvenliğini ve gıda üretimini olumsuz etkilemektedir (Van der Geest ve ark. 2019). Prensip olarak, kuraklıkların sınıflandırılması, bir coğrafi alan üzerinde yağışın klimatolojik faktöründeki normalden daha düşük bir seviyeye düşüşler ile ilgilidir ve bu da daha sonra hidrolojik sistemlerin doğal sürdürülebilirliğini etkilemektedir (Shah ve ark. 2015; Almedeij 2014; Efstathiou ve Varotsos 2012; Keka ve ark. 2012; Mishra ve Singh 2010; Shukla ve Wood 2008). Kuraklık, zamansal ve alansal yayılmada eliptik bir profile sahip, yavaş gelişen bir fenomen olarak tanımlanmaktadır (Shah ve ark. 2015; Patterson ve ark. 2013; Al-Qinna ve ark. 2010; Shahid ve Behrawan 2008). Kuraklığın şiddetinin, mekansal ve zamansal dağılımının ve oluşum sıklığının değerlendirilmesi, entegre bir su kaynağı, ekonomik ve tarımsal yönetim ve planlama sistemi için bir ön koşuldur (Baruga ve ark. 2020; Mehr ve ark. 2019; Alqaysi 2017; Awchi ve Kalyana 2017; Kwak ve ark. 2016; Moreira ve ark. 2015; Nam ve ark. 2015; Kampragou ve ark. 2011; Mishra ve Singh 2010). Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgelerinde yapılan birçok kuraklık araştırması, bu bölgelerin kuraklıktan, su kaynaklarının bütünlüğü üzerindeki baskılardan ve su krizinin etkisindeki artışlardan kaynaklanan kronik sonuçlarla karşı karşıya olduğunu göstermektedir (Aladaileh ve ark. 2019; Habibi ve ark. 2018; Awchi ve Kalyana 2017; Modarres ve ark. 2016; Kelley ve ark. 2015; Sen ve ark. 2012; Keramat ve ark. 2011; Al-Qinna ve ark. 2010; Abbaspour ve ark. 2009; Sönmez ve ark. 2005). Okyanus

atmosferik-kara dinamikleri ve hidrolojik koşullar bağlamında kuraklık olasılıklarının tanımlanmasına dayanan doğru kuraklık izleme ve tahminine bağlı, titiz bir önleyici kuraklık azaltma stratejisi gerektirmektedir (Hao ve ark. 2018). Kuraklık tahmini için çoklu istatistiksel, dinamik ve hibrit model simülasyonları geliştirilmiştir. Dinamik kuraklık tahmin modelleri, iklimin genel sirkülasyon modellerini (GCM'ler) birleştirmeye dayalı okyanus-atmosfer-kara süreçlerinin gelecekteki iklim projeksiyonlarıdır. Ancak istatistiksel tahmin yaklaşımları, önceden gözlemlenen değerleri kullanarak gelecekteki iklimi simüle edebilmektedir (Saha ve ark. 2014; Yuan ve Wood 2013). İstatistiksel modeller, büyük ölçekli çalışmalar için daha uygun olan dinamik modellere göre yerel kuraklık davranışlarını ele almada daha fazla doğruluk sergilemektedir. Bununla birlikte, iklim sistemlerinin durağan olmayan doğasını tespit etmede istatistiksel modellerin sınırlamaları ve okyanus-atmosfer dolaşımının rastgele doğası nedeniyle uzun vadeli tahminlerde dinamik modellerin zayıflığı, hibrit istatistiksel-dinamik simülasyon yaklaşımlarını tercih edilir bir seçenek haline getirmektedir (Han ve Singh 2020; Strazzo ve ark. 2019; Hao ve ark. 2018; Xu ve ark. 2018; Madadgar ve ark. 2016; Mishra ve Singh 2010). istatistiksel tahmin modellerinin çeşitliliği ve basitliği makine öğreniminin kavramsal yapılar (Khan ve ark. 2020; Kuswanto ve Naufal 2019; Park ve ark. 2019; Zhang ve ark. 2019), zaman serisi modelleri (Moghimi ve ark. 2019; Yeh ve Hsu 2019), olasılık modelleri (Jouybari-Moghaddam ve ark. 2017; Avilés ve ark. 2016; Hao ve ark. 2016; Behrangi ve ark. 2015; Paredes ve Guevara 2013), regresyon modelleri (Mortensen ve ark. 2018; Stagge ve ark. 2015) ve hibrit modeller (Malik ve ark. 2020; Fung ve ark. 2019; Prasad ve ark. 2018; Rezaeianzadeh ve ark. 2016), bölgesel ve yerel belirleme için bu yaklaşımlara güvenme eğilimini güçlendirmektedir. Analitik kuraklık çalışmaları (Anshuka ve ark. 2019) daha önce belirtildiği gibi, bilim ve tarihsel veriler, tanımlayıcı kuraklık modellerinin geliştirilmesi için temel sağlamaktadır. Bu nedenle, gözlemlerin önceki dağılımının toplanması, yakın gelecekle ilgili tahmine dayalı bilgileri iletmektedir (Nagarajan 2010). Stokastik yaklaşımlar, kuraklığın zamansal yayılımını simüle etmek için Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) veya Markov Zinciri gibi stokastik modellerin gücünü kullanmaktadır (Han ve ark. 2010, Serfozo 2009; Modarres 2007, Mishra ve Desai 2005, Cancelliere ve Salas 2004). Benzer şekilde istatistiksel yaklaşım, kuraklık özelliklerini tahmin etmek için çeşitli

istatistiksel teknikler kullanır ve bu teknikler de temel olarak istatistiksel modelleme ve olasılıksal dağılıma ayrılabilir (Kwak ve ark. 2016; Cancelliere ve ark. 2007). Spesifik olarak, kuraklık analitik çalışmaları temel olarak kuraklık indekslerinin stokastik istatistiklerine dayanmaktadır (Kwak ve ark. 2016; Cancelliere ve ark. 2007; Munger 1916). İndeks yaklaşımları, kuraklığın şiddetini ve sıklığını sınıflandırmak için yağış, buharlaşma, terleme vb. gibi farklı meteorolojik girdiler açısından benzersiz bir kuraklık değerinin hesaplanmasına dayanmaktadır (Wichitarapongsakun ve ark. 2016; WMO ve GWP 2016; Hao ve AghaKouchak 2013; Vicente-Serrano ve ark. 2010; Tsakiris ve ark. 2007; Morid ve ark. 2006; Smakhtin ve Hughes 2004; Szalai ve Szinell 2000; Guttman 1998; Byun ve Wilhite 1999; Kogan 1995; McKee ve ark. 1993; Sastri 1993; Petrasovits 1990; Shafer ve Dezman 1982; Palmer 1968; Gibbs ve Maher 1967; Palmer 1965). Standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI), farklı dönemlerde yağış davranışındaki değişiklik nedeniyle beklenen kuraklığı değerlendirmek için kullanılan en popüler meteorolojik kuraklık indeksidir (McKee ve ark. 1995; McKee ve ark. 1993; McKee ve ark. 1985). SPI, yağış açığının su kaynakları üzerindeki etkisi için diğer indekslere kıyasla kapsamlı, çok zamanlı bir değerlendirme metodolojisi sunmaktadır (Alqaysi ve ark. 2017; Halwatura ve Ark.2015; Du ve ark. 2013; Manatsa ve ark. 2010). Ancak, diğer iklim parametrelerinin etkisini alarak, Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) kuraklığın etkisini değerlendirmek için daha güvenilir bir indeks olarak kabul edilmektedir (Zhang ve ark. 2020; Tefera ve ark. 2019; Homdee ve ark. 2016). Politika yapıcılarının kuraklığı etkili bir şekilde yönetmek, tarımsal üretim kayıplarını azaltmak ve çevreyi korumak için kuraklığın bölgesel özelliklerini anlamaları için kuraklığın mekansal haritası gerekmektedir (Uddin ve ark. 2020; Mondol ve ark. 2017; Alamgir ve ark. 2015; Karavitis ve ark. 2015). Bu çalışma, MENA'daki kuraklığın zamansal ve mekansal dağılımındaki dalgalanmayı değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, stokastik zaman serisi tahmin modelleri geliştirerek ve çalışma alanı ve dönem boyunca kuraklık oluşumunun istatistiksel özelliklerini tespit ederek Filistin'deki Gazze Şeridi'nin bir mikro çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma, MENA'nın Doğu Akdeniz ülkelerindeki kuraklık üzerine mevcut araştırmalardaki eksikliğin yanı sıra Gazze Şeridi'ndeki kuraklık araştırmaları için meteorolojik verilerin eksikliği

sorununun, eksik verileri simüle etmek ve iklimi tahmin etmek için stokastik modelleri genişleterek üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır.

2.2. Veri Üretimi ve Zaman Serisi Analizi

Hidrolojik ve meteorolojik durumlarda, mevcut gözlemlenen veriler geçmiş koşullar hakkında genel bir göstergeyi temsil eder, bu nedenle tahmin, belirli bir veri dizisinin gelecekte nasıl davranacağını incelemek için mevcut verileri genişletmeyi amaçlamaktadır (Sharma ve ark. 2019; Hingray ve ark. 2014; Sene 2009; Issar 2003; Werick ve Whipple 1994). Veri üretme teknikleri ve tahmin, özellikle sel veya kuraklıkla ilişkili risk faktörlerini araştırmak için gerekmektedir (Doroszkiwicz ve ark. 2019; Markus ve ark. 2019; Gaur ve ark. 2018). Tarihsel kayıtlarda gösterilen kesin kalıbın gelecekte tekrarlanması pek olası değildir; bununla birlikte, mevcut verilerdeki bilgiler, olasılık dağılımları, istatistiksel parametreler ve geleceği karakterize etmek için çeşitli veri dizileri oluşturmak için genel stokastik davranışı için kullanılabilir. Bu nedenle, veri üretiminin arkasındaki ana ilke, hidrolojik ve meteorolojik serilerde bulunabilecek ve doğada meydana gelme olasılığı daha yüksek olan önemli istatistiksel düzenlilikleri veya rahatsızlıkları çıkarmaktır (Machiwal ve Jha 2012). Veri üretme modelleri, aşağı yukarı tarihsel ortalama, standart sapma ve korelasyon katsayısı ile aynı ortalamaya, standart sapmaya ve korelasyon katsayısına sahip verileri yeniden üretmek için kullanılır. Bu nedenle modeller, tarihsel verilerin belirli parametreleri veya belirli anları oluşturulan dizide korunacak şekilde geliştirilir (Hauser ve ark. 2017; Gupta ve ark. 2014). Zaman serisi, akış, yağış, sıcaklık vb. gibi zaman içinde toplanan rastgele değişken dizilerinin bir yapısıdır. Zaman serisindeki bir değer diğerine bağımlılığı, zaman serisi analizi, veri üretimi ve tahmin için ana temeldir. Buna göre, sentetik olarak üretilen veriler, belirli bir sistemin olası davranışını simüle etmek için geçmişten değerli çıkarımlardır. Denklem 2.1'de özetlenen, zaman serisini temsil eden matematiksel model, deterministik bileşen etrafında meydana gelen bir sürecin belirli rastgele dalgalanmalarını ele almak için stokastik bir rastgele bileşene ek olarak deterministik bir bileşenden oluşur (Sharma ve ark. 2019).

$$x_t = d_t + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

Burada;

x_t : Stokastik model
 d_t : Deterministik bileşen
 ε_t : Stokastik rastgele bileşen

Stokastik bileşen, modelleri temsil etmede baskın terim iken deterministik bileşenin varlığı baskın değildir (Machiwal ve Jha 2012). Deterministik bileşen, uzun vadeli ortalama, trend, periyodiklik ve sıçramanın bir kombinasyonudur (Kottegoda 1980). Genellikle, zaman serisi modeli, deterministik bileşeni yakalayarak ve stokastik rastgele bileşenin davranışını simüle ederek oluşturulmaktadır (Chatfield 2003).

2.3. Otokorelasyon Fonksiyonları

Bir korelogram ile temsil edilen otokorelasyon fonksiyonu (ACF), stokastik sürecin hafızasını temsil eder ve sürecin daha önce ne olduğunu ne kadar zaman içinde hatırlayabildiği hakkında doğal bilgi verir. x_t ve x_{t+k} arasındaki otokorelasyon aşağıdaki gibi Denklem 2.2 ile ele alınmaktadır (Box ve ark. 2008; Chatfield 2003; Kashyap ve Rao 1976):

$$\rho_k = \frac{cov(x_t, x_{t+k})}{\sigma_{x_t} \cdot \sigma_{x_{t+k}}} \quad (2.2)$$

Burada;

ρ_k : Otokorelasyon değeri
 $cov(x_t, x_{t+k})$: Otokovaryans
 x_t : Orijinal zaman serisi
 x_{t+k} : Gecikme k zamanlayıcı serisi
 σ_{x_t} : Sıfır gecikmeli orijinal zaman serisinin varyansı
 $\sigma_{x_{t+k}}$: k gecikmesindeki zaman serilerinin varyansı.

Genel olarak, tamamen stokastik rastgele zaman serilerini sağlamak için, sıfır gecikmeli otokorelasyon dışındaki tüm gecikmeler için otokorelasyon değerleri istatistiksel olarak önemsiz olmalıdır. Zaman serisindeki herhangi bir değerin başka bir değere bağımlılık derecesi de kısmi otokorelasyon fonksiyonu (PACF) analizi ile

ele alınmalıdır. Zaman serisinin normal dağılımı takip ettiği hipotezi, örnek zaman serisinin tamamen stokastik bir seriden gelip gelmediğini incelemek için kullanılmaktadır (Kashyap ve Rao 1976; Box ve Jenkins 1970).

2.4. Frekans Alanı Analizi

Spektral analiz, kuraklık ve taşkın periyodik analizinin uygulanmasında, sentetik verilerin oluşturulmasında, hidrolojik tahminlerde ve iklim değişikliği etki çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kumbuyo ve ark. 2014; Zhang ve ark. 2008). Otokorelasyon işlevi veya korelogram, zaman alanındaki zaman serilerini analiz etmek için kullanılır ve bu verilerdeki doğal periyodiklikler hakkında genel bir gösterge verir. Ancak verilerdeki kesin ve anlamlı periyodiklikler, zaman alanı yerine frekans alanındaki zaman serileri veya spektral analizler yapılarak belirlenebilir (Kashyap ve Rao 1976). Gözlenen zaman serisi, bir sürecin zaman içinde rastgele bir örneği olarak kabul edilir ve tüm olası frekansların salınımlarından oluşur. Spektral analiz, zaman serisini Denklem 2.3'te gösterildiği gibi kosinüs ve sinüs dalgalarının bir kombinasyonu ve ayrıca rastgele bir bileşen olarak tanımlanmaktadır (Kottegoda 1980; Kashyap ve Rao 1976; Koopmans 1974).

$$x_t = a_o + \sum_{k=1}^{\frac{n-1}{2}, \frac{n}{2}} [a_k \cos (2\pi f_k t) + \beta_k \sin (2\pi f_k t)] + \varepsilon_t \quad (2.3)$$

Burada

a_o : Zaman serisinin aritmetik ortalaması

N : Zaman serisi gözlemlerinin sayısıdır

M : tipik olarak $0.25N$ 'ye kadar kabul edilen maksimum gecikmedir

$$f_k = \frac{k}{N}$$

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x_t \cos(2\pi f_k t) \quad k = 1, 2, \dots, M$$

$$\beta_k = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x_t \sin(2\pi f_k t) \quad k = 1, 2, \dots, M$$

Varyans spektrumu, bu varyansı birkaç aralığa veya frekans bandına böler. Spektral yoğunluk (I_k), Eşitlik 2.4 ve Eşitlik 2.5'te açıklandığı gibi frekans aralığı başına varyans miktarıdır (Kashyap ve Rao 1976).

$$I_k = \frac{N}{2} \sum_{t=1}^N (\alpha_k^2 + \beta_k^2) \quad k = 1, 2, \dots, M \quad (2.4)$$

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{N} = \frac{2\pi}{P} \quad k = 1, 2, \dots, M \quad (2.5)$$

Burada;

I_k : Spektral yoğunluk
 ω_k : Açısal frekans
 P : Periyodiklik
 k : Gecikme

Dikkat çekici bir şekilde, spektrum altındaki toplam alan, işlemin varyansına eşittir. Spektrumdaki önemli bir tepe noktası, tepe noktasına yakın frekanslarda varyansa önemli bir katkıyı gösterir; belirgin sivri uçlar önemli periyodikliği gösterir. Spektral yoğunluk veya çizgi spektrumu, bilgiyi zaman alanından frekans alanına dönüştürür. Bu nedenle, korelogram verilerde periyodikliklerin varlığını gösterirken, spektral analiz periyodikliklerin kendilerinin önemini tanımlar. Çizgi spektrumu tutarsız bir tahmindir ve düzgün bir fonksiyon değildir. Güç spektrumu, spektrumun düzleştirilmiş versiyonudur ve spektral yoğunluğun tutarlı tahminini gösterir. Denklem 2.6'da gösterilen Fourier kosinüs dönüşümü güç spektrumu, frekans analizi için yaygın bir tiptir (Kashyap ve Rao 1976):

$$I_k = 2 \left[c_o + 2 \sum_{j=1}^{\frac{N-1}{2}} \lambda_j c_j \cos(2\pi f_k j) \right] \quad (2.6)$$

Burada;

c_j : Otokovaryans fonksiyonu

λ_j : Gecikme penceresi veya yumuşatma penceresi

Gecikme penceresini formüle etmek için yaygın olarak kullanılan Denklem 2.7'de gösterilen iyi bilinen bir form Tukey Window'dur (Kashyap ve Rao 1976).

$$\lambda_j = \frac{1}{2} \left[1 + 2 \cos \left(\frac{2\pi}{M} \right) \right] \quad (2.7)$$

Spektrum, verilerin doğasında bulunan periyodiklikleri temsil eden belirgin artışları gösterir. Düzgün dağılmış rastgele değerlere sahip tamamen rastgele bir zaman serisi durumunda, spektral yoğunluk fonksiyonu sabittir ve beyaz gürültü olarak adlandırılır. Beyaz gürültü, sıfır gecikmeli frekans aralığından daha fazla varyans içeren önemli bir frekans aralığı olmadığını gösterir. İstatistiksel olarak, periyodikliğin (k) önemi, Denklem 2.8'de (Kashyap ve Rao 1976) açıklandığı gibi bir istatistik ($\cap$) tanımlanarak belirli bir anlamlılık düzeyinde (α) F-testi kullanılarak test edilir:

$$\cap = \frac{\gamma_k^2 (N - 2)}{4\hat{\rho}_1} \quad (2.8)$$

Burada;

$$\gamma_k^2 = \alpha_k^2 + \beta_k^2$$

$$\hat{\rho}_1 = \frac{1}{N} \left[\sum_{t=1}^N \{x_t - \hat{\alpha}_k \cos(\omega_k t) - \hat{\beta}_k \sin(\omega_k t)\} \right]$$

Prensip olarak, stokastik modellerde gerekli bir koşul, modellenen serilerin önemli periyodikliklerden arındırılmış olmasıdır. Böylece, periyodikliğin zaman serisinden çıkarılması için orijinal zaman serisi, fark alma veya standardizasyon yöntemiyle basitçe başka bir saf seriye dönüştürülür (Kashyap ve Rao 1976; Box ve Jenkins 1970).

2.5. Oto regresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) Modelleri

Zaman serisi modelleri, yöneticilerin ve politika yapıcılarının iyi bilgilendirilmiş ve sağlıklı kararlar alabilmeleri için uygun bir perspektif görünümü sağlamak için geçmiş analiz ederek geleceği tahmin ederek tahmin ederek inşa edilir. Çoğu zaman serisinin önemli bir özelliği, gözlemlerin seri olarak bağımlı olmasıdır. Genel olarak, zaman serisi dört bileşene ayrılabilir: Seküler bir trend, mevsimsel değişim, döngüsel değişim ve zamanın matematiksel fonksiyonları ile deterministik olarak modellenen düzensiz değişimdir (Sharma ve ark. 2019; Kottegoda 1980). Oto regresif tümleşik hareketli ortalama (ARIMA) modelleri, matematiksel olarak Denklem 2.9'da tanımlanan, farklı dönemlerde kendi üzerinde tek bir değişken olan regresyon yoluyla oto regresyon kavramı üzerinde duran Box Jenkins modeli türleridir (Polyak 1996; Tong 1990; Box ve Jenkins 1976).

$$x_t = f(x_{t-1}, x_{t-2}, x_{t-3}, \dots) \quad (2.9)$$

Genel olarak, Denk. 2.10'da gösterilen matematiksel terimler, aşağıdaki biçimde yazılan ARIMA modelinin kapsamlı formunu gösterir (Shahin ve ark. 1993):

$$\begin{aligned} \left[1 - \sum_{i=1}^p \phi_i B^i \right] \cdot \left[1 - \sum_{i=1}^P \phi_{is} B^{i \times s} \right] \cdot (1 - B)^d \cdot (1 - B^s)^D x_t \\ = \left[1 + \sum_{i=1}^q \theta_i B^i \right] \cdot \left[1 + \sum_{i=1}^Q \theta_{is} B^{i \times s} \right] \cdot \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2.10)$$

Burada;

ϕ_i : i. oto regresif (AR) parametreler

Φ_{is} : i. mevsimsel oto regresif (AR) parametreler.

Θ_i : i. hareketli ortalama (MA) parametreleri.

Θ_{is} : i. mevsimsel hareketli ortalama (MA) parametreleri.

B: geri vites operatörü.

d: fark.

D: mevsimsel fark.

S: mevsimsellik dönemi.

ε_t : bir gürültü rastgele bileşeni.

Stokastik ARIMA modelleri, özellikle hidrolojik akışları, yeraltı suyu seviyesi dalgalanmalarını ve kuraklık modellerini modellemek için su kaynakları yönetimi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Sakizadeh ve ark. 2019; Myronidis ve ark. 2018; Takafuji ve ark. 2018; Djerbouai ve Souag- Gamane 2016; Khorasani ve ark. 2016; Bazrafshan ve ark. 2015; Mirzavand ve Ghazavi 2015).

2.6. Standardize Yağış İndeksi (SPI) ve Standardize Yağış-Evapotranspirasyon (SPEI) İndeksleri

SPI, yağış koşulları ve su temini değerlendirmesi için kullanılan çoklu bir zaman ölçeğidir. SPI değerleri, normalize edilmiş yağış değerlerinin ortalamadan standart sapmasını sunar, bu da kuru ve ıslak dönemlerin değerlendirilmesini sağlar (McKee ve ark. 1993). Matematiksel olarak, Denklem 2.11'de açıklanan fonksiyon, aylık yağış serisini uydurmak için gama dağılım fonksiyonunu vurgular (Thom 1958).

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad , x > 0 \quad (2.11)$$

Daha sonra, elde edilen parametreler, tarihsel yağışların kümülatif olasılığını tahmin etmek için kullanılır. Ancak, zaman serisindeki sıfır yağış değerlerini dikkate almak için, gama kümülatif dağılım fonksiyonu Denklem 2.12'de gösterildiği gibi daha genelleştirilmiş bir kümülatif dağılım fonksiyonuna dönüştürülmektedir.

$$F(x) = u + (1 - u) \times \int_0^x f(x) dx \quad (2.12)$$

Değiştirilmiş kümülatif dağılım fonksiyonu, Abramowitz ve Stegun (1970) tarafından açıklanan sayısal yöntem izlenerek Denk. 2.13'te gösterildiği gibi standart bir normal dağılıma dahil edilir.

$$\begin{aligned}
SPI &= Z \\
&= \begin{cases} -\left(k - \frac{2.516 + 0.803k + 0.010k^2}{1 + 1.433k + 0.189k^2 + 0.001k^3}\right) & \text{if } 0 < F(x) \leq 0.5 \\ +\left(k - \frac{2.5156 + 0.803k + 0.010k^2}{1 + 1.433k + 0.189k^2 + 0.001k^3}\right) & \text{if } 0.5 < F(x) \leq 1 \end{cases} \quad (2.13)
\end{aligned}$$

$$k = \begin{cases} \sqrt{\ln[1/(F(x))^2]} & \text{if } 0 < F(x) < 0.5 \\ \sqrt{\ln[1/1 - (F(x))^2]} & \text{if } 0.5 < F(x) < 1 \end{cases}$$

Burada;

$f(x)$: gama dağılım fonksiyonudur.

$F(x)$: değiştirilmiş gama dağılım fonksiyonudur.

A ve β : sırasıyla şekil ve ölçek parametreleridir.

X : yağış miktarıdır.

$\Gamma(\alpha)$: gama fonksiyonudur.

u : sıfır yağış olasılığıdır

SPEI, Eşitlik 2.14'te gösterildiği gibi yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki fark üzerinden hesaplanan bir aşılma olasılık değeridir (Tirivarombo ve ark. 2018).

$$SPEI = W - \frac{2.516 + 0.803W + 0.01W^2}{1 + 1.433W + 0.189W^2 + 0.001W^3} \quad (2.14)$$

Burada;

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \text{for } P \leq 0.5$$

P , belirlenen bir D_i değerini aşma olasılığıdır ve $P = 1 - f(x)$ olarak verilir.

Burada;

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} P_{n-1} - (PET)_{n-1}$$

Bir Log-lojistik dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu, Denk. 2.15'te gösterildiği gibi verilmiştir:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{x-y}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x-y}{\alpha}\right)^{\beta}\right)^{-2} \quad (2.15)$$

Buna göre, Tablo 2.1.'de gösterildiği gibi, hesaplanan SPI ve SPEI değerleri, meydana gelen kuraklığın şiddetini McKee ve ark. (1993) tarafından belirlenen dört kuraklık kategorisine dayalı olarak sınıflandırmak için kullanılır.

Tablo 2.1. Kuraklık Sınıfları (McKee ve ark. 1993)

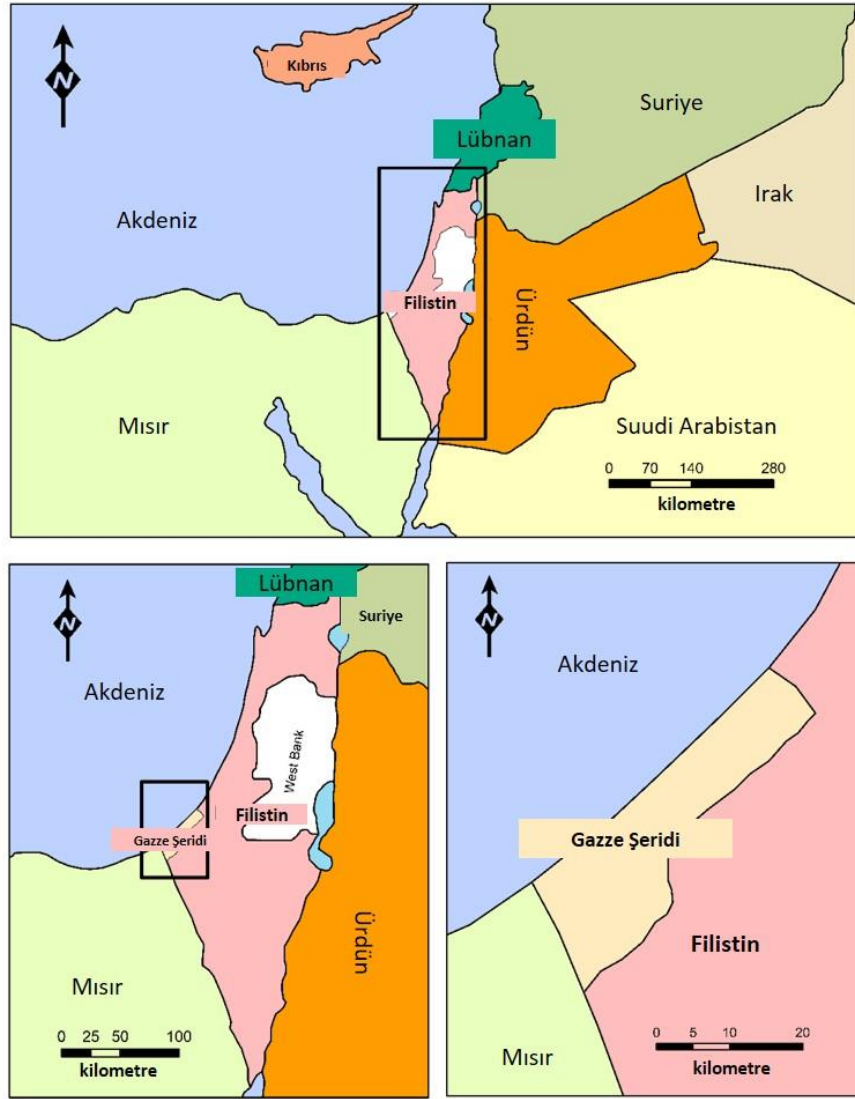
SPI ve SPEI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırması
-2.00 ve daha az	Çok Şiddetli Kurak
-1.50 ile -1.99	Şiddetli Kurak
-1.00 ile -1.49	Orta Kurak
-0.99 ile 0	Normal Civarı
0' dan daha büyük	Kuraklık Yok

SPI ve SPEI'nin avantajları, tarımsal kuraklık, hidrolojik kuraklık ve yeraltı suyu kuraklığının sonuçsal etkilerini ele almak için birkaç zaman ölçeği için yağış açığını nicel olarak ölçme yeteneğinden kaynaklanmaktadır (Abeyasingha ve Rajapaksha 2020; Caloiero ve ark. 2018; Elkollaly ve ark. 2017; Javanmard ve ark. 2017; Bazrafshan 2007). Bu nedenle yeraltı suyunun beslenmesi her 12 ayda bir değerlendirilir. 12 aylık SPI dönemi, yıllık kuraklık davranışının yeraltı suyu dengesi üzerindeki etkisini ele almak için yaygın olarak önerilen zaman ölçeğidir.

2.7. Ortadoğu ve Kuzey Afrika'nın (MENA) Doğu Akdeniz Bölgesi'nde Kuraklık

Bu çalışma boyunca, bölgesel kuraklığın doğasını tanımlamak için Şekil 2.1.'de gösterilen Akdeniz'in doğu kıyısında yer alan MENA ülkeleri vurgulanmıştır. Çalışma alanı yaklaşık 1,3 milyon km²'yi kapsamaktadır ve burada yaklaşık 180 milyon insan

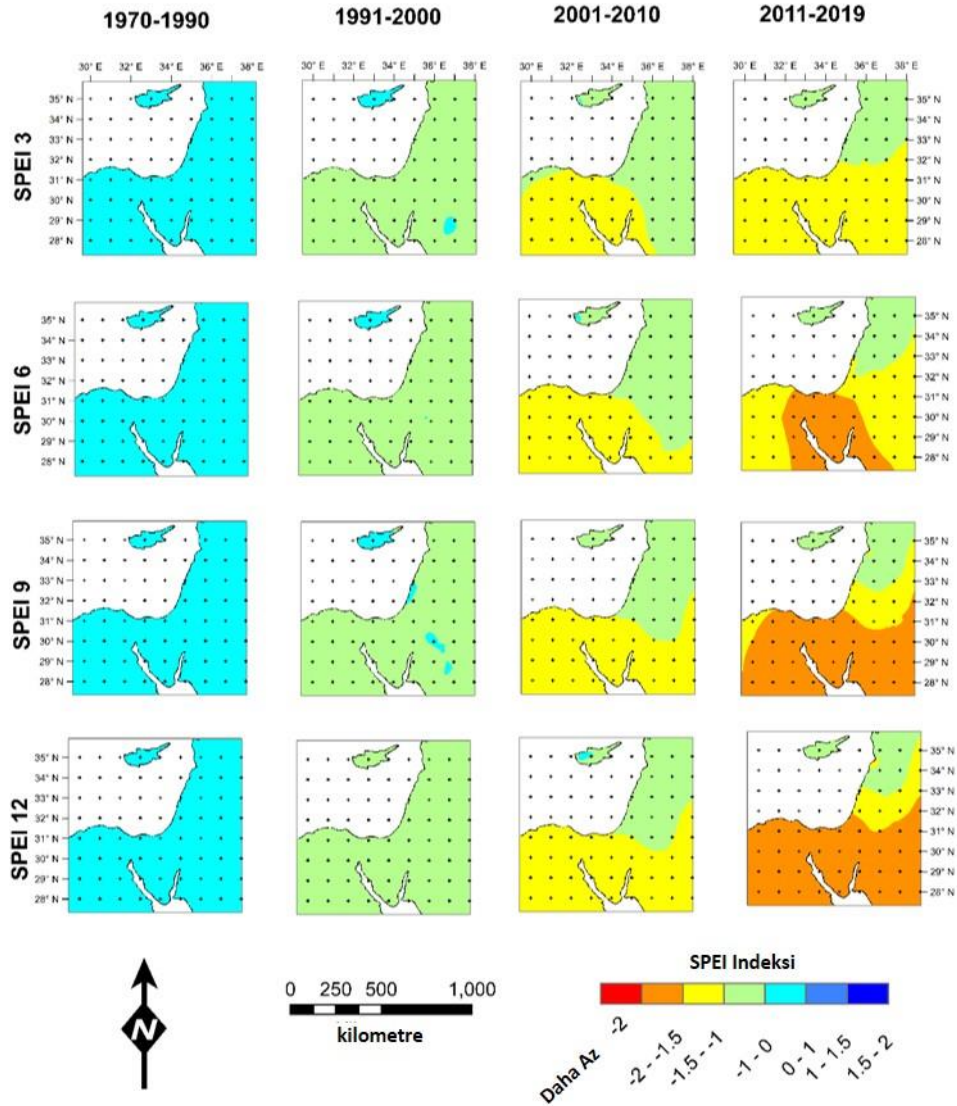
yaşamaktadır. Tarımsal üretim ve gıda güvenliği üzerinde olumsuz etkisi olan, özellikle Mısır'da bu alanda kuraklık gözle görülür şekilde artmaktadır (Hameed ve ark. 2020). Uzun süreli kuraklıklar, doğal olarak, bölgedeki sıcaklık artışlarıyla birlikte yağışlarda önemli bir düşüşün olduğu bölgenin doğal ikliminin bir parçasıdır (IPCC 2014, Elasha 2010). Ortadoğu bölgesi dünyanın en kurak bölgesi olarak bilinmektedir ve tarihsel ölçümler bölgedeki aşırı ve değişken kuraklık dönemlerini ortaya koymaktadır (Huang ve ark. 2016; Kelly ve ark. 2015; Sharifi ve ark. 2015). Ortadoğu'nun Akdeniz bölgesi, diğer bölgelere göre yağış trendlerinde daha fazla düşüş göstermektedir ve buda MENA'nın kıyı bölgesinde daha uzun süreli kuraklığa yol açmaktadır (Karami 2019). Kuzey Afrika kıyı şeridi, Sahel Çölü bölgesinin etkisiyle sürekli kuraklık uyarılarıyla karşı karşıya kalmaktadır (Elasha 2010). Ek olarak, Doğu Akdeniz bölgesi, gözlemler ve model simülasyonları olarak 1998'den beri kaydedilen yoğun ve artan kuraklık koşulları altında, 1970'lerden bu yana sıcak olaylarının sayısının ikiye katlandığını göstermiştir (Cook ve ark. 2016; Lelieveld ve ark. 2016). Ayrıca, kuraklığın giderek artması bölge üzerindeki efektif nemde kayıplar yaşadığı MENA'nın kurak ve yarı kurak bölgelerinde kuraklığın meydana gelme olasılığı daha yüksektir (El Kenawy ve ark. 2016). Genel olarak, MENA'daki uzun süreli kuraklık, antropojenik ve antropojenik olmayan bileşenlere bağlıdır. Ancak, antropojenik olmayan bileşenler, MENA'daki kuraklık için daha güvenilir bir açıklama olarak kabul edilebilir (IPCC 2014). Prensip olarak, yağış ve buharlaşma süreçleri arasındaki etkileşim, kuraklık modeli oluşumunun ana itici gücüdür ve bu El Nino-Güney Salınımı, Güney Halka Modu, Hint Okyanusu Dipolü ve Kuzey Atlantik Salınımı gibi bölgedeki birçok iklimsel süreçle ilgilidir (Golmohammadian ve Pishvaei 2014). Dikkat çekici bir şekilde, son 20 yılda, MENA bölgesi kuraklık nedeniyle somut kayıplarla karşı karşıyadır; burada önemli ölçüde büyük tarım alanlarının kaybedildiği – sulanan arazinin yaklaşık %50'si yağmurla beslenen ekili arazinin %80'i kaybedilmektedir (Huttner 2014).



Şekil 2.1. MENA'nın Doğu Akdeniz ülkelerinin coğrafi konumu ve Gazze Şeridi'nin konumu

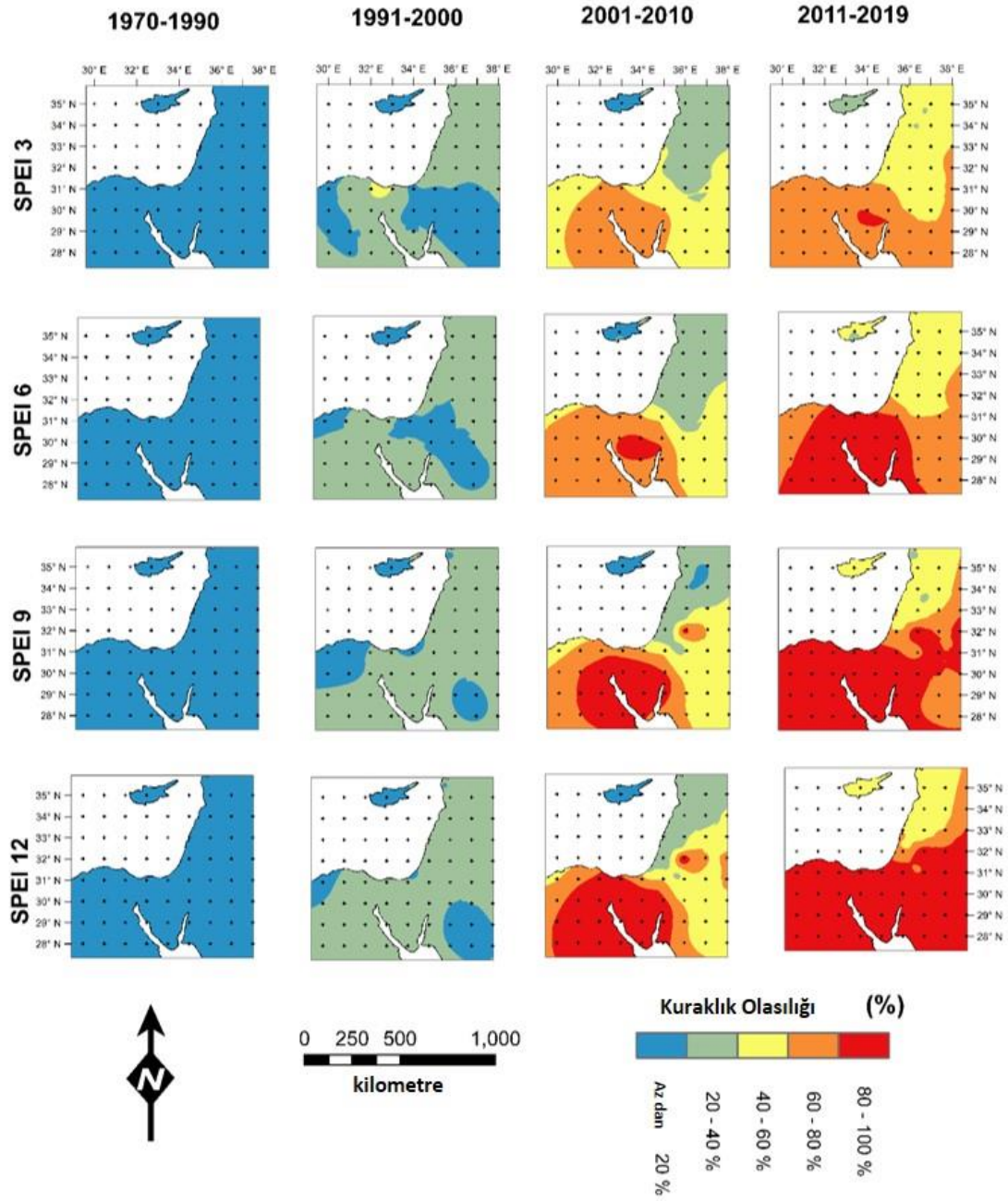
MENA'nın Doğu Akdeniz bölgesindeki kuraklık gelişimini karakterize etmek için Global SPEI veri tabanı (<https://spei.csic.es>) tarafından verilen SPEI toplandı, tarandı ve bölgesel olarak sunuldu. Global SPEI veritabanı, 0.25 x 0.25 derecelik bir uzaysal çözünürlük hücresi ve aylık bir zaman çözünürlüğü ile küresel ölçekte kuraklık koşulları hakkında uzun süreli, sağlam bilgiler sunar. Bir ila 48 ay arasında SPEI zaman çizelgeleri sağlayan çok ölçekli bir karaktere sahiptir. Çalışma alanı için ortalama SPEI, 1970'den 2019'a kadar olan dönem için Şekil 2.2.'de gösterilen 3, 6, 9 ve 12 aylık bir zaman ölçeğine göre sunuldu. Sunulan verilere göre, 1970'den 1990'a dönem kuraklığın olmadığı bir dönemdi. Ancak 1990'dan sonra iklim koşulları daha kuru hal almaktadır. Dikkat çekici bir şekilde, kuraklığın kökenleri coğrafi olarak

Kuzey-Doğu Mısır bölgesi ve özellikle Sina Yarımadası ile belirlenebilmektedir. McKee ve ark. (1993), bölgedeki kuraklığı normal ve şiddetli olarak sınıflandırmaktadır. MENA'nın Doğu Akdeniz bölgesinin güney kısmı şu anda su kaynaklarının ve diğer çevresel bileşenlerin bütünlüğünü olumsuz etkileyen şiddetli kuraklık koşulları altındadır.



Şekil 2.2. 1970 ve 2019 arasındaki dönem için MEAN Doğu Akdeniz için SPEI kuraklık endeksi

Kuraklık oluşumu açısından, projeksiyonlar, Şekil 2.3.'te gösterildiği gibi, kuraklık insidansında artan bir eğilim ortaya koymaktadır. Marjinal olarak, kuraklık olasılığı 1970'lerde %20'den azken, 2010-2019 döneminde %80'in üzerine çıkmaktadır.



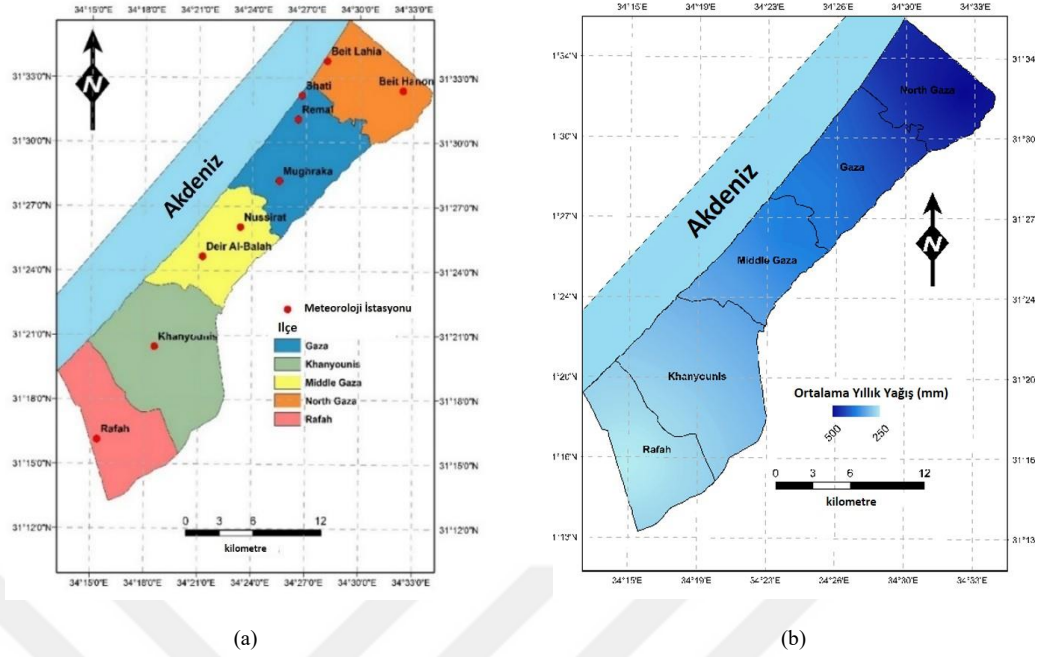
Şekil 2.3. MENA Doğu Akdeniz'de kuraklık oluşumu

Gazze Şeridi bölgesinde kuraklık, kıyı akiferinin yeniden beslenmesini ve yaşamın sürdürülebilirliğini etkileyen kayıtlı bir fenomen haline gelmiştir. Toplam yağışın bölgenin yıllık ortalamasının %67'sine denk geldiği 2007-2008 yılları arasındaki kuraklık koşulları, tarımsal üretimde doğrudan bir kayba neden oldu ve 114 milyon USD ve yaklaşık 200.000 hayvan türü etkilenmiştir (MoA 2008). Önceki rakamların gösterdiği gibi, Gazze Şeridi bölgesinde şiddeti giderek artan bir kuraklık

yaşanmaktadır ve meydana gelme olasılığı her üç ayda bir %60-80 civarında ve her yıl %80'den fazladır. Gazze Şeridi'ndeki kuraklık indeksi 0,16 ile 0,3 arasında değişmekte olup, iklim değişikliği, yağışlardaki azalmalar ve sıcaklık artışlarının etkisiyle azalması beklenmektedir (Al-Najar 2019). Ekonomik açıdan bakıldığında, işgücünün %4,7'si tarım sektöründe ve yaklaşık %10'u balıkçılıkta istihdam edilmektedir. İşsizlik oranı %41 civarında ve kuraklık yoğunluğunun bir sonucu olarak özellikle tarım sektöründe daha fazla işgücünün işini kaybetmesi beklenmektedir (PCBS 2020).

2.8. Gazze Şeridi'ne Genel Bakış (Filistin)

Gazze Şeridi (Şekil 2.4.a), Akdeniz'in güneydoğu kıyısında yaklaşık 42 km uzunluğunda, 6 ila 12 km genişliğinde ve 365 km²'lik bir alanı kapsayan bir kıyı şerididir. Gazze Şeridi, dünyanın en yoğun nüfuslu bölgelerinden biri olarak nitelendirilmektedir. Bu nedenle, Filistin Merkez İstatistik Bürosu'nun (PCBS) 2019 yılı tahminlerine göre Gazze Şeridi'nin nüfusu 1,99 milyon kişiydi ve istatistiksel projeksiyonlar, nüfusun 2021 yılına kadar yaklaşık 2,11 milyon nüfusa ulaşacağını göstermektedir (PCBS 2020). Coğrafi olarak, Gazze Şeridi'nin iklimi, Sina Yarımadası'nın kurak çölünün iklimleri ile yarı nemli Akdeniz arasındaki etkileşimden kaynaklanmaktadır. Gazze Şeridi'nde aylık ortalama sıcaklık yaz aylarında 29 °C' den Kış aylarında 10 °C'ye kadar değişmektedir. Yağışlı aylar Ekim'den Mart'a kadar olan kış mevsimi ile birlikte oluşmaktadır. Şekil 2.4.b'de gösterildiği gibi, bölgedeki toplam yıllık yağış miktarı Gazze Şeridi'nin kuzeyinde 470 mm ve güneyinde 250 mm arasında değişmektedir. Kış ve Yaz aylarında sırasıyla, gerçek aylık buharlaşma süreci 95 ve 185 mm'dir, aylık bağıl nem %68 ile %75 arasında dalgalanır ve ortalama güneşlenme süresi 190 ile 305 saat arasındadır. Deniz meltemi gün boyunca ve kara meltemi yaz aylarında gece boyunca esmektedir. Rüzgar kuzeybatı yönünden yaklaşık 8-9 mph'lik ortalama düzenli bir hızla esmektedir. Öğle vakti, rüzgar hızı en yüksek şiddetine ulaşır ve gün batımına kadar azalır. Fırtınalar, kışın 40-50 mil / saate kadar bir rüzgar hızı ile yaygın olarak bildirilir ve normal koşullarda, rüzgar güneybatıdan ortalama 10 mil hızla esmektedir.



Şekil 2.4. Gazze Şeridi haritası: (a) meteoroloji istasyonları; (b) yağış dağılımı.

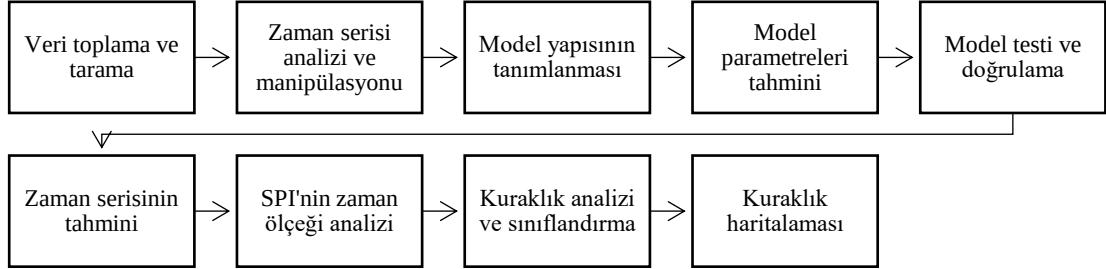
Suyla ilgili konularda, Gazze Şeridi'ndeki mevcut koşulların ciddi bir su krizi yaşadığı belirtilmektedir. Kıyı akiferi, Gazze Şeridi'ndeki su kaynakları için mevcut tek su kaynağıdır. Bununla birlikte, düşük besleme seviyeleri ve su kuyularından aşırı çekim nedeniyle kıyı akiferi sürekli olarak tükenmektedir. Gazze kıyı akifer izleme programı, yeraltı suyunun %95'inden fazlasının kabul edilemez derecede kirliliğini göstermektedir (Filistin Su Kurumu (PWA) 2014). Deniz suyu girişinin etkisiyle, yeraltı sularında önemli bir dereceye kadar klorür konsantrasyonu bulunmaktadır, bu da Dünya Sağlık Örgütü belirttiği (WHO) klorür seviyesini aşmaktadır (El Baba ve Ark.2020; Dentoni ve Ark.2014; Zaineldeen ve Ark.2014; Qahman ve Larabi 2005). Ölçülü su kuyuları aracılığıyla kıyı akiferinden elde edilen yıllık su miktarı yaklaşık 200 milyon m³ ve bu akiferin bir yılda sürdürülebilir şekilde geri kazanabileceği hacmin yaklaşık dört katıdır (Mushtaha ve Walraevens 2018; Abualtayef ve Ark.2017; PWA 2015; PWA 2014; PWA 2013; PWA 2012; PWA 2011). Tarım arazileri, Gazze Şeridi'nin toplam arazisinin yaklaşık %33'ünü oluşturmaktadır ve büyük ölçüde yeraltı suyu kuyularından elde edilen yılda yaklaşık 90 milyon m³ suyu kullanmaktadır (Tarım Bakanlığı (MoA) 2016; PWA 2013). Diğer Doğu Akdeniz ülkeleri gibi, Gazze Şeridi bölgesinde de iklim değişikliğinin yağışlı mevsimler üzerindeki etkisi nedeniyle aşırı kuraklık olaylarında artış yaşanmaktadır. Buda gıda ve su kaynaklarının

kırılganlığını önemli ölçüde artırmaktadır (FAO 2018; Gampe ve ark.. 2016). Buna bağlı olarak, Filistin hükümet kurumları, aşırı kuraklıkların olumsuz etkileriyle başa çıkmak için etkili hafifletme önlemleri uygulayarak sürdürülebilir uyum stratejileri benimsemiştir. Örneğin, MoA modern su hasadı stratejilerini benimsemiş ve çiftçiler arasında kuraklığa en dayanıklı tarım sistemlerine geçme ihtiyacı konusunda bilgi ve uzmanlığını artırmıştır (MoA 2016). PWA, Su ve Atıksu Sektörü Stratejisi, Taslak Su Kaynakları Yönetim Stratejisi, Ulusal Su Politikası, Su Sektörü Strateji Planlama Çalışması (WSPS), Kıyı Akifer Yönetim Programı (CAMP), Ulusal Su Planı (NWP), Yağmur Suyu Sızma Planı, Gazze Şeridi'ne Su Temini ile ilgili Gazze Acil Teknik Yardım Programı (GETAP) ve Gazze Şeridi için Su Temini Seçeneklerinin Karşılaştırmalı Çalışması (CSO-G) kıyı akiferi ve aşırı kuraklık olaylarının ve su kıtlığının etkilerini hafifletmek için plan sunmaktadır. Bu çalışmalar, su taleplerini karşılamak ve kuraklık sonuçlarını azaltmak için su döngüsünde etkili bir potansiyel su kaynağı olarak geri dönüştürülmüş atık su, tuzdan arındırılmış deniz suyu ve toplanan yağmur suyu gibi geleneksel olmayan su kaynaklarının kullanılmasını önermektedir. Ayrıca, 2010-2011 yılları arasındaki kuraklık dönemine yanıt olarak, devlet kurumları arasındaki koordinasyonu geliştirmek ve birden fazla uygulanmayı kolaylaştırmak için aşırı koşullar altında veri erişilebilirliğini koordine etmek ve yönetmek için yeni bir kurumsal çerçeve olarak Su Kıtlığı Görev Gücü İnsani ve acil durum önlemleri (WSTF) kurumu kuruldu (WSTF 2011). Gazze Şeridi, Gazze Şeridi'nde gelecekteki kuraklığı simüle etmek için kullanılabilecek gerçek verilere dayalı tahmin modellerinin eksikliğinden kaynaklı belirsizlikler yaşamaktadır (Gambe ve Ark.2016), Gazze Şeridi'nde gelecekteki kuraklık için bir model oluşturulmuştur; ancak modelin doğruluğu uydulardan görüntü verisi alınmasına bağlıdır ve modelin korelasyonu %55'i geçmemektedir. Bu nedenle, çalışmanın yeniliği, Gazze Şeridi'ndeki çalışan meteoroloji istasyonlarından elde edilen gerçek verilerin çalışmasına dayalı olarak gelecek için güvenilir bir simülasyon modeli sağlama yeteneğinde özetlenmiştir.

2.9. Araç ve Yöntemler

Bu çalışmanın metodolojisi, önceki dönemler ve başlayan 20 yıl boyunca kapsamlı bir uzaysal ve zamansal kuraklık yayılımını entegre etmek için stokastik zaman serisi

modellemesini kullanarak Gazze Şeridi'ndeki dalgalı kuraklık modellerini tanımlamaktır. Bu yaklaşım Şekil 2.5.'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Çalışmanın metodolojisinin akış şeması

2040 yılına kadar olan 20 yıllık hedef dönem, mevcut ve önerilen su kaynakları yönetim planlarının önümüzdeki 10 ila 20 yıl içinde kapsamlı bir şekilde uygulamaya geçirileceği beklentisine dayanmaktadır. Bu nedenle, hedef dönem boyunca kuraklık davranışını simüle etmenin, politika yapıcılara kıyı akiferinin sürdürülebilirliği ve kuraklığa dayanıklılık önlemleri için müdahale verimliliğini değerlendirmede rehberlik etmesi beklenmektedir.

2.10. Verilerin Toplanması ve Analizi

1974 ile 2016 arasındaki günlük yağış verileri, Beit Hanon, Beit Lahia, Shati, Remal, Mughraka, Nussirat, Deir Al-Balah, Khanyounis ve Refah'taki dokuz meteoroloji istasyonu aracılığıyla toplanarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Şekil 2.1.'de gösterilen meteoroloji istasyonları, Gazze Şeridi'nin güneyinden kuzeyine doğru yağış dağılımının hassasiyetini kaydetmek için tüm coğrafi alana iyi bir şekilde dağılmıştır. Tablo 2.2.'de gösterildiği gibi verilerin istatistiksel analizi, yaz aylarında sıfır yağışın yaygın olduğunu ve Gazze Şeridi'nde aylık ortalama yağışın 21-39 mm olarak tahmin edildiğini göstermektedir. Yağışlı mevsimde yağışın önemli bir kısmı düşer ve aylık ortalama 135-330 mm civarına ulaşabilmektedir. Belirli mevsimlerde Gazze Şeridi'nin büyük miktarlarda yağmur suyu kaydettiğini göstermektedir. İstatistiksel analiz, maksimum yağış değerlerinin, aykırı değerlerin üst sınırından yaklaşık 1,5-2,5 daha yüksek bir değere ulaşabileceğini göstermektedir; bu, belirli tarihsel dönemlerde Gazze Şeridi'nin sel yaşadığını kuvvetle doğrulamaktadır. Ortalama düşen yağış

miktarı yılda 253 ile 468 mm arasında dağılmıştır ve Gazze Şeridi'ne düşen yıllık toplam su hacmi 92 ile 171 milyon m³'tür.

Tablo 2.2. Gazze Şeridi'nin meteoroloji istasyonları için coğrafi konum ve istatistiksel analiz

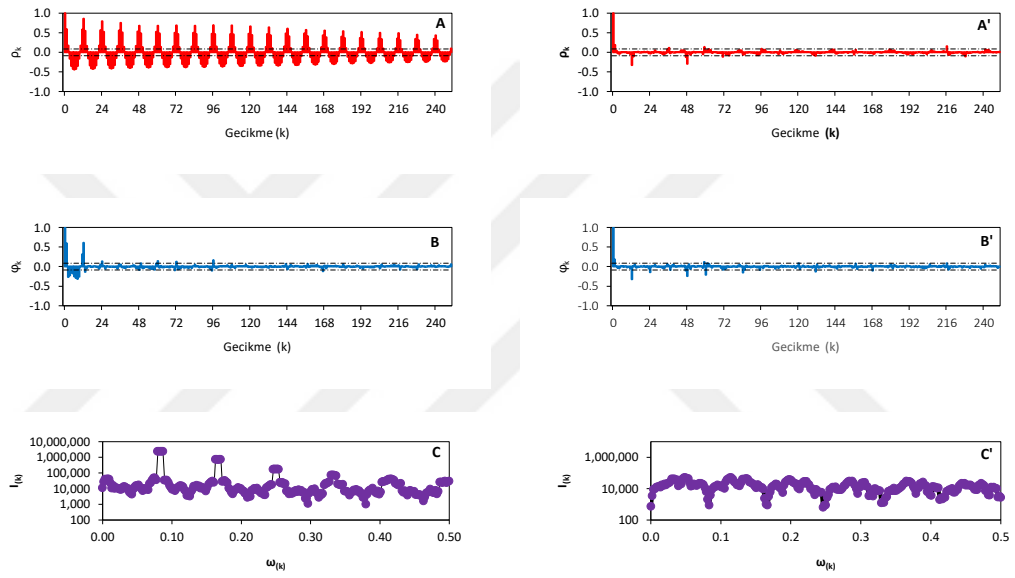
İstasyon Adı	Enlem °N	Boylam °E	Yağış (mm/ay)					Standart sapma
			Asgari	25 th	50 th	75 th	Maksimum	
BEIT HANON	31.5404	34.5404	0	0	39	57	330	58
BEIT LAHIA	31.5633	34.4695	0	0	36	53	325	52
SHATI	31.5365	43.4459	0	0	33	54	237	47
REMAL	31.5180	34.4425	0	0	33	48	255	46
MUGHRAKA	31.4700	34.4254	0	0	31	47	287	46
NUSSIRAT	31.4341	34.3891	0	0	30	49	253	42
DEIR AL-BALAH	31.4113	34.3438	0	0	28	46	172	38
KHANYOUNIS	31.3412	34.3094	0	0	24	38	135	34
RAFAH	31.2691	34.2563	0	0	21	35	155	30

Bölgesel olarak, kuzey Gazze Şeridi ilçeleri, kıyı akiferinin yeniden doldurulmasına güney ilçelerinden daha fazla katkıda bulunmaktadır, bu nedenle tüm sızma ve su toplama ve depolama projeleri, Gazze Şeridi'nin kuzeydoğu bölgelerinde bir yer için planlanmaktadır.

2.11. Zaman Serilerinin Analizi ve Model Yapılanması

Kalite kontrol ve kalite güvencesi amacıyla, yağış zaman serilerinin doğasını değerlendirmek için bu araştırmada hem R-istatistiksel analiz dili hem de Sosyal Bilimler için İstatistik Paketi (SPSS) kullanılmıştır. R-istatistiksel analiz dili, vaka çalışmalarının çok sayıda olması nedeniyle iklim çalışmaları amaçları için şiddetle tavsiye edilmektedir. SPSS, sonuçların tutarlılığını doğrulamak için tanıdık ve yerleşik bir araçtır. Zaman serisi verilerinde bulunan bilgiler, ACF, PACF ve güç spektrumunun analizi yoluyla elde edilmiştir. Beit Hanon istasyonunda gözlemlenen zaman serileri için, Şekil 2.6.A'da gösterilen otokorelasyon fonksiyonu, verilerin birbiriyle güçlü bir korelasyon içinde olduğunu gösteren sinüzoidal bir şekilde yavaş bozunma korelogramını göstermektedir. Yağış zaman serisi için durağanlık sıfır hipostazi, Artırılmış Dickey-Fuller (ADF) testi (Dickey ve Fuller 1979) kullanılarak test edilmiştir. T-istatistik testi, %5'ten daha az bir p-değeri verir; bu nedenle sıfır hipotezi reddedilir ve bu zaman serisinin durağan olduğu anlamına gelir. Şekil 2.6.A'da vurgulanan korelogram, yaklaşık 300 aylık uzun bir zaman gecikmesinden sonra,

zaman serisi değerleri arasındaki korelasyonun %95'lik bir anlamlılık düzeyinde (α) istatistiksel olarak anlamsız hale geldiğini ve bu zaman serisinin dönüştürülmesi gerektiği anlamına geldiğini göstermektedir. Zaman serisi ARIMA modelini yapılandırmak için MA bileşenlerinin sırasını çıkarmak için daha durağan bir forma dönüştürülmüştür. PACF, verilerin birbirine bağımlılık derecesini ifade etmektedir, Şekil 2.6.B'deki PACF, zaman serisindeki bilgilerin %41'inin ilk gözlenen değer tarafından yorumlandığını, kalan %59'unun ise diğer tarafından temsil edildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 2.6. (AA') Korelogram aracılığıyla orijinal ve değiştirilmiş zaman serisi analizi; (BB') kısmi otokorelasyon; ve (CC') güç spektrumu

Şekil 2.6.C'de sunulan güç spektrumu, zaman serisinin kendisini esas olarak her 12, 6 ve 4 ayda bir tekrar ettiğini göstermektedir. Bu ani yükselmelerdeki istatistiksel test, F-istatistik testinden önemli ölçüde daha yüksekti ve bu periyodik modelin zaman serisine hakim olduğunu yansıtmaktadır. Özetlemek gerekirse, orijinal zaman serisi davranışsal sürecinde daha stokastik olmalıdır, bu nedenle verilerin birbirine önemli ölçüde bağımlılığını ve aşırı veri bağımlılığını ortadan kaldırmak için seriler birinci dereceden mevsimsel farklılaşmaya eklenerek zaman serisi işlenmiş ve değiştirilmiştir. Beit Hanon meteoroloji istasyonundaki yağış gözlemleri için değiştirilmiş zaman serileri, sırasıyla Şekil 2.6.A', B' ve C'de gösterildiği gibi ACF, PACF ve spektrum aracılığıyla yeniden analiz edildi. Genel olarak, tüm meteoroloji istasyonlarındaki tüm

yağış gözlemleri için aynı analiz, mevsimsel bir ARIMA modelinin $(p, d, q)(P, D, Q)_s$ $(4,0,1)(5,1,1)_{12}$, Gazze Şeridi meteoroloji istasyonlarındaki yağış zaman serisi kayıtlarını temsil etmek ve tahmin etmek için uygulanmıştır. İşlem süresi açısından model, simülasyon sonuçlarını makul bir süre içinde sunulmaktadır. Ayrıca, yapılandırılmış modellerin fazlalığından kaynaklanabilecek yanlışlıkları azaltmak için her istasyondaki simülasyon sürecini temsil etmek için farklı bir model seçilmiştir.

2.12. Model Parametreleri Tahmini ve Doğrulaması

Dokuz meteoroloji istasyonunun her birinde gözlemlenen yağış zaman serilerinin her biri için stokastik modellerin yapısını araştırmak için R-istatistiksel analiz dilinin algoritmaları kullanılmıştır. Yapılandırılmış stokastik mevsimsel ARIMA $(4,0,1)(5,1,1)_{12}$ için AR ve MA'nın mevsimsel olmayan ve mevsimsel bileşenleri, Tablo 2.3'te özetlendiği gibi dokuz yağış zaman serisinin her biri için belirtilmiştir.

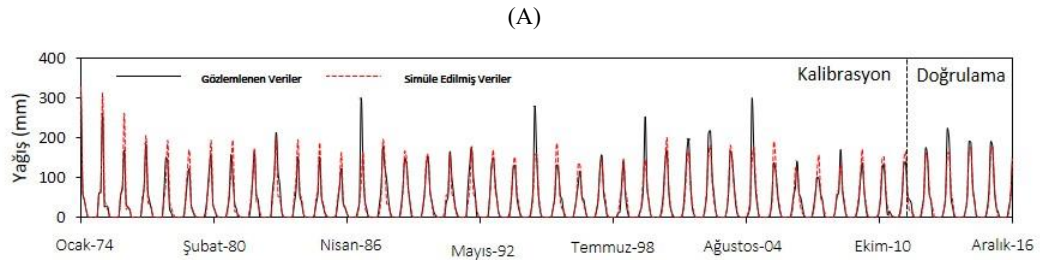
Tablo 2.3. Gazze Şeridi'nin meteoroloji istasyonlarındaki model AR ve MA parametreleri

İstasyon	Mevsimsel Olmayan Parametreler					Mevsimsel Parametreler					
	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Θ_1	Φ_{1s}	Φ_{2s}	Φ_{3s}	Φ_{4s}	Φ_{5s}	Θ_{1s}
BEIT HANON	0.08	0.06	-0.01	-0.03	0.08	0.23	0.00	-0.01	-0.35	-0.07	-0.85
BEIT LAHIA	0.36	0.05	-0.01	-0.07	-0.09	0.32	0.06	-0.04	-0.22	0.07	-0.81
SHATI	0.26	0.08	0.01	-0.06	0.07	0.15	0.15	-0.08	-0.17	-0.00	-0.98
REMAL	0.19	0.13	0.06	-0.07	0.10	0.08	0.27	-0.14	-0.32	0.01	-0.82
MUGHRAKA	0.04	0.13	0.02	-0.04	0.16	0.40	0.10	-0.14	-0.27	0.13	-0.90
NUSSIRAT	0.05	0.24	-0.03	-0.08	0.41	0.12	0.01	-0.05	-0.21	0.03	-0.69

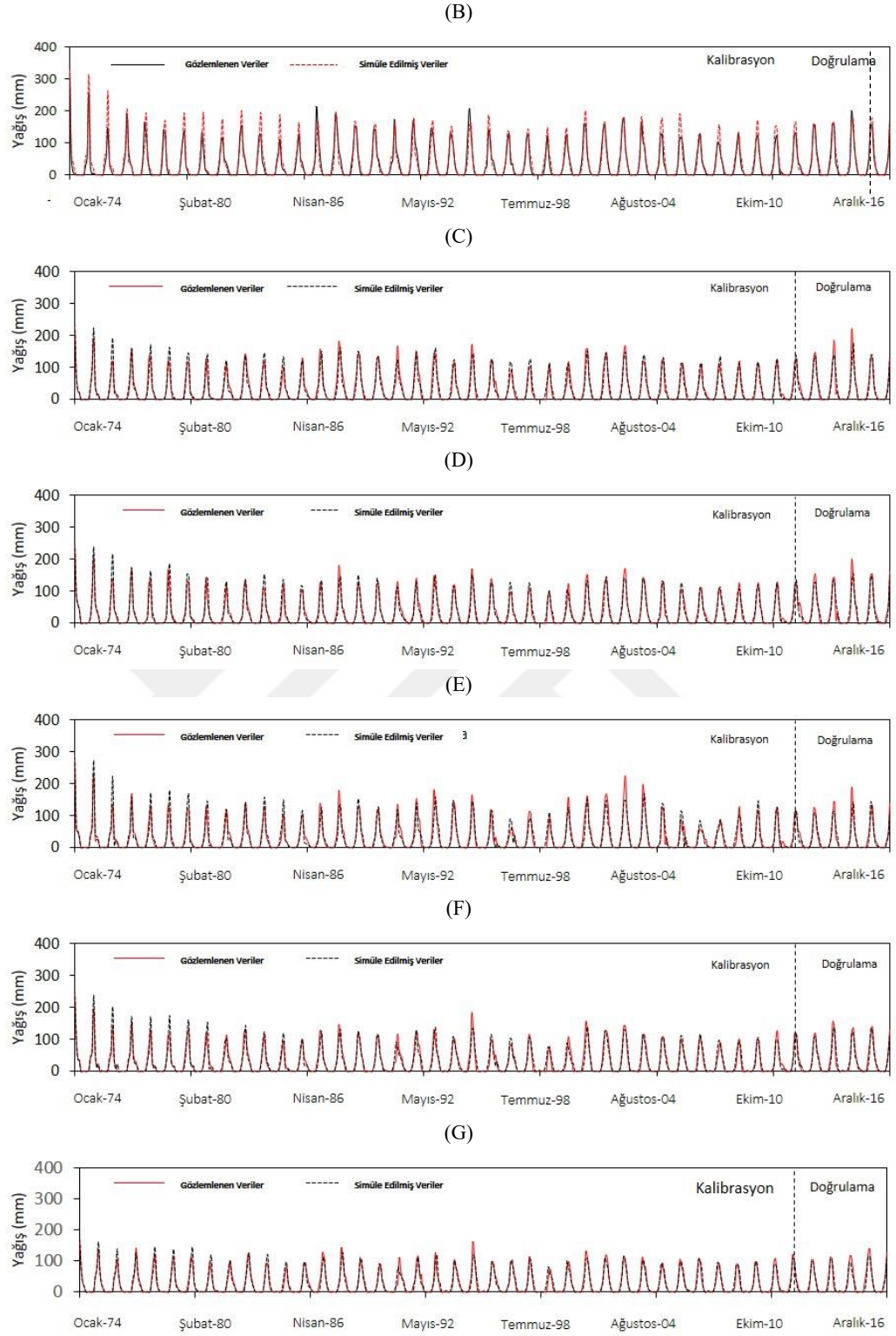
Tablo 2.3. (Devamı)

İstasyon	Mevsimsel Olmayan Parametreler					Mevsimsel Parametreler					
	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Θ_1	Φ_{1s}	Φ_{2s}	Φ_{3s}	Φ_{4s}	Φ_{5s}	Θ_{1s}
DEIR AL-BALAH	-0.01	0.25	-0.01	-0.12	0.44	-0.01	-0.11	-0.09	-0.24	0.04	-0.71
KHANYOUNIS	-0.25	0.49	-0.11	-0.14	0.84	0.15	0.01	0.05	-0.17	0.01	-0.72
RAFAH	-0.11	0.05	0.03	-0.03	0.36	0.15	0.15	0.11	-0.32	-0.06	-0.99

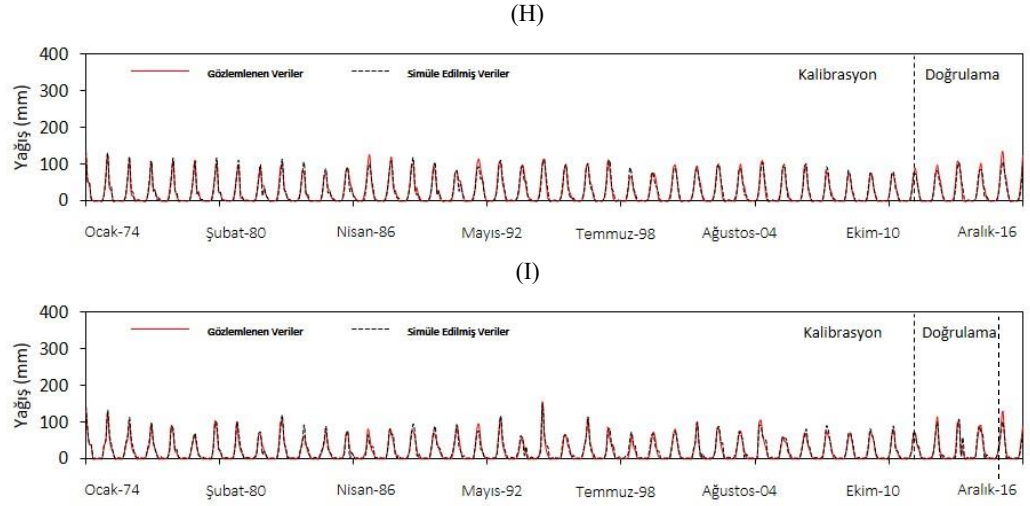
Mevsimsel ARIMA modelleri, verilerin %90'ı kullanılarak kalibre edilirken, modellerin performansının Şekil 2.7. ve Şekil 2.8.'de gösterildiği gibi tahmin tahminleri için test edilmesi için verilerin kalan %10'unda doğrulama gerçekleştirilmiştir. Simüle edilen değerlerin gözlemlenen değerlere yorumlanma derecesi, benzetilmiş ve gözlemlenen veriler arasındaki korelasyonun gücünü gösteren Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) ve r'nin istatistiksel ölçümleriyle araştırılmıştır. Model kalibrasyon aralığına takılan veriler, model korelasyonunun, ortalama etrafındaki yanıt verisi değişkenliğinin yaklaşık %93-97'si olduğunu göstermiştir. Özellikle model, model testinin, modelin yaklaşık %92-99'luk bir tahmin korelasyon doğruluğu ile gelecekteki koşulları tahmin edebileceğini ortaya koyduğu tahmin çerçevesinde iyi davranış sergilemiştir. Diğer durumlarda, gözlemlenen ve simüle edilen veriler arasındaki korelasyon, RMSE açısından, kalibrasyon aralığında korelasyon gücünün yaklaşık 7-21 olduğu ve yaklaşık 11-21'lik bir korelasyonun sağlandığı durumlarda yüksek bir korelasyon olarak sınıflandırılmıştır.



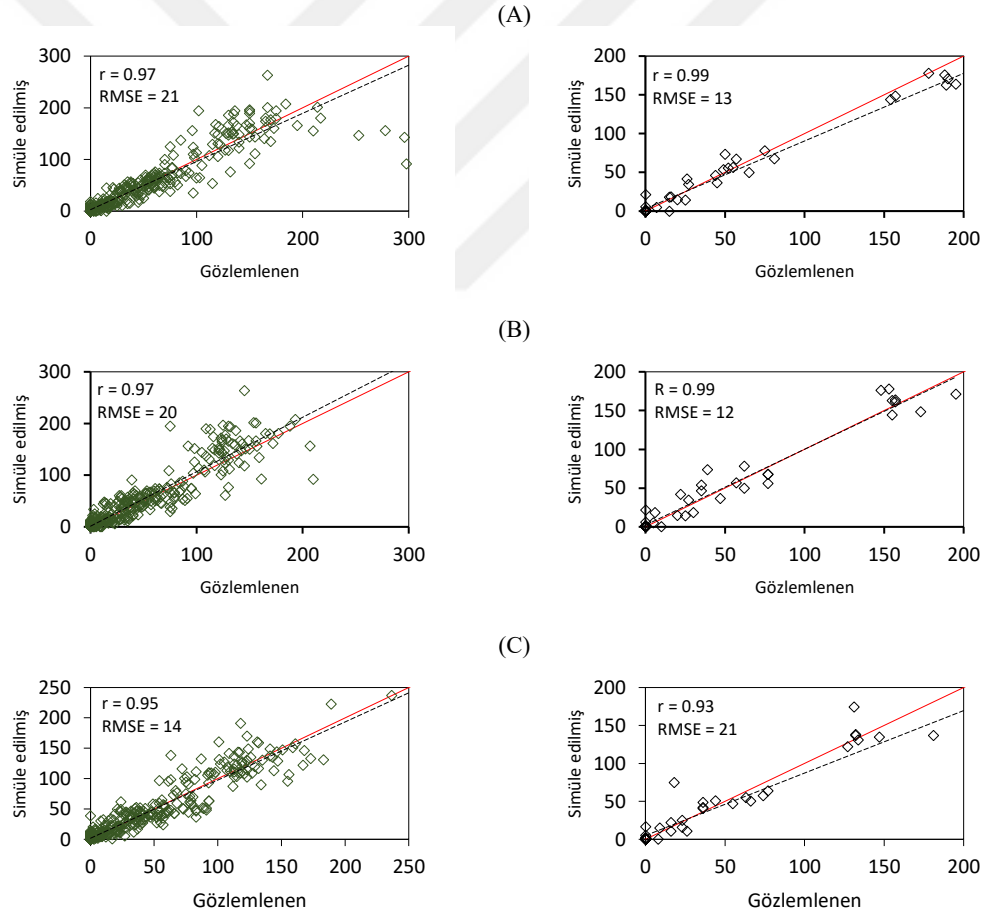
Şekil 2.7. (A) Beit Hanon'daki modeller; (B) Beyt Lahya; (C) Şati; (D) Remal; (E) Muğraka; (F) Nussirat; (G) Deir Al-Balah; (H) Hanyuniler; ve (I) Refah



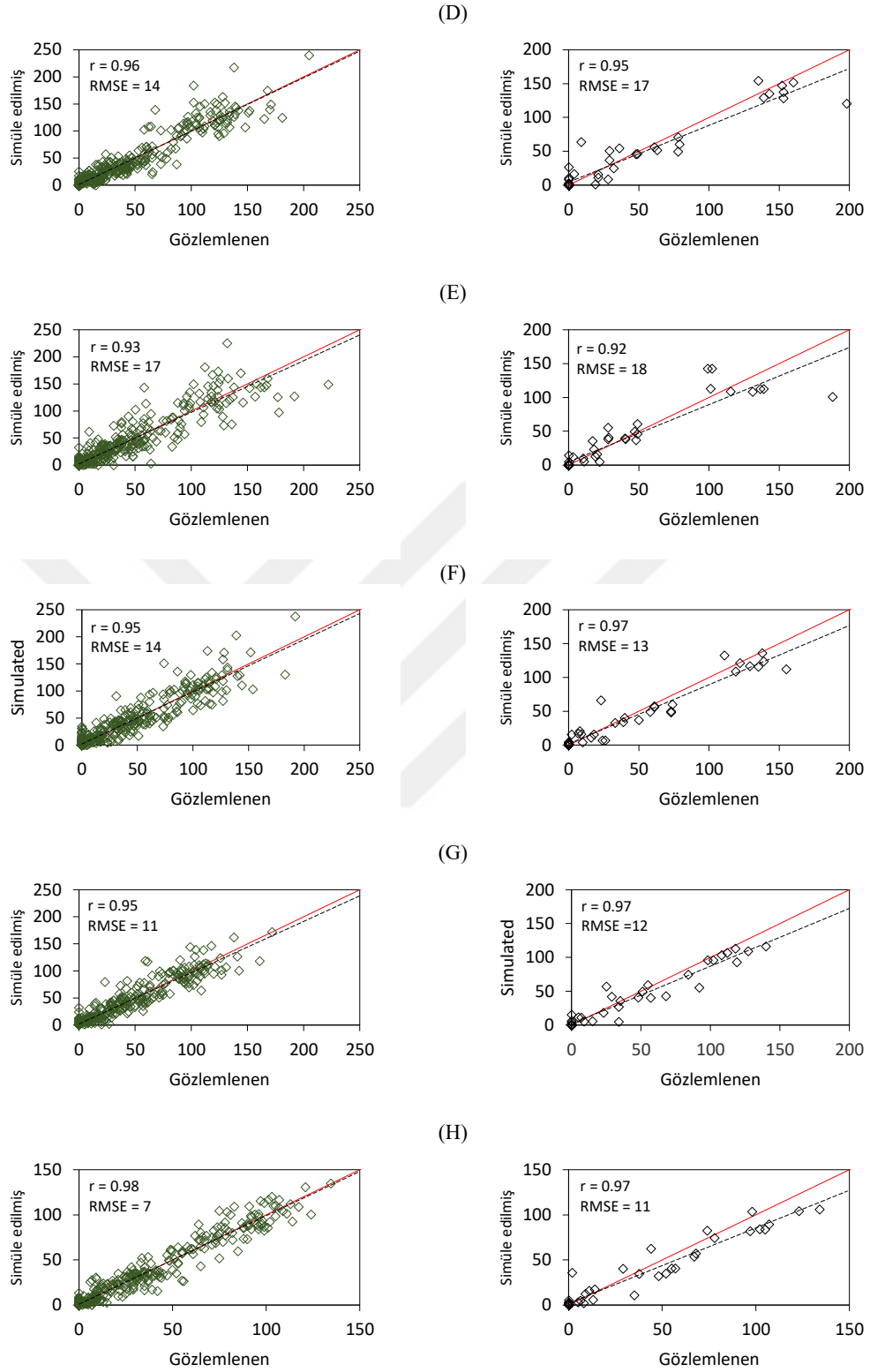
Şekil 2.7. (Devamı)



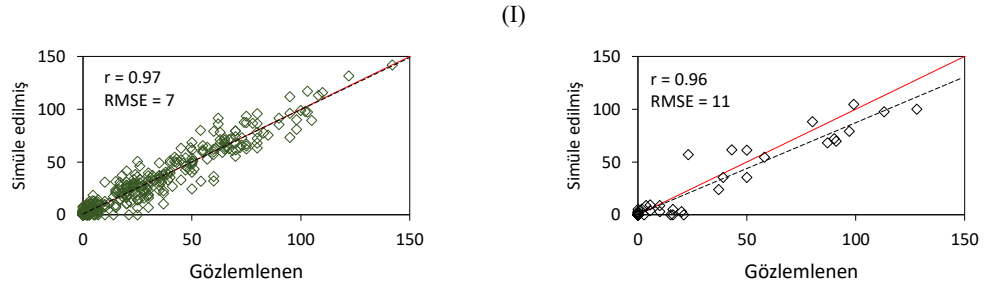
Şekil 2.7. (Devamı)



Şekil 2.8. Modellerin performansı (A) Beit Hanon'da; (B) Beyt Lahis; (C) Şati; (D) Remal; (E) Muğraka; (F) Nussirat; (G) Deir Al-Balah; (H) Hanyuniler; ve (I) Refah



Şekil 2.8. (Devamı)



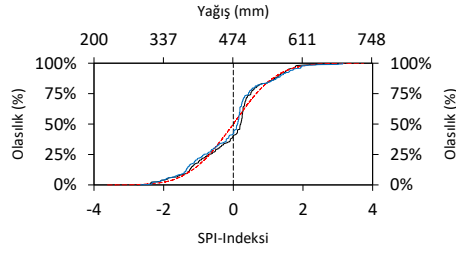
Şekil 2.8. (Devamı)

Gazze Şeridi sınırlı bir arazi alanıdır, bu nedenle stokastik mevsimsel ARIMA modelinin birleşik yapısı, yağış dağılımını simüle etmek ve ayrıca veri işlemeyi basitleştirmek ve sayısız model kullanmaktan doğabilecek yanlışlıkları azaltmak için yeterince uygun kabul edilmiştir.

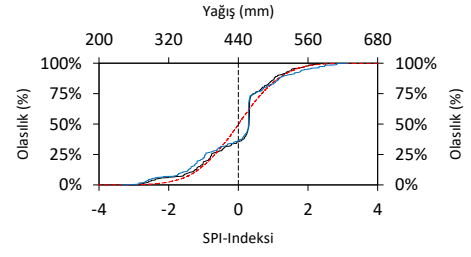
2.13. Kuraklık Analizi ve Sınıflandırması

Ulusal ölçekte kuraklığın izlenmesi ve değerlendirilmesi için net bir çerçevenin ayrılması, Gazze Şeridi'ndeki kıyı akifer direncini ve tarımsal kaynakları doğrudan tehdit eden iklim değişikliğinin etkilerini ifade etmede büyük bir zorluk yaşamaktadır. Özünde, Gazze Şeridi'ndeki su bütçesi değerlendirmeleri yıllık bazda hazırlanmaktadır ve bu nedenle, karar vericileri ulusal su kaynaklarındaki açık ve fazlaları hizalama konusunda yetkilendirmek için yıllık bir ulusal kuraklık indeksi geliştirmek daha uygundur. Sonuç olarak, SPI, daha önce bahsedilen stokastik mevsimsel ARIMA modelleri kullanılarak, geçmiş verileri derledikten ve sonraki 20 yıl ile 2040 arasındaki verileri simüle ettikten sonra her 12 ayda bir yıllık bazda değerlendirilmiştir. Yıllık SPI_{12} , belirtilen dönem boyunca yağış modellerindeki değişiklik nedeniyle kuraklık modellerindeki değişimi göstermek için dokuz meteoroloji istasyonunun her birinde hesaplanmıştır. Sıfır SPI_{12} 'yi hizalayan ve kuraklık ile nemlik arasındaki ayrılabilir sınırı tanımlayan yağış eşik değeri, Şekil 2.9.'da gösterildiği gibi yağış ve kümülatif dağılım fonksiyonunun (CDF) SPI_{12} grafikleri eşleştirilerek belirlenmiştir. Yağış eşiği seviyesi bölgesel olarak güneyde 250 mm'den Gazze Şeridi'nin kuzeyinde yaklaşık 474 mm civarındadır. Bu nedenle, Gazze Şeridi bölgesindeki kuraklığın zamansal ve mekansal dağılımını değerlendirmek için bu çalışmada 370 mm'lik bir ortalama yağış eşiği seviyesi güvenilir bir yerel referans ölçeği olarak kabul edilmiştir.

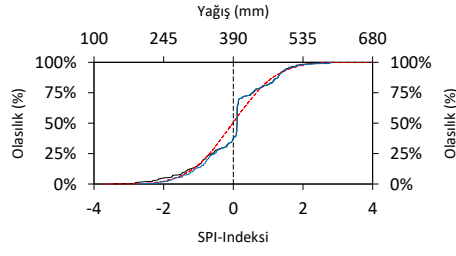
A



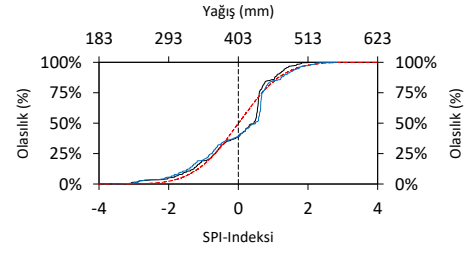
B



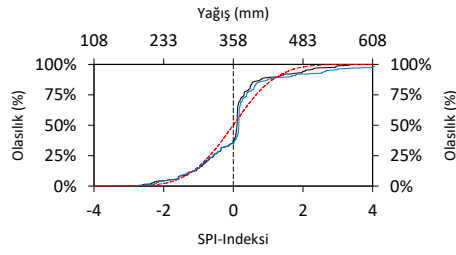
C



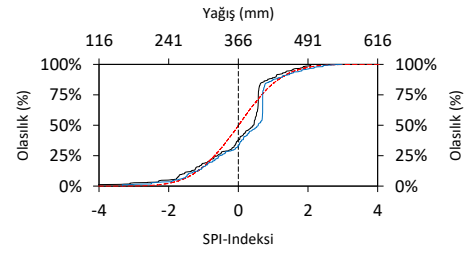
D



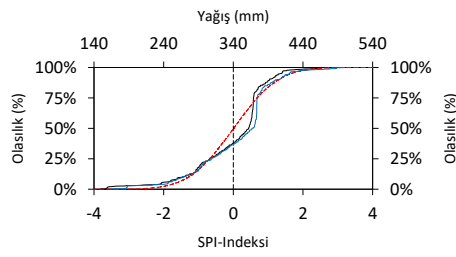
E



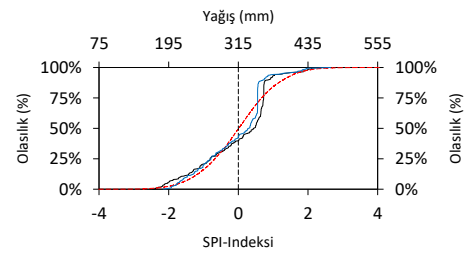
F



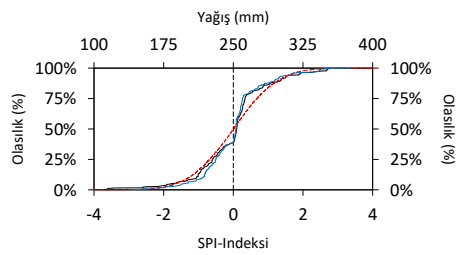
G



H

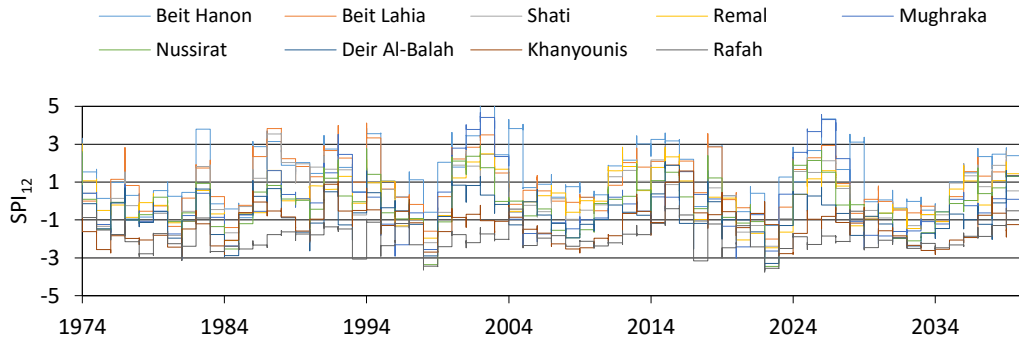


I



Şekil 2.9. (A) Beit Hanon meteoroloji istasyonları için normal dağılım, kümülatif normal dağılım fonksiyonları (CND) ve yağış eşik seviyelerinin grafiklerinin eşleştirilmesi; (B) Beyt Lahya; (C) Şati; (D) Remal; (E) Muğraka; (F) Nussirat; (G) Deir Al-Balah; (H) Hanyuniler; ve (I) Refah

Meteoroloji istasyonlarının her birinde yağış ve SPI için kümülatif olasılık dağılımının eşleşen grafiklerinin karşılaştırmalı incelemesi, Gazze Şeridi için temsili yerel kuraklık ölçeğinin, ortalama ve varyansı olan bir olasılık yağış dağılım fonksiyonu uydurularak oluşturulabileceğini göstermektedir. Şekil 2.10.'da gösterildiği gibi sıfır ortalama ve 1 varyans ile bir olasılık SPI dağılım fonksiyonunu eşleştirmek için sırasıyla 370 mm ve 3932 olmalıdır.



Şekil 2.10. (A) Beit Hanon meteoroloji istasyonları için 12 aylık ölçek; (B) Beyt Lahya; (C) Şati; (D) Remal; (E) Muğraka; (F) Nussirat; (G) Deir Al-Balah; (H) Hanyuniler; ve (I) Refah

Oluşturulan yerel kuraklık SPI ölçeğine göre, dokuz meteoroloji istasyonunun her birindeki yağış zaman serisi için SPI_{12} , Beit Hanon ve Rafah istasyonları için Şekil 2.10.'da gösterilen örnek olarak yeniden hesaplanmıştır. Önümüzdeki 20 yıldaki yağışların simülasyonu, bazı kesintilerle SPI'de istikrarı görülmektedir. Spesifik olarak, Gazze Şeridi için, yıllık yağış 230 mm'den az olduğunda koşullar aşırı kuraklık olarak sınıflandırılır. Bu arada, 230-265, 265-300 ve 300-370 mm yağışlar için kuraklık, sırasıyla şiddetli, orta ve normal kuraklık olarak kategorize edilir. Aynı şekilde ıslak durum, yılda 370 mm eşik değerini aşan yağış miktarı ile tanımlanabilir. 1974-2040 yılları arasındaki kuraklık SPI_{12} 'nin zamansal dağılımı, Gazze Şeridi'nin geçmişte kuraklık koşullarına tanık olduğunu ve kuraklığın Gazze Şeridi'nin bazı güney bölgelerinde kronik olarak tanımlanabileceğini ortaya koymaktadır.

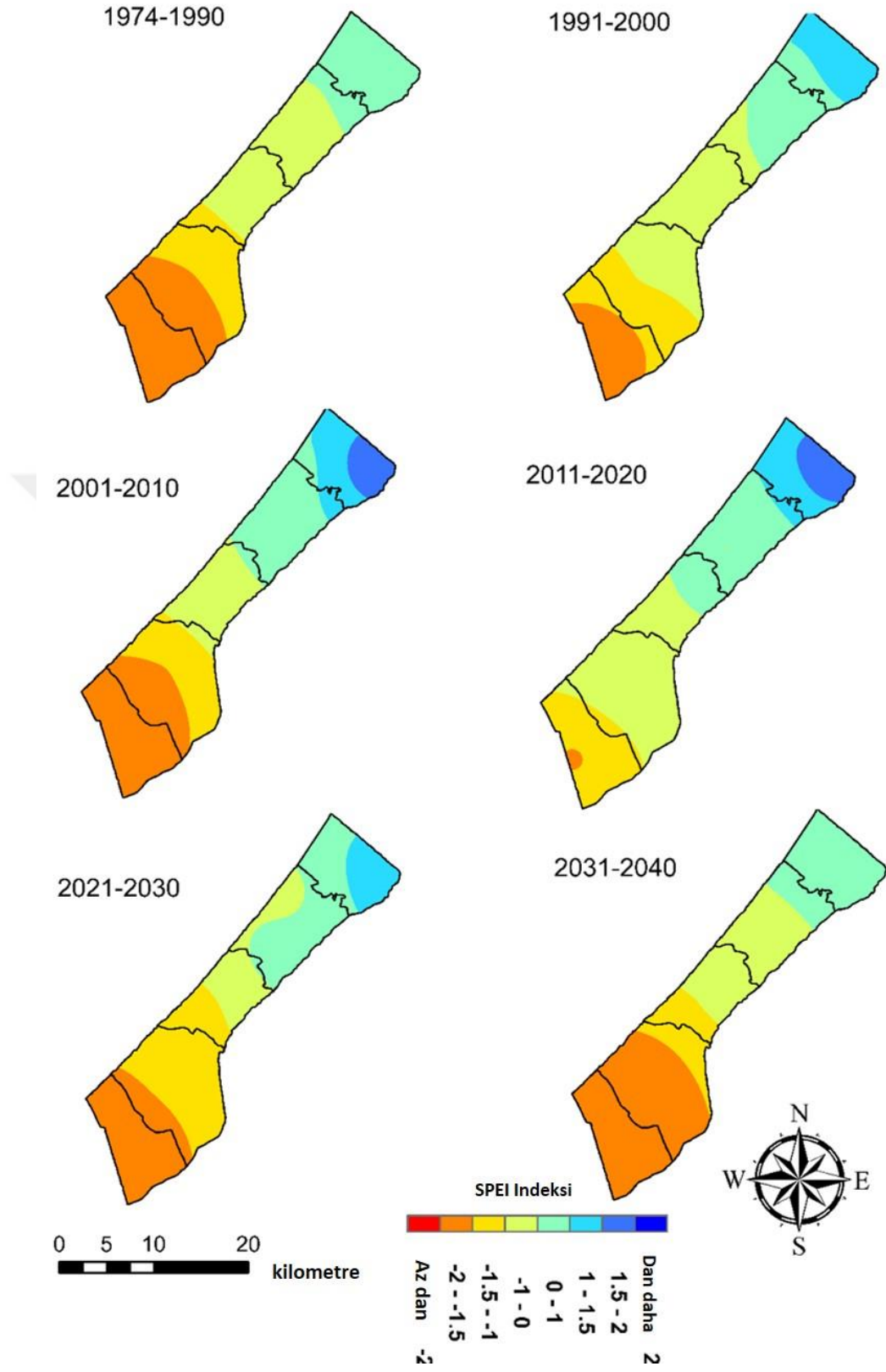
2.14. Sonuç Tartışması

MENA'nın Doğu Akdeniz ülkelerindeki iklim değişikliğinin sonuçları, yağışlardaki azalmaya kıyasla sıcaklıktaki artışla çarpıcı biçimde ortaya çıkmaktadır. SPEI kuraklık

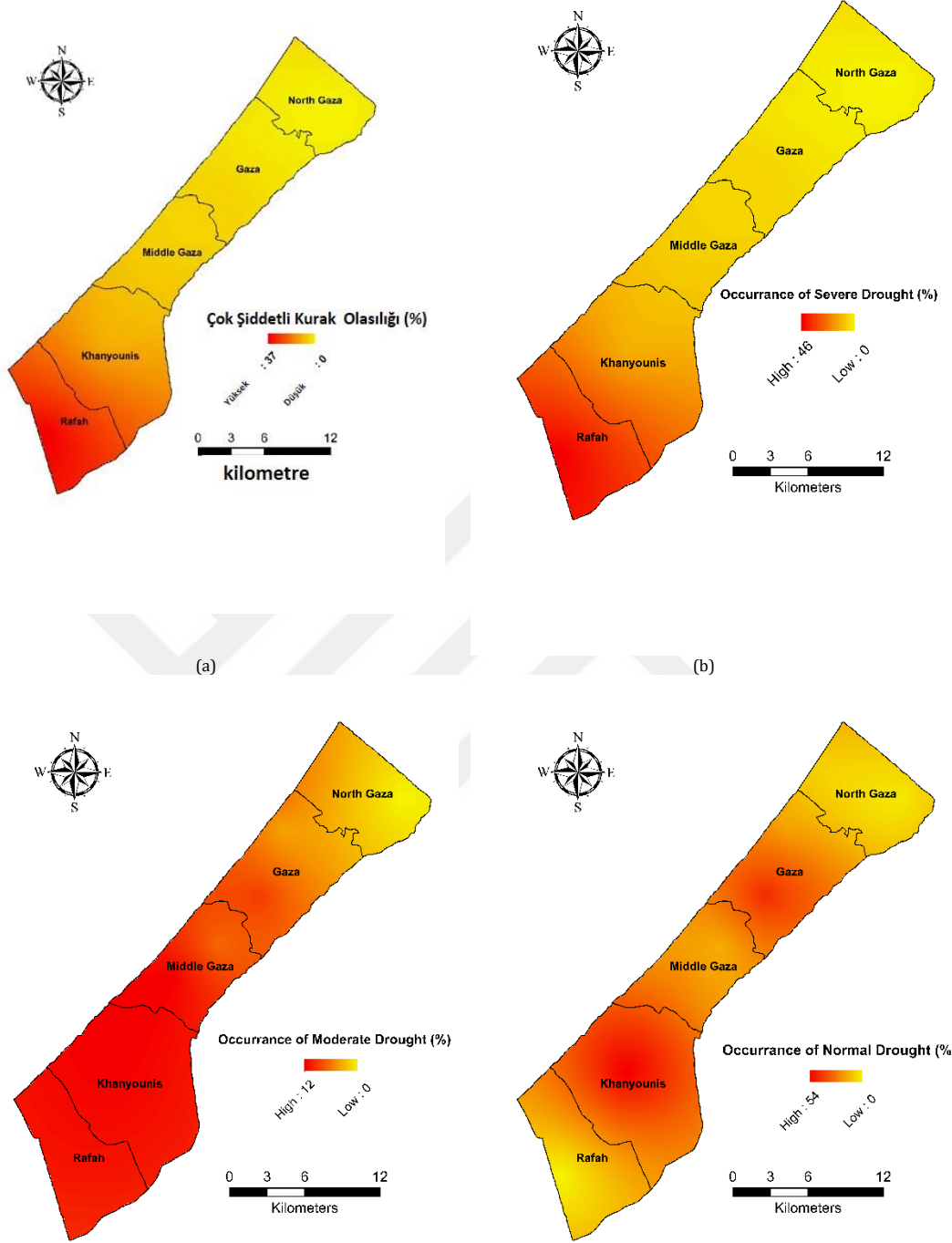
indeksinin analizi, Doğu Akdeniz'deki kuraklık durumunun son 50 yılda ıslaktan şiddetli kuraklığa kaydığını göstermektedir. Ayrıca, kuraklık vakasının mevcut olasılığı, 1970'lerdeki olasılığın üç katıdır. Bölgesel düzeyde, Gazze Şeridi bölgesi %80'den fazla bir olasılıkla şiddetli kuraklıkla karşı karşıya kalmaktadır. Zayıf olasılıklar ve iklim izleme programları nedeniyle gerçek saha ölçümlerinin olmaması, Gazze Şeridi'ndeki kuraklık durumu için ayrıntılı beklentiler sağlamanın önünde büyük bir engeldir. Gazze Şeridi'ndeki yerel kuraklık koşulları hakkında araştırma çalışmalarının azlığı nedeniyle, bu çalışma önümüzdeki 20 yılın değerlendirmesiyle birlikte son 46 yılda sistematik bir kuraklık değerlendirmesi yapmak için yağışla ilgili mevcut verileri kullanmıştır. Stokastik zaman serisi modellerinin yeteneği kullanılarak, yağış zaman serileri, %93-97 kalibrasyon doğruluğu ve bir kalibrasyon doğruluğu gösteren $(4,0,1)$ $(5,1,1)_{12}$ stokastik mevsimsel ARIMA modeli kullanılarak sunulmuştur. %92-99 gelecek tahmin doğruluğu. Kalibre edilmiş mevsimsel ARIMA modellerine dayalı olarak, yağış verileri 2040 yıllarına kadar genişletilmiştir. Geçmişteki ve gelecekteki yağışlardan oluşturulan zaman serileri için trend analizi, yağış modelinin Beit Hanon, Beit Lahia, Shati ve Remal gibi kuzey ilçelerinde zaman çerçevesi boyunca nispeten tutarlı olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, güneydeki Muğraka, Nussirat, Deir Al-Balah, Khanyounis ve Refah ilçelerinden yağış düzeninde azalma eğilimi göstermektedir ve buda Gazze Şeridi'nin güney kısımlarının iklim koşullarında daha fazla kuraklık yaşadığını doğrulamaktadır. Daha spesifik olarak, dokuz meteoroloji istasyonunun her birinde tasarlanan yıllık SPI_{12} , yağış eşik değerinin Gazze Şeridi'nin kuzeyinden güneyine doğru belirgin bir şekilde azaldığını göstermektedir. Kuraklık ve yağışsız koşulların yani $SPI=0$ yağış değerleri olan yıllık yağış eşik seviyeleri meteoroloji istasyonlarında sırasıyla Beit Hanon, Beit Lahia, Shati, Ramal, Muğraka, Nussirat, Deir Al-Balah, Khanyounis ve Refah 474, 440, 390, 403, 358, 366, 340, 315 ve 250 mm olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, kuraklık değerlendirme araştırmalarının karşılaştırmasını birleştirmek için, Gazze Şeridi'ndeki yerel kuraklık koşullarını temsil edecek bir temel karşılaştırmalı çalışma sağlamak üzere birleşik bir yerel SPI ölçeği oluşturulmuştur. Yerel SPI ölçeği, sıfır SPI_{12} 'de kuraklık durumunu gösteren 370 mm'lik bir yıllık yağış eşik seviyesinde kurulmuştur. Şekil 2.11.'de haritalanan zamansal ve mekansal kuraklık değerlendirmeleri, Gazze Şeridi'nin önceki dönemlerde ciddi şekilde gelişen kuraklık dalgalarıyla karşı karşıya

olduğunu doğrulamaktadır. Zamansal değerlendirme, kuraklık koşullarının zaman içinde eliptik bir düzende dağıldığını ve mekansal dağılım, bu istasyonlardaki yağışların ortalamanın altında olması nedeniyle güneydeki Khanyounis ve Refah ilçelerinde çoğu zaman aşırı kuraklık altında olduğunu göstermektedir; 1974, 1992 ve 2016 yılları su açısından en müreffeh yıllar olmuştur. Ancak 1980, 1998 ve 2010 yılları en verimsiz yıllar olmuştur. Ortalama olarak, önümüzdeki 20 yılın kuraklık koşulları, yılda 230 mm'den az yağış miktarıyla Refah ve Khanyounis'te şiddetli olacaktır. Gazze'nin merkezinde ve Gazze'de, yıllık 230-265 mm yağışla orta derecede kuraklık hakimdir. Gazze Şeridi'nin kuzey bölgesinin, yıllık yaklaşık 300-370 mm yağışla orta ila normal kuraklıkla karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir. Şekil 2.12.'de gösterilen olasılık analizi, Gazze Şeridi bölgesinin kuzeyde %8'den güneyde %100'e kadar değişen olası bir insidans oranıyla kuraklık durumu riski taşıdığını göstermektedir. Gazze Şeridi'nin kuzey kısımları, çoğunlukla belirtilen ortalama 370 mm'lik yağış seviyesinin üzerinde yağış seviyelerine sahiptir ve bu düşük bir oranda kuraklık oluşumu sağlamaktadır. Ancak Gazze Şeridi'nin güney kesimlerinde yağışlar ortalama yağışların neredeyse altında kalmaktadır ve bu da bu bölgede kalıcı kuraklığa neden olmaktadır. Daha spesifik olarak, normal kuraklık kuzey ilçelerinde yaygın olan kuraklıktır, ancak aşırı ve şiddetli kuraklığın tehlikeli potansiyeli güney ilçelerinde yaklaşık %83'lük bir insidans riski ile yüksektir. Sırayla, güneydeki Refah ve Khanyouni vilayetleri kronik bir yıllık kuraklık yaşarken, Şekil 2.13'te gösterildiği gibi, Gazze Şeridi'nin kuzey ilçelerinde kuraklığın geri döndüğü dönemin her dokuz ile 12 yılda bir olduğunu göstermektedir. Arazinin %50'si her yıl kronik kuraklık olayları yaşarken, Gazze Şeridi'nin yüzde 28'i her iki ile üç yılda bir kuraklık koşullarıyla karşı karşıya kalabilmektedir. Bu bağlamda arazinin geri kalan %22'si 3-12 yıllık bir geri dönüş süresi ile kuraklığa maruz kalmaktadır. Devam eden ve geleceğe yönelik kuraklık projeksiyonları, beslenme sürecinde düşüş yaşayan ve iç kullanım için aşırı tüketilen Gazze Şeridi'ndeki tek mevcut kıyı akifer su kaynağını sürdürmek için acil azaltım ve müdahale önlemlerinin alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık, PWA Gazze Şeridi'ndeki yaşam kalitesini korumak için suya müdahale stratejileri önermektedir. PWA, Gazze Şeridi'ndeki mevcut kısa vadeli düşük hacimli deniz suyu tuzdan arındırma tesisleriyle birlikte işletilecek büyük ölçekli bir deniz suyu tuzdan arındırma tesisinin uygulanmasını önermektedir. Küçük

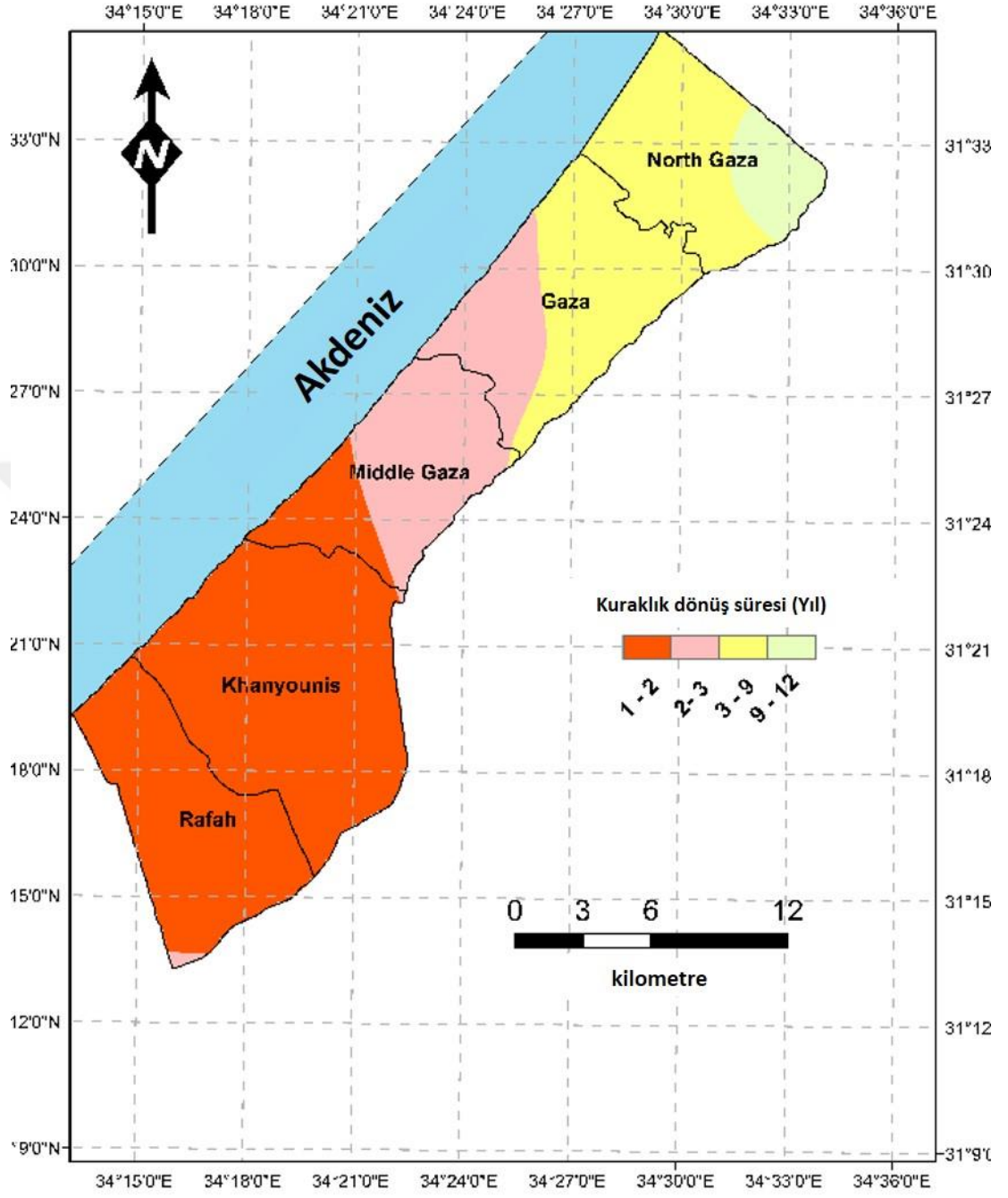
ölçekli deniz suyunu tuzdan arındırma tesisleri, Gazze Şeridi'ndeki toplam su ihtiyacının yaklaşık %7'sini karşılamaktadır. Buna ek olarak, Gazze'deki büyük ölçekli merkezi deniz suyu arıtma tesisinin ilk aşamasında 55 milyon m³ su sağlaması ve önümüzdeki 20 yıl boyunca yaklaşık 110 milyon m³ tam işletme kapasitesi sağlaması beklenmektedir ve buda su durumunu iyileştireceği öngörülmektedir. İyileştirme sonucunda toplam su ihtiyacının yaklaşık %60'ını karşılanacaktır. Ayrıca, atık suyun su döngüsünde yeni bir su kaynağı olarak yeniden kullanılması potansiyeli, kuraklığın yeraltı suyu sürdürülebilirliği üzerindeki etkisini gidermek için kıyı akiferinin yenilenmesinde bu kaynaklardan yararlanmak için atık su ıslah projelerini uygulama istekliliğine doğru PWA'nın dikkatini çekmektedir. Tarım alanında, PWA akiferi keyfi olarak kullanan tüm yasadışı tarım kuyularının kapatılmasına yönelik bir plan sunmuş ve çiftçilerin geri kazanılan atık suları güvenli bir şekilde sulanan ürünlerde kullanmalarını sağlamak için yeni sulama sistemleri benimsenmiştir. Ekonomik olarak, kuraklığın birim başına su fiyatını artırması beklenmektedir; bu nedenle olası su kaynakları, esas olarak, yeni varlıkların inşasında ulusal yatırımlara ihtiyaç duyan geleneksel olmayan su kaynaklarına bağlı olacaktır. Çevresel olarak, Gazze Şeridi'ndeki kuraklığın çevre üzerinde gerçek etkileri olacaktır ve bu, çevrenin kalitesini izlemek için bir çevresel izleme programı oluşturma ihtiyacını vurgulamaktadır. Deniz suyunu tuzdan arındırma projelerinin inşası ve atık su ıslah projelerinin işletilmesi, küresel ısınmayı artıran ve küresel sıcaklıkları yükselten çevredeki sera gazı emisyonlarının artışının doğrudan bir yansımasıdır.



Şekil 2.11. 1974-2040 yılları arasında kuraklık yayılımı



Şekil 2.12. (a) Aşırı, (b) Şiddetli, (c) Orta ve (d) Normal kuraklıklar için kuraklık oluşma olasılığı.



Şekil 2.13. Kuraklık dönüş süreleri

BÖLÜM 3. YERALTI SUYU MODELLEME

3.1. Giriş

Akiferlerde bulunan tatlı su, dünyadaki mevcut tatlı suyun yaklaşık %98'inden fazlasını oluşturmaktadır ve küresel su talebinin %33'ünden fazlası yeraltı suyu kuyularından sağlanmaktadır (Anderson 2017; Clifton ve ark. 2010; Moreaux ve Reynaud 2006). Çıkarılan yeraltı suyunun yaklaşık %43'ü, ekili çiftliklerin yaklaşık %38'ini sulamak için tarımsal amaçlar için kullanılmaktadır (FAO 2010; Siebert ve ark. 2010). Özellikle Orta Doğu ve Kuzey Afrika'daki (MENA) kurak ve yarı kurak bölgeler, su kaynaklarının kesinlikle yeraltı suyu kaynaklarıyla sınırlı olduğu ve yeraltı suyu pompalama uygulamalarının evsel amaçlar için ana kaynağı oluşturduğu ciddi bir su temini sorunuyla karşı karşıya ve tarımsal su kaynaklarıdır (Hussain ve ark. 2019; Doğrul ve ark. 2016; Fedoroff ve ark. 2010; Alcamo ve ark. 2007). Kıyı akiferleri, MENA'nın Akdeniz bölgelerindeki ana su depolarıdır ve bu akiferler, su tablasındaki önemli düşüş ve bunun karşılığında geri dönüşü olmayan ekonomik kayıplara ve gıda güvenliğine ciddi bir tehdit oluşturan uzun süreli tuzlanma ile kanıtlanan ciddi bir aşırı kullanım evresi sergilemektedir (Hussain ve ark. 2019; Zekri ve ark. 2017; Ye ve ark. 2015). İklim değişiklikleri ve antropojenik faaliyetler, yeraltı suyu seviyesinin sürekli olarak düşmesine neden olan yeraltı suyunun sürdürülebilir şekilde yenilenmesini olumsuz yönde etkilerdir (Gopalakrishnan ve ark. 2019; Otkin ve ark. 2018; Schiermeier 2018). Bu perspektifte, yeraltı suyu yönetimi ve planlaması, yeraltı suyu kaynaklarını sürdürülebilir bir şekilde korumak için etkili azaltma stratejileri ve verimli yönetim politikaları geliştirmek için yeraltı suyu seviyesi değişkenliğini izlemek için kritik bir zorluk haline gelmiştir (Karimi ve ark. 2019; Ye ve ark. 2015; Yan ve Burbey 2008; Galloway ve Burbey 2011). Yeraltı suyu modelleri, yeraltı suyunun dinamik davranışını simüle etmek ve yeraltı suyu sistemlerindeki yapay veya doğal değişiklikleri tahmin etmek ve tahmin etmek için çeşitli şekillerde geliştirilmiş ve uygulanmıştır (Gladden ve Park 2016; Thangarajan ve Singh 2016;

Singh 2014a; Butler ve ark. 2013). Fiziksel ve sayısal modeller, yeraltı suyu akışını simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Singh 2014b; Yeh ve Chang 2013; Lin ve ark. 2009; Narayan ve ark. 2007; Shammass ve Jacks 2007). Bu tür modeller, incelenen sistemin fiziksel özelliklerinin kapsamlı bir tanımını gerektirdiğinden büyük sınırlamalar ve eksiklikler gösterir (Djurovic ve ark. 2015). Bununla birlikte, veriye dayalı parametrik modeller, çeşitli su tablası senaryolarını simüle etmek veya özellikle hidrojeolojik parametreler hakkında sınırlı bilgi sahibi olunan durumlarda uzun süreli gözlemleri yeniden üretmek için fiziksel ve sayısal modellere yetkin bir alternatif göstermektedir (Djurovic ve ark. 2015). İstatistiksel modeller, gelecekteki karar verme amaçları için yeraltı suyu seviyesinin uzun vadeli zaman serisi verilerini simüle etmek için yaygın olarak geliştirilen veriye dayalı modellerin yaygın bir türüdür (Yan ve Ma 2016). Stokastik modeller, yeraltı suyu gözlemlerinin eksik ve gelecekteki verilerini tahmin etmek ve tahmin etmek için kullanılan en popüler istatistiksel model türüdür (Zhou ve ark. 2017; Mirzavand ve Ghazavi 2015; Mogaji ve ark. 2015; Patle ve ark. 2015; Sahoo ve Jha 2013; Adamowski ve ark. 2012). Yapay zeka (AI) teknikleri, yeraltı suyu seviyesi ve diğer ilgili iklim parametreleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri verimli bir şekilde yakalama yeteneğine sahip akıllı veri odaklı yöntemlerdir. Yapay zeka tekniklerinin karmaşık problemleri çözmedeki mekanizması, insan beyninin sinir ağları aracılığıyla taşınan duyuya dayalı fiziksel eylemlere yanıt veren davranışından kaynaklanmaktadır (Emamgholizadeh ve ark. 2014; May ve Sivakumar 2009; Chen ve ark. 2008; Krishna ve ark. 2008). Uygulanabilirlik açısından, Yapay Sinir Ağları (YSA), yeraltı suyu modelleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan AI algoritmaları arasında en umut verici ve rekabetçi algoritmadır (Ebrahimi ve Rajaei 2017; Chang ve ark. 2016). Yeraltı suyu çalışmalarında YSA modellerinin gücü, su politikalarının ve müdahale planlarının sürdürülebilirlik ve yeraltı suyu kaynaklarının geri kazanılması üzerindeki etkisini incelemek için yeraltı suyu yönetim araçları olarak avantajlarına atıfta bulunmuştur (Mohanty ve ark. 2010; Trichakis ve ark. 2009; Krishna ve ark. 2008). Bu çalışmanın temel amacı, Gazze kıyı akiferinin yeraltı suyu seviyesindeki dalgalanmaları simüle etmek ve bu dalgalanmaları mekansal ve zamansal olarak temsil etmek için hibrit bir stokastik-YSA modeli entegre ederek yeraltı suyunun yeraltı suyuna tepkisinin izlenmesinde kullanılacaktır. Gazze

Şeridi'ndeki su yönetimi yetkilileri tarafından planlanan su yönetimi müdahaleleri yapılmıştır.

3.2. Stokastik Zaman Serisi Modelleri

Stokastik zaman serisi modelleri, geçmişin davranışına dayalı olarak geleceği tahmin etmek için sağlam tahminciler olarak tanımlanmaktadır. Zaman serileri seri bağımlıdır ve bu özellik gözlemlerde kalıtımı kesmek için uygun bir modelin kurulmasını sağlamaktadır. Stokastik zaman serisi modelleri, tek bir değişkeni farklı periyotlarda kendi üzerine regrese ederek otoregresyon kavramına göre üretilmektedir. Denklem 2.9'da matematiksel olarak açıklanan stokastik otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) modelleri, farklı doğal fenomenlerin şeklini tanımlamak için yaygın olarak kullanılan Box Jenkins modelleridir (Sharma ve ark. 2019; Polyak 1996; Tong 1990; Kottegoda 1980; Box ve Jenkins 1976). Genelleştirilmiş bir biçimde, Denklem 2.10'da gösterilen matematiksel terimler, aşağıdaki biçimde yazılan mevsimsel ARIMA modelinin $(p,d,q)(P,D,Q)s$ kapsamlı biçimini göstermektedir (Shahin ve Ark.1993). Stokastik ARIMA modelinin parametreleri, Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF), Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu (PACF) ve güç spektrumunun (Al-Najjar ve ark. 2020; Kumbuyo ve ark. 2014; Box ve ark. 2008; Chatfield 2003; Kottegoda 1980; Kashyap ve Rao 1976; Koopmans 1974; Box ve Jenkins 1970). Stokastik ARIMA modelleri, su kaynakları yönetimi uygulamalarında, özellikle hidrolojik akış akışlarını, yeraltı suyu seviyesi dalgalanmalarını ve kuraklık modellerini modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Al-Najjar 2020; Sakizadeh ve ark. 2019; Myronidis ve ark. 2018; Takafuji ve ark. 2018; Djerbouai ve Souag-Gamane 2016; Khorasani ve ark. 2016; Bazrafshan ve ark 2015; Mirzavand ve Ghazavi 2015).

3.3. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modelleri

Diğer yapay zeka teknikleri arasında YSA yaklaşımlarının önemi, su kaynakları yönetimi çalışmalarında yaygın olarak rapor edilmektedir, çünkü bu yaklaşımlar girdi değişkenlerinin belirli veya ayrıntılı bir tanımına bağlı değildir, daha ziyade bu yöntemler girdiler arasındaki ilişkilere dayalı ilgili eğilimleri tanımlar. ve eğitim sürecindeki çıktılar (Sun ve Ark.2016). YSA'lar, eğitim verileri üzerinde duran bir

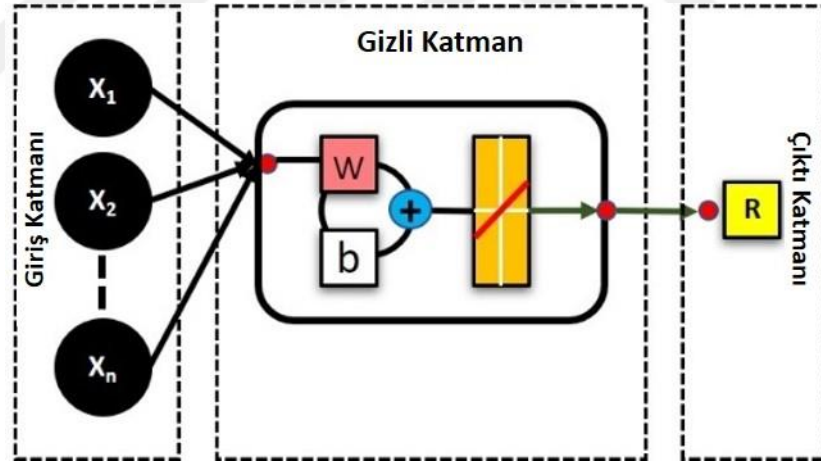
öğrenme ve istihbarat sistemidir. YSA'lar insan beyninin işleme, öğrenme, ezberleme ve genelleme sürecini taklit eder (Afan ve ve diğerleri 2 015). YSA'lar, Denklem 3.1'ta gösterildiği gibi girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasında genel bir ilişki sağlamayı amaçlardır.

$$Y_n = f(x_n) \quad (3.1)$$

Burada;

X_n : değişkenlerin giriş vektörü ve
 Y_n : yanıt değişkenlerinin çıktı vektörü.

YSA'lar, yapay ağıın bilgi işlem bileşenlerini gösteren Şekil 3.1.'de gösterilen bir dizi düğüm veya nörondan oluşmaktadır. Nöron, önceki nörondan taşınan sinyali nöronların çıkış katmanına doğru alır, işler ve aktarmaktadır.



Şekil 3.1. Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Yapısı

YSA mimarisi, ağıın işleme ve sinyal iletimindeki yetkinliğini göstermede kilit bir role sahiptir. Şekil 3.1.'de gösterilen tek bir gizli katmana sahip çok katmanlı ileri beslemeli algılayıcı (MLP) ağı, yeraltı suyu seviyelerinin modellenmesi için evrensel bir tahmin edici olarak geniş çapta tavsiye edilmektedir (Sahoo ve Jha 2013; Bishop 1995). Lojistik sigmoid işlevi, bir düğümün sinyalini alınan toplam giriş sinyaline aktarmak için kullanılan en yaygın aktivasyon işlevidir (Haykin 2009). YSA modelinin çıktı yanıtı ve aktivasyon fonksiyonu Denklem 3.2 ve Denklem 3.4'te ifade edilmiştir:

$$y_k = \sum_{j=1}^l w_{jk} z_j + b_j \quad (3.2)$$

$$\varphi \left(\sum_{j=1}^l w_{jk} z_j + b_j \right) = \frac{1}{1 + e^{-(\sum_{j=1}^l w_{jk} z_j + b_j)}} \quad (3.3)$$

Burada;

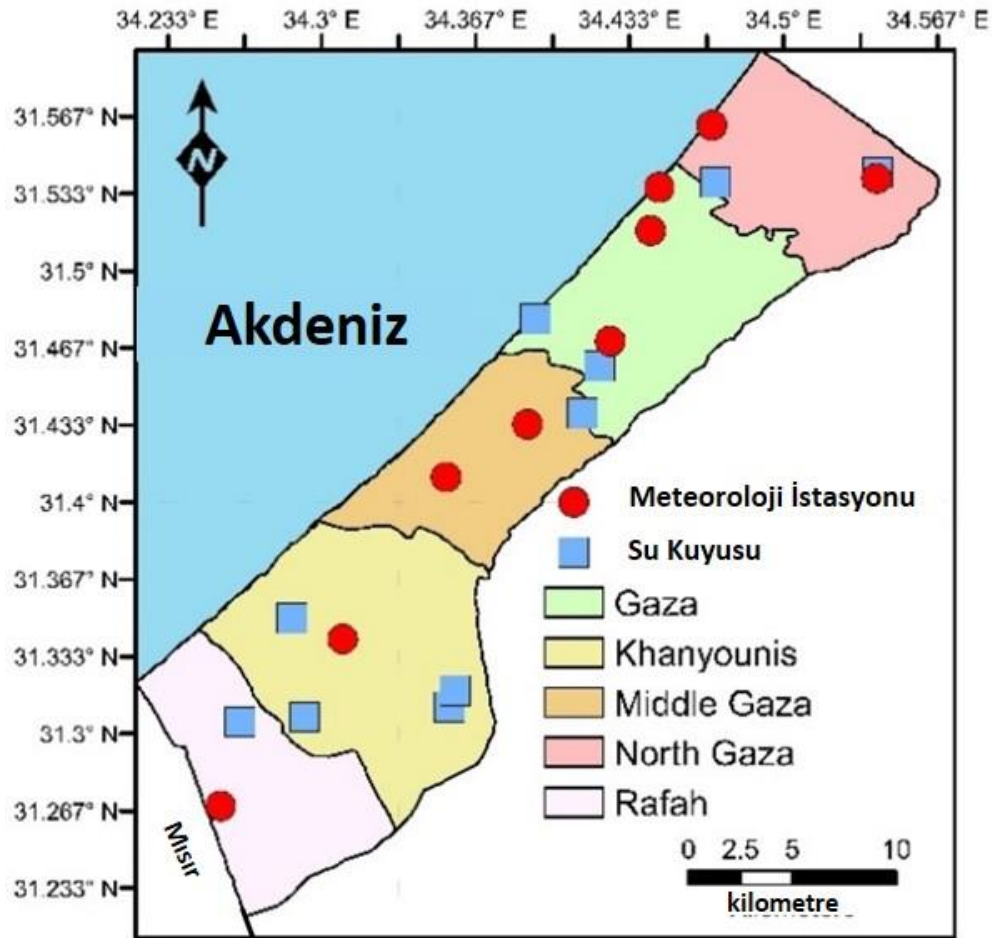
w_{jk} : gizli katmanın j. düğümü ile çıkış düğümü k arasındaki bağlantı ağırlığı;
 z_j : giriş verilerinden kaynaklanan j. gizli nöronun çıktısı ve
 b_j : bias terimi için bağlantı ağırlığı.

Literatürde birçok araştırmacı, yapay zekanın hidroloji ve su kaynakları yönetimi ile yeraltı suyu seviyesi modellemesi için yeteneğini göstermiştir (Tang ve ark. 2019; Ghose ve ark. 2018; Guzman ve ark. 2018; Kouziokas ve ark. 2018; Lee ve ark. 2018; Rakhshandehroo ve ark. 2018; Yu ve ark. 2018; Barzegar ve ark. 2017; Ebrahimi ve Rajaei 2017; Wen ve ark. 2017; Gong ve ark. 2016; Nourani ve Mousavi 2016; Sun ve ark. 2016; Yoon ve ark. 2016; Juan ve ark. 2015; Khaki ve ark. 2015; Khalil ve ark. 2015; Mohanty ve ark. 2015; Nourani ve ark. 2015; Yang ve ark. 2015; Emamgholizadeh ve ark. 2014; He ve ark. 2014; Tapoglou ve ark. 2014; Ying ve ark. 2014; Moosavi ve ark. 2013; Sahoo ve Jha 2013; Shirmohammadi ve ark. 2013; Rakhshandehroo ve ark. 2012; Taormina ve ark. 2012; Adamowski ve Chan 2011; Chen ve ark. 2011; Jalalkamali ve ark. 2011; Nourani ve ark. 2011; Trichakis ve ark. 2011; Yoon ve ark. 2011; Maier ve ark. 2010; Mohanty ve ark. 2010).

3.4. Gazze Şeridinde Su Kaynağı ve Kuruluk Dayanımı

Gazze Şeridi (Şekil 3.2.), Akdeniz'in güneydoğu kıyısında 365 km²'lik bir alanı kapsayan, 42 km'lik bir genişliğe ve 6 ila 12 km arasında değişen bir genişliğe sahip kıyı şerididir. Gazze Şeridi, yaklaşık 2 milyon nüfusludur dünyanın en yüksek nüfuslu bölgelerinden biri olarak kategorize edilmiştir (PCBS 2020). Birçok kuruluş Gazze Şeridi'ndeki mevcut durumu, su temini için tek erişilebilir kaynak olan Kıyı Akiferinin aşırı derecede kirlendiği ve kronik bozulma koşullarından muzdarip olduğu ciddi bir

insani kriz olarak tanımlamaktadır (PWA 2014). Gazze Kıyı Akiferinden çıkarılan toplam su, akiferin her yıl sürdürülebilir bir şekilde üretebileceği miktarın, yani yılda 55 milyon metreküpün yaklaşık dört katı kadar rapor edilmektedir (PWA 2015; PWA 2014; PWA 2013; PWA 2012; PWA 2011). İklimsel kuraklık, Kıyı Akiferinin kırılganlığını ve tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkileyen iklim değişikliği sonuçları nedeniyle Gazze Şeridi'nde önemli bir oluşum şekline sahiptir. 1970'lerde son on yılda %80'in üzerine çıkmıştır (Al-Najjar 2020). Kuraklık durumundaki sıçrama, yağıştaki azalmaya ve sıcaklık artışlarına bağlı olarak buharlaşma artışına neden olur. Genel olarak, Gazze Şeridi'ndeki yıllık ortalama toplam yağış miktarı tipik olarak yaklaşık 370 mm'dir. İklim modelleri yağış miktarının azaldığını ve kuraklığın yerel ölçekte küçülmesi, güney Gazze Şeridi valiliklerinin uzun süreli kuraklık içinde olduğunu, kuzey bölgelerinin ise her 9-12 yılda bir kuraklık yaşadığını göstermektedir (Al-Najjar 2020).



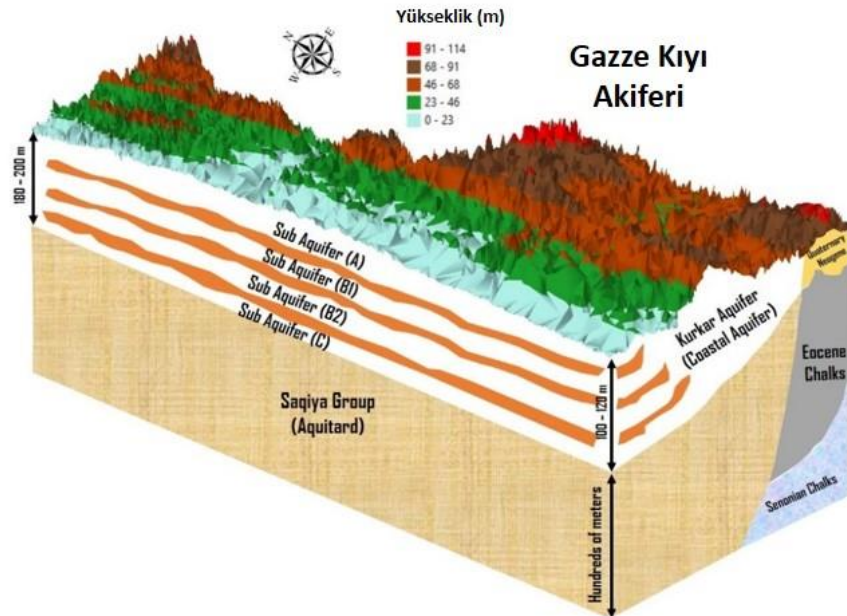
Şekil 3.2. Gazze Şeridi'nin Coğrafi Konumu

İklim değışikliği ve kuraklık tehditlerinin etkilerine yanıt olarak, Filistin Su Otoritesi (PWA), Gazze Şeridi'ndeki su kaynakları kıtlığıyla başa çıkmak için su yönetimi planlarını ve azaltma önlemlerini kabul etmiştir. Müdahale yönetim planlarının, her yıl 13 milyon metreküp su sağlamak için üç deniz suyu tuzdan arındırma tesisinin geliştirilmesi yoluyla, önümüzdeki yirmi yıl içinde Kıyı Akiferinden su çekilmesini yaklaşık %35-60 oranında azaltması önerildi. yılda 110-120 milyon metreküp sağlayacak büyük ölçekli bir deniz suyu tuzdan arındırma tesisidir (Abualtayef ve Ark.2016; PWA 2014; UfM 2014; PWA 2011). Buna paralel olarak, PWA, tarım sektörünü sulama için yaklaşık 75 milyon metreküp arıtılmış su ile desteklemek ve kuraklık etkisiyle başa çıkmak ve aynı zamanda azalmayı azaltmak için üç büyük ölçekli atık su arıtma tesisi inşa etmek için uzun vadeli bir stratejik plan benimsemiştir. 2032 yılına kadar kıyı akiferinden yeraltı suyu çekimi yılda 180 ila 70 milyon metreküp arasında yaklaşık %50 oranındadır (Abualtayef ve diğerleri 2020; PWA 2014; 2013; 2011).

3.5. Gazze Kıyı Akiferinin Hidrojeolojisi

Gazze Şeridi'nin Kıyı Akiferi, Filistin'deki Hayfa'nın kuzeyinden Mısır Sina çölüne kadar uzanan daha büyük Kıyı Akiferinin bir parçasıdır. Akdeniz ortamında Kuvaterner Pleistosen ve Holosen çağlarında şekillenen Gazze Kıyı Akiferinin jeolojik oluşumu kalkerli kumtaşı, kum tepeleri, silt, kil ve çakıldan oluşmaktadır (Abu-alnaeem ve ark. 2018). Şekil 3.3.'te gösterildiği gibi, Gazze Şeridi kıyısına yakın bir yerde, Kurkar Grubu stratigrafisi, akiferi deniz kili katmanlarıyla ayrılmış dört alt akifere (A, B1, B2 ve C) bölünmüş (Mushtaha ve Walraevens 2018). Kıyı Akiferinin akitard, Gazze Şeridi'nin doğusuna doğru kıyıdan yaklaşık 10-15 km kadar uzanır, marn, deniz şeylleri ve kil taşlarından oluşan, geçirimsiz ve çok kalın bir Saqiya Grubu tabakasıdır. Kıyı akiferinin doymuş tabakası kıyıya yakın yaklaşık 180-200 metre inceliğe sahiptir ve Gazze Şeridi'nin doğu sınırı boyunca yaklaşık 40-10 metre kalınlığa kadar daralır (Vengosh ve ark. 2005; PWA 2000). Gazze Kıyı Akiferinin hidrokimyasal süreçleri, antropojenik faaliyetlerden ve deniz suyu müdahalesinden büyük ölçüde etkilenir (Seyam ve ark. 2020; Abu-alnaeem ve ark. 2018; Mushtaha ve Walraevens 2018; Dentoni ve ark. 2014; Qahman ve Larabi 2006). Gazze Kıyı Akiferinin yeraltı suyu, bikarbonat (HCO^{-3}) formunda karbonat minerallerinin

çözünmesinin varlığı nedeniyle, pH değeri 6.7 ila 8.3 arasında değişen, alkalilik durumuna hafif bir eğilim ile genel olarak nötrdür. Elektriksel iletkenlik (EC) 597-30.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında olup, toplam çözünmüş katılar (TDS) için kaydedilen değerlerin 370 -18.848 mg/L aralığında olduğunu gösterir. Yeraltı suyunda klor (Cl^-), sodyum (Na^+), magnezyum (Mg^{+2}), kalsiyum (Ca^{+2}), potasyum (K^+), (SO_4^{-2}), (HCO_3^-) için tespit edilen iyonların konsantrasyonları, ve (NO_3^-) sırasıyla 78-10,318, 41-5400, 23-665, 25-657, 1.4-155, 8-1604, 101-1280 ve 18-496 mg/l (Abu-alnaeem ve Ark.2018). Bu nedenle, kalite açısından bakıldığında, Gazze kıyılarındaki akifer yeraltı suyunun %95'inden fazlasının, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre (PWA 2014) üzerinde kabul edilemez derecede yüksek seviyelerde kirlendiği yargısına varılabilir olmuştur. Gazze kıyı akiferinden yapılan yeraltı suyu pompalama operasyonları, Gazze Şeridi'nin her yerine dağıtılan 5000'den fazla kuyudan yılda yaklaşık 180 milyon metreküp su, yılda 55 milyon metreküpün dört katı güvenli verim sağlamaktadır (PWA 2017). Birçok çalışma Gazze kıyı akiferinin durumunu kalite açısından göstermektedir (Seyam ve ark. 2020; Abu-alnaeem ve ark. 2018; Mushtaha ve Walraevens 2018; Zaqoot ve ark. 2018; Alagha ve ark. 2017; Alagha ve ark.. 2014; Dentoni ve ark. 2014; Qahman ve Larabi 2006). Yeraltı suyu seviyesi, yeraltı suyu bütçesini ele almak için ana gösterge olarak sayılır. Yeraltı suyu tablosundaki değişiklik, yeraltı suyunun hidrolojik özelliklerindeki ve akışındaki değişikliği önemli ölçüde yönetmiştir.



Şekil 3.3. Gazze Kıyı Akiferinin Hidrojeolojik Özellikleri

Başka bir deyişle, su seviyesindeki değişim yeraltı suyunun basıncını etkiler ve bu da akiferin yeniden doldurulmasını ve üretim süreçlerini ve ayrıca deniz suyu müdahalesi olayını etkilemiştir. Bu nedenle, yeraltı suyu seviyesinin modelleme çalışmasına yönelik eğilimin arttırılması, mevcut ve gelecekteki yeraltı suyu dengesini yansıtanın yanı sıra su yönetimi müdahalelerinin etkinliğini araştırmak için kullanılabilecek sağlam bir model sağlamak için çok önemlidir.

3.6. Malzemeler ve Yöntemler

Çalışma, iklim değişikliğinin izlerini araştırmayı ve Gazze Kıyı Akiferinin yeraltı suyu seviyesini modellemeyi amaçlıyor. Metodoloji, önümüzdeki 20 yıl boyunca iklim koşullarındaki değişim açısından Gazze Kıyı Akiferinin yeraltı suyu dinamiklerini tanımlayabilen entegre bir yeraltı suyu yönetim modeli oluşturmak için stokastik zaman serisi modellerini ve yapay sinir ağlarını (YSA) birleştirmenin değerine dayanmıştır. Geliştirilen model, Gazze Kıyı Akiferindeki yeraltı suyunun tarihsel ve gelecekteki mekansal ve zamansal dağılımını görselleştiren etkileşimli haritaların üretilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmanın gelecekteki zaman çerçevesi 2020'den 2040'a kadar uzanıyor çünkü Gazze Kıyı Akiferinin sürdürülebilirliği ile başa çıkmak için önerilen yönetim ve müdahale su planlarının önümüzdeki 10-20 yıl içinde faaliyete geçmesi planlanmaktadır.

3.7. Verilerin Toplanması ve Analizi

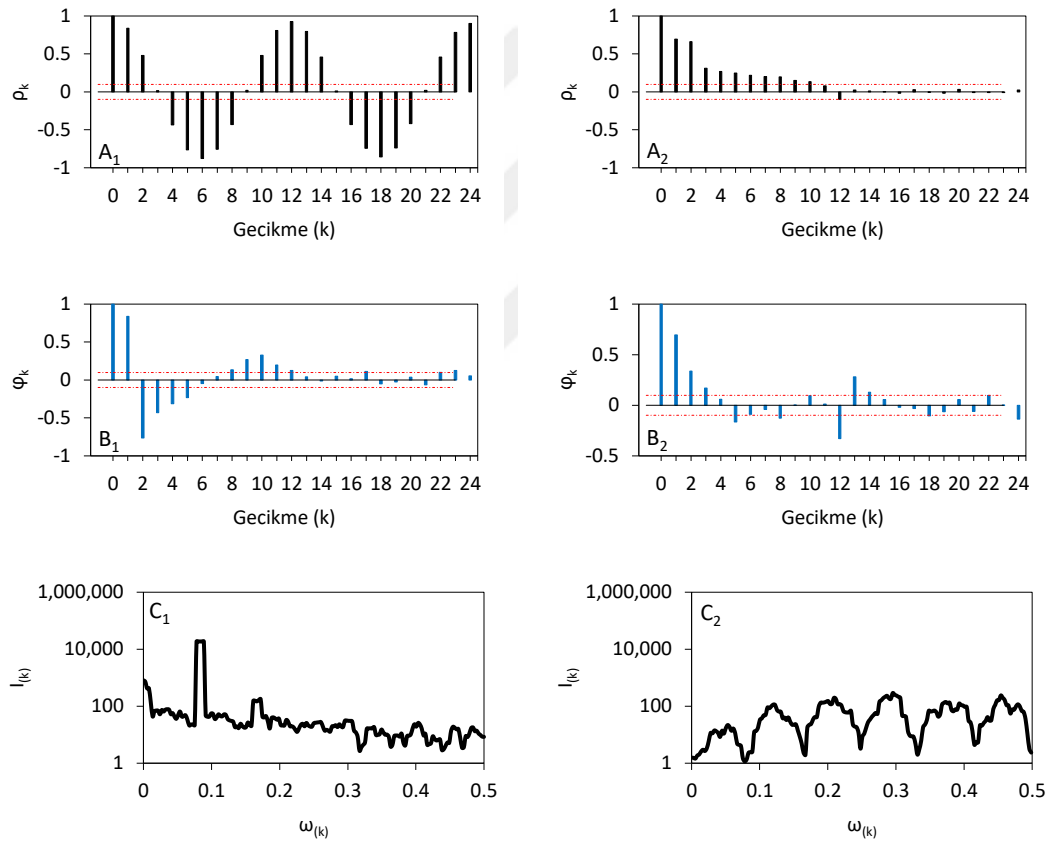
Tarihsel olarak gözlemlenen veriler, tanımlayıcı hidrolojik ve meteorolojik modeller oluşturmak için esastır. Gözlenen veriler, geçmiş koşulların kapsamlı bir göstergesini sunar ve geleceğe ilişkin ileriye dönük eğilimler sağlamaktadır. Bu amaçla, aylık yağış (P), minimum sıcaklık (T_{min}), ortalama sıcaklık (T_{ort}), maksimum sıcaklık (T_{maks}), buharlaşma (E_o), güneş ışığı (S_o) ve nemin iklim parametreleri için mevcut tarihsel kayıtlardır. (H_o) 1974-2016 dönemi için toplandı, tarandı ve Gazze Şeridi üzerinde dağıtılan meteoroloji istasyonları için istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Her il için yeraltı suyu kuyularından yapılan pompalama faaliyetleri 1997-2011 yılları arasındaki mevcut verilerle tanımlanmıştır. Ayrıca, Şekil 3.1.'de gösterilen on yeraltı suyu kuyusu için tarihsel su tablası seviyesi kayıtları, 1974-2018 döneminde toplanan Gazze Kıyı

Akiferinden su seviyesinde ve aşırı çekim aktivitesinde etkili bir değişiklik sergilemektedir. Modellerin oluşturulmasında, gözlemlenen verilerin %90'ı kalibrasyon için, diğer %10'u ise doğrulama ve modelin geleceği tahmin etmedeki performansının test edilmesi için kullanılmıştır.

3.8. Stokastik Zaman Serisi Modelleri

Tarihsel zaman serisi verilerinin eksikliği, Gazze Şeridi'ndeki hidrolojik çalışmaların ilerlemesinin önündeki en önemli engeldir. Bu nedenle, Gazze Şeridi'nin iklim koşullarındaki değişen modeli göstermek ve 2040 yılına kadar Gazze Kıyı Akiferi için mevcut yeraltı suyu çekimi ve yeraltı suyu seviyelerini genişletmek için bu araştırmada stokastik zaman serisi modelleri yapılandırılmış ve kullanılmıştır. İklimsel parametreler ve yeraltı suyu parametreleri için veri zaman serilerinin doğasını değerlendirmek için istatistiksel analiz dili ve Sosyal Bilimler İstatistik Paketi (SPSS) kullanılmıştır. R-istatistiksel analiz dili, vaka çalışmalarının çok sayıda olması nedeniyle iklim çalışmaları amaçları için şiddetle tavsiye edilmiştir. SPSS, sonuçların tutarlılığını doğrulamak için tanıdık ve yerleşik bir araçtır. Zaman serisi verilerinde bulunan bilgiler, Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF), Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu (PACF) ve Güç Spektrumu Fonksiyonunun analizi yoluyla türetilmiştir. Al-Najjar ve diğerleri tarafından önerilen yapının $(4,0,1)$ $(5,1,1)_{12}$ stokastik modeli tarafından üretilen tahmini yağış zaman serisi verileri Gazze Şeridi'ndeki yağış şeklini tanımlamak için bu araştırmada kullanılmıştır. Yağış modeli, Gazze Şeridi'nde yağışların azalan bir zamansal eğilim gösterdiğini ortaya koyuyor ve bu da bölgenin daha fazla kuraklık olayıyla karşı karşıya kalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Düşen model, yaklaşık %-0,26'lık bir yıllık ortalama eğilimle gösterilebilmektedir. Diğer iklim parametreleri için tanımlama temsili stokastik model araştırılmış ve sıcaklık zaman serileri için Şekil 3.4.'te gösterildiği gibi ACF, PACF ve güç spektrumunun gösterilmesine dayalı olarak hazırlanmıştır. Verilerdeki doğallığa göre, zaman serisini daha durağan bir zaman serisine dönüştürmek ve verilerdeki doğal periyodikliği ortadan kaldırmak için birinci mertebeden farklılaşma önerilmektedir. Özetle, Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.'de gösterildiği gibi, yapının $(3,1,2)$ $(2,1,1)_{12}$ stokastik zaman serisi modelinin minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve maksimum sıcaklık şeklini simüle etmesi önerildi. sıcaklık. Ayrıca $(2,1,5)$ $(2,1,1)_{12}$, $(5,1,3)$ $(2,1,3)_{12}$,

(4,1,2) (5,1, 2)₁₂ sırasıyla buharlaşma, güneş ışığı ve nem zaman serilerini gösterecek şekilde yapılandırılmıştır. İklim değişikliği izleme açısından, Şekil 3.5.'de gösterildiği gibi, sıcaklık, bir bölgedeki iklim değişikliği eğilimini karakterize etmede kilit bir rol oluşturmuştur. İklim değişikliğinin etkisi, stokastik modellerin beklentilerine göre, sıcaklıkta her yıl yaklaşık $+0.03$ ila $+0.09^{\circ}\text{C}$ arasında önemli bir artış eğiliminin olduğu Gazze Şeridi'nde dokunulabilmektedir. Bu nedenle, 2040 yılına kadar Gazze Şeridi'ndeki ortalama sıcaklığın kış mevsimlerinde 21°C ve yaz mevsimlerinde 25°C arasında olması ve genel ortalama sıcaklığın yaklaşık 23°C olması beklenmektedir.



Şekil 3.4. (A1, A2) Korelogram; (B1, B2) Kısmi Otokorelasyon; ve (C1, C2) Güç Spektrumu

Tablo 3.1. İklim parametreleri için model mevsimsel olmayan otoregresif (AR) ve hareketli ortalama (MA) parametreleri

Parametre	Model	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_4	Θ_5
Minimum Sıcaklık	$(3,1,2)$ $(2,1,1)_{12}$	0.90	-0.27	0.05	-	-	-1.51	0.51	-	-	-
Ortalama sıcaklık	$(3,1,2)$ $(2,1,1)_{12}$	0.97	-0.22	0.02	-	-	-1.67	0.66	-	-	-
Maksimum Sıcaklık	$(3,1,2)$ $(2,1,1)_{12}$	0.94	-0.17	0.02	-	-	-1.61	0.62	-	-	-
buharlaşıma	$(2,1,5)$ $(2,1,1)_{12}$	-0.13	0.62	-	-	-	-0.56	-0.72	0.43	-0.14	-0.02
Gunes isigi	$(5,1,3)$ $(2,1,3)_{12}$	-1.04	-0.85	0.06	-0.08	-0.07	0.29	-0.04	-0.89	-	-
Nem	$(4,1,2)$ $(5,1,2)_{12}$	-0.83	0.03	0.01	0.09	-	-0.04	-0.88	-	-	-

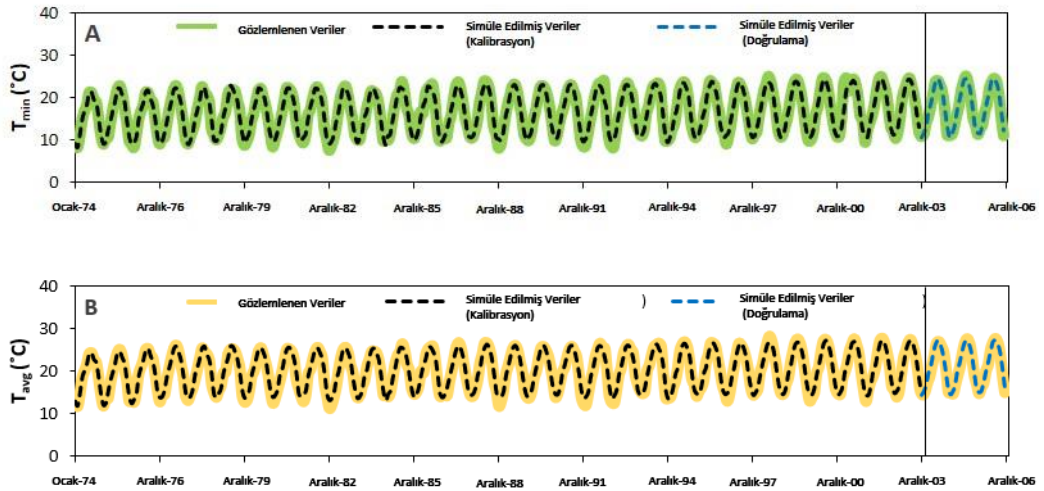
Tablo 3.2. İklim parametreleri için model mevsimsel otoregresif (AR) ve hareketli ortalama (MA) parametreleri

Parametre	Model	Φ_{1s}	Φ_{2s}	Φ_{3s}	Φ_{4s}	Φ_{5s}	Θ_{1s}	Θ_{2s}	Θ_{3s}
Minimum Sıcaklık	$(3,1,2)$ $(2,1,1)_{12}$	-0.05	0.06	-	-	-	-1.00	-	-
Ortalama sıcaklık	$(3,1,2)$ $(2,1,1)_{12}$	-0.07	0.09	-	-	-	-0.97	-	-
Maksimum Sıcaklık	$(3,1,2)$ $(2,1,1)_{12}$	-0.10	0.02	-	-	-	-0.10	-	-

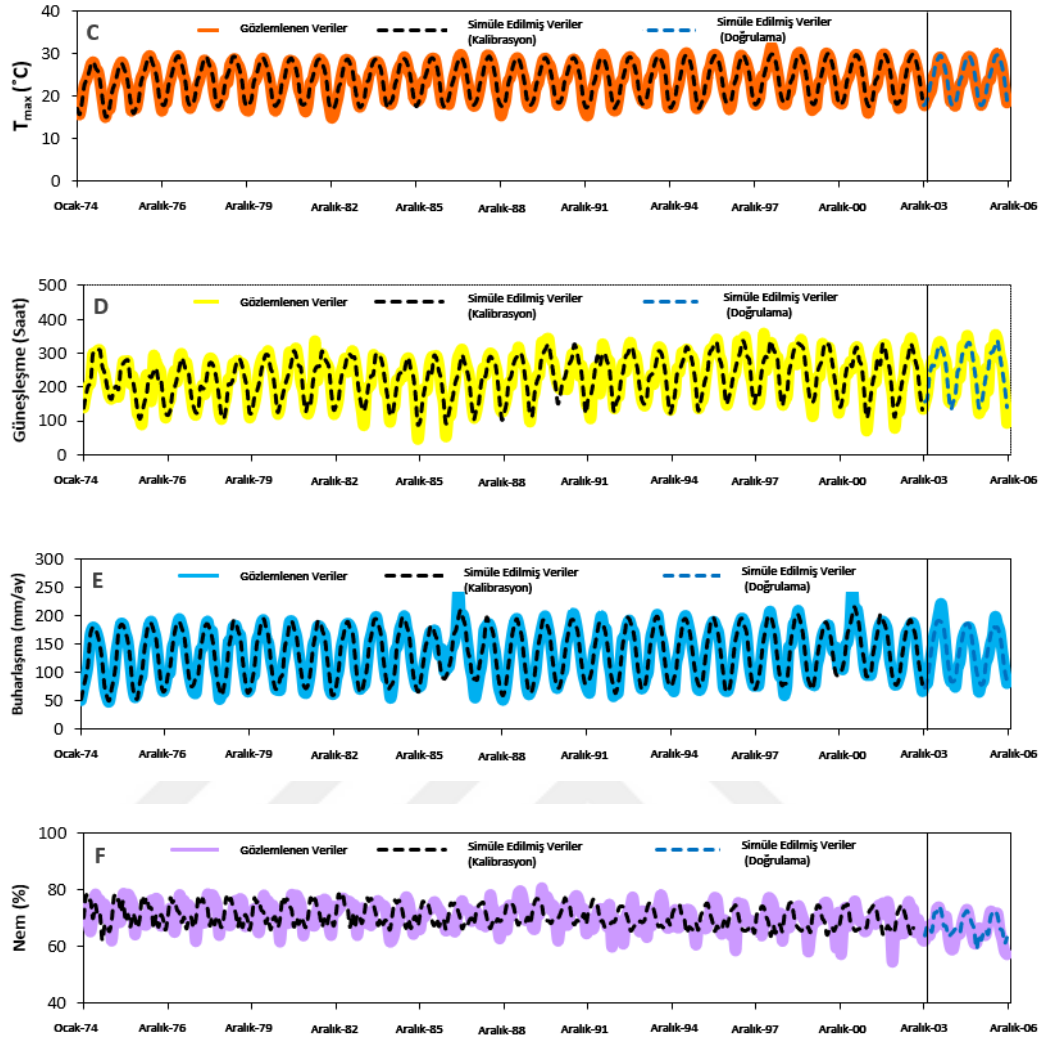
Tablo 3.2. (Devamı)

Parametre	Model	Φ_{1s}	Φ_{2s}	Φ_{3s}	Φ_{4s}	Φ_{5s}	Θ_{1s}	Θ_{2s}	Θ_{3s}
buharlaşıma	$(2,1,5)$ $(2,1,1)_{12}$	0.15	-0.10	-	-	-	-0.92	-	-
Gunes isigi	$(5,1,3)$ $(2,1,3)_{12}$	-0.58	-0.87	-	-	-	-0.43	0.57	-0.91
Nem	$(4,1,2)$ $(5,1,2)_{12}$	-1.02	-0.31	-0.15	-0.12	-0.12	0.06	-0.69	-

Buharlaşıma, güneş ışığı ve nem gibi iklim parametreleri, Gazze Şeridi'ndeki iklim değişikliklerinin eğilimi hakkında somut izleri de yansıtmaktadır. Yıllık güneşlenme periyodu +1 saat artan bir davranış sergilerken, simülasyon yöntemi, güneş ışığının 2040 yılına kadar 2891 saate ulaşmasının beklendiğini göstermektedir. Buna karşılık, buharlaşma yılda yaklaşık 7 mm'lik bir artış eğilimi gösteriyor. Bununla birlikte, nem, yıllık -%0,3'lük bir düşüş eğilimi göstermektedir.

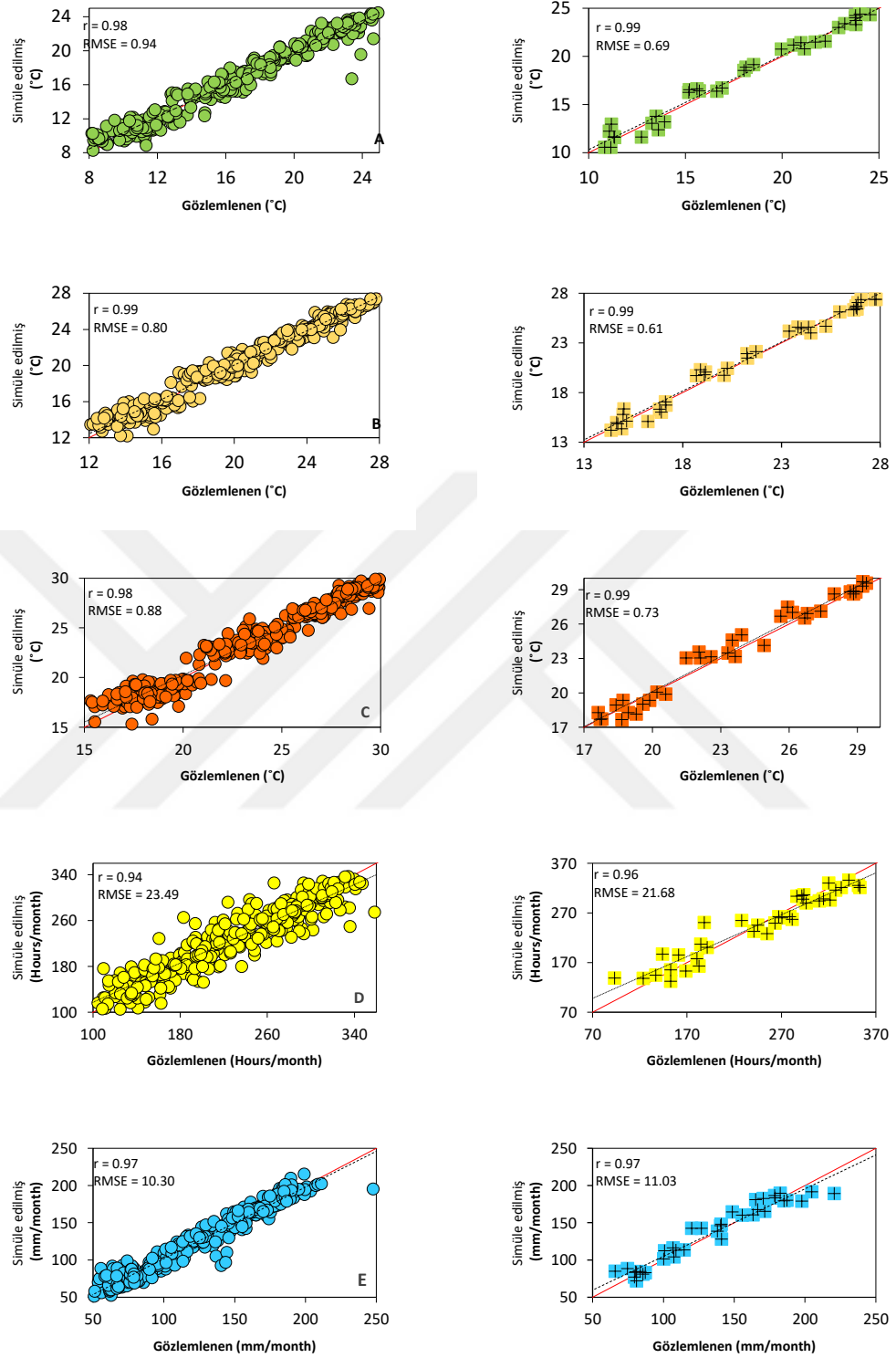


Şekil 3.5. Zaman Serisi Modellemesi: A. Minimum Sıcaklık, B. Ortalama Sıcaklık, C. Maksimum Sıcaklık, D. Güneş Işığı, E. Buharlaşıma, F. Nem

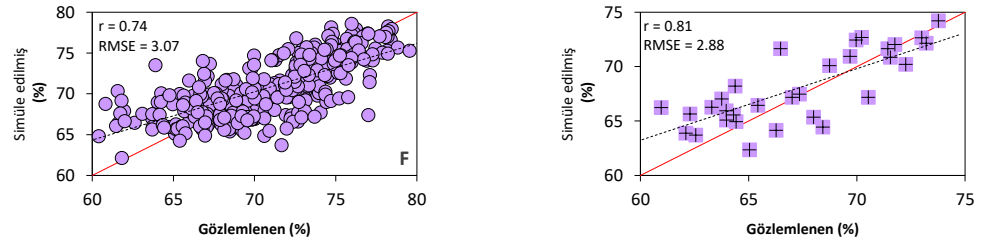


Şekil 3.5. (Devamı)

Korelasyon katsayısı (r) ve ortalama kare hata (RMSE) kullanılarak incelenen Şekil 3.6.'da gösterilen modellerin performans testleri, stokastik modellerin iklim verileri için uygun simülasyonlar sunduğunu ve tahminde iyi bir gösterge verdiğini göstermektedir. Önerilen stokastik modeller tarafından sıcaklık için takılan veriler, modellerin $r = \%98-99$ korelasyon katsayısı ve 0.69-0.94 RMSE verdiği sağlam simülasyon biçimini göstermektedir. Güneş ışığı ve buharlaşma modellerinin performansı, güneş ışığı ve buharlaşma için sırasıyla $r = 0.94-0.96$, RMSE = 21.68-23.49 ve $r = 0.97$, RMSE = 10.30-11.03 korelasyon katsayısı ile yüksek simülasyon kalitesi ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, stokastik nem modeli, korelasyon katsayısının $r = 0.74-0.81$, RMSE = 3.07-2.88 olduğu verileri uydurmada ve geleceği tahmin etmede daha az performans göstermektedir.

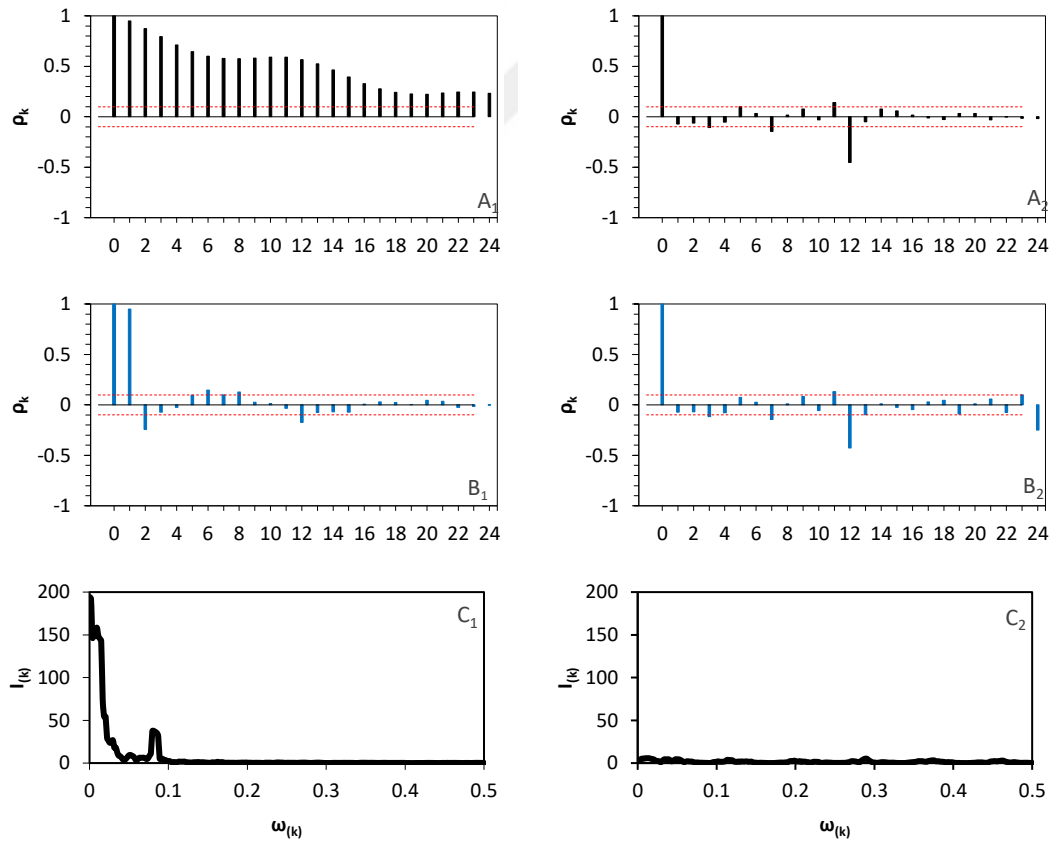


Şekil 3.6. (A) Minimum Sıcaklık, (B) Ortalama Sıcaklık, (C) Maksimum Sıcaklık, (D) Güneş Işığı, (E) Buharlaşma ve (F) Nem için Kalibrasyon ve Doğrulama Performansı



Şekil 3.6. (Devamı)

Yeraltı suyu seviyelerinin dalgalanması, ACF, PACF ve güç spektrumu için Şekil 3.7.'de gösterilen bilgilere göre (2,1,5) (4,1,2)'nin stokastik modeli ile temsil edilmiştir. Model, on su kuyusunun tümünde yeraltı suyu seviyesini simüle etmek için Tablo 3.3.'te geliştirilmiştir. Genel olarak yeraltı suyu seviyeleri, yeraltı suyu aşırı pompalama faaliyetleri ve iklim değişikliklerinin olumsuz etkileri nedeniyle zaman içinde düşüş eğilimi göstermektedir.

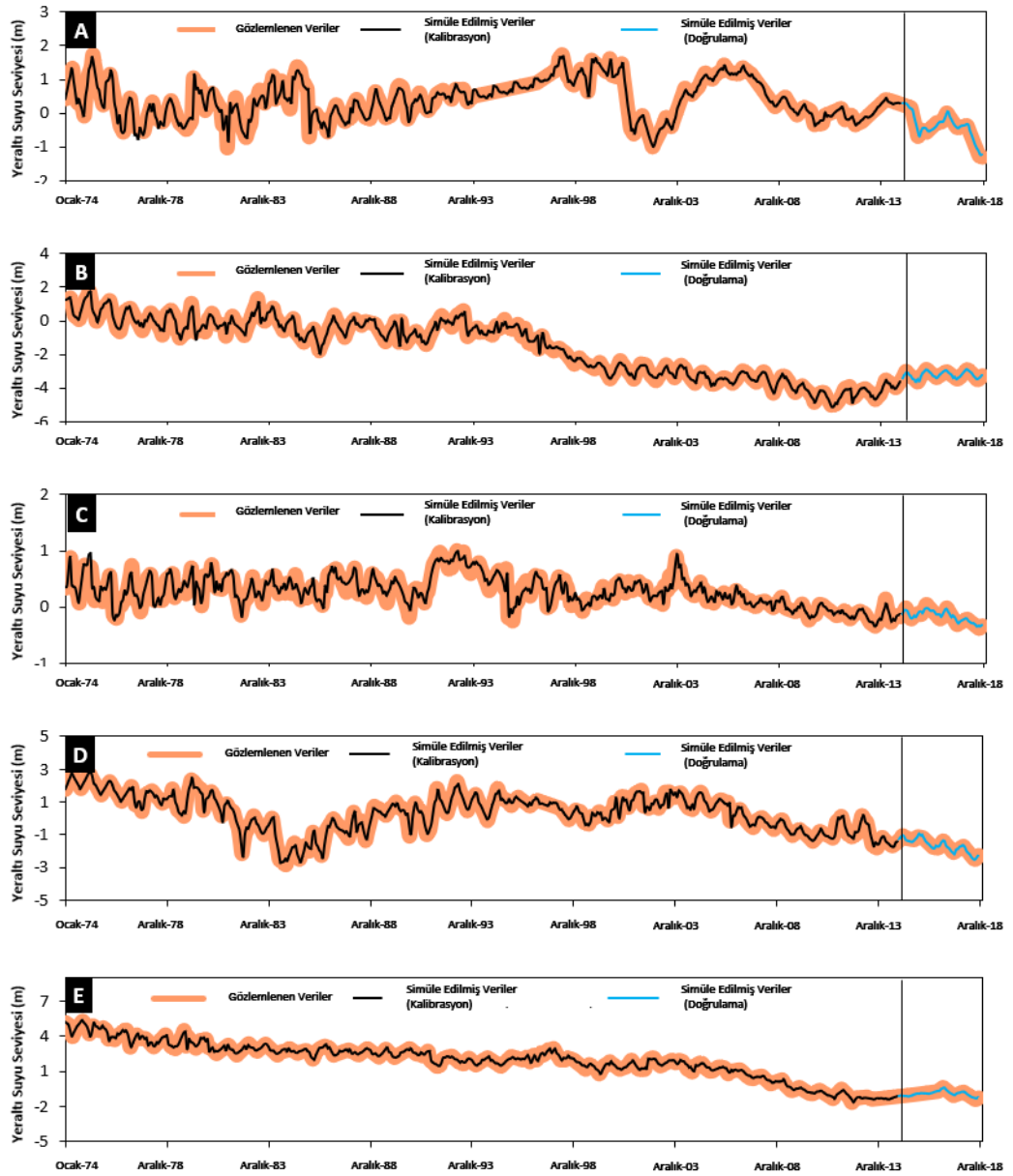


Şekil 3.7. (A1, A2) Korelogram Yoluyla Zaman Serisi Analizi; (B1, B2) Kısmi Otokorelasyon; ve (C1, C2) Güç Spektrumu.

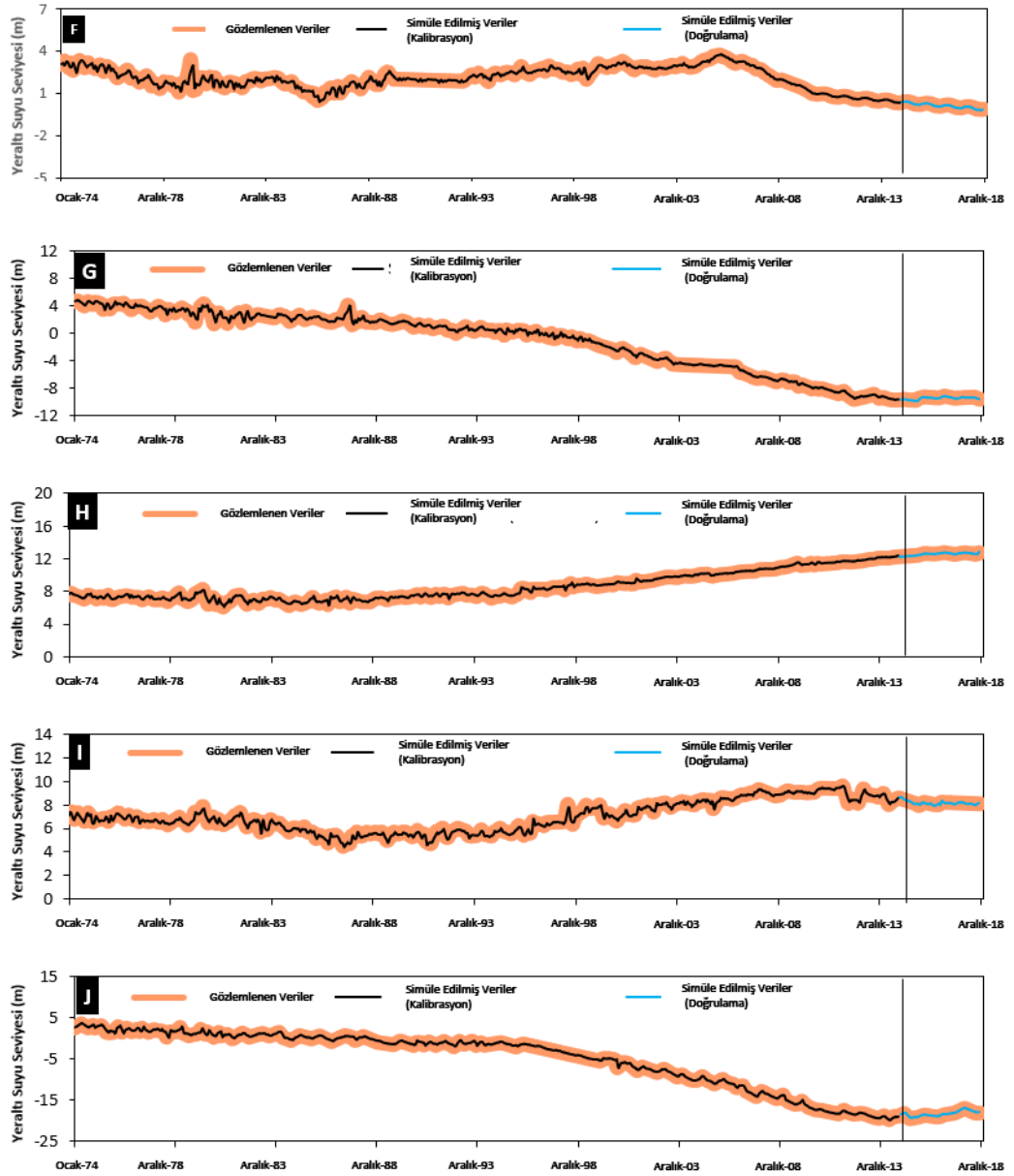
Tablo 3.3. Yeraltı Suyu Parametreleri için Model Otoregresif (AR) ve Hareketli Ortalama (MA)
Parametreleri

Su kuyusu	Mevsimsel Olmayan Parametreler							Mevsimsel Parametreler					
	Φ_1	Φ_2	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_4	Θ_5	Φ_{1s}	Φ_{2s}	Φ_{3s}	Φ_{4s}	Θ_{1s}	Θ_{2s}
C/48	0.31	0.21	-0.22	-0.27	0.02	-0.04	-0.10	0.60	-0.02	-0.09	-0.01	-1.53	0.58
E/45	0.43	0.20	-0.26	-0.44	-0.07	0.01	-0.00	-0.33	0.00	-0.05	-0.06	-0.50	-0.28
G/24B	-0.93	-0.32	0.79	0.06	-0.19	-0.14	0.00	-0.59	-0.00	0.13	-0.01	-0.23	-0.55
F/68B	0.11	0.45	0.12	-0.54	-0.23	-0.03	-0.01	-0.02	0.04	0.05	0.00	-0.88	-0.11
S/15	-0.02	0.25	0.13	-0.35	-0.17	-0.06	-0.08	0.74	0.07	-0.05	-0.10	-1.71	0.77
L/86	0.46	0.24	-0.59	-0.21	-0.11	0.02	0.12	-0.56	0.11	0.01	0.01	-0.25	-0.64
L/66	-0.15	0.17	0.32	-0.44	-0.32	0.03	-0.12	-0.26	0.02	-0.00	0.04	-0.72	-0.27
N/12	-0.03	0.42	0.19	-0.57	-0.32	-0.11	0.07	-0.86	-0.03	0.02	0.01	-0.12	-0.76
N/16	-0.32	0.62	0.43	-0.81	-0.34	0.01	0.10	-0.28	0.07	0.03	0.03	-0.75	-0.24
P/48A	0.07	-0.80	0.11	0.74	-0.03	-0.14	-0.17	-0.83	0.06	0.05	0.00	-0.03	-0.90

Şekil 3.8.'de gösterilen yeraltı suyu seviyesi verileri ve stokastik zaman serisi modelinin bulguları, yeraltı suyu kaynağının su dengesi açısından gerçek tehditlerle karşı karşıya olduğunu ortaya koymaktadır. Tarihsel olarak, yeraltı suyu seviyesi 1970'lerde bolluk halindeydi. Bununla birlikte, yeraltı suyu azalan bir durumdadır ve yeraltı suyu seviyesinin ortalama deniz seviyesinden -15 m'den daha az bir düşüş gösterdiği yerlerde önemli ölçüde aşırı sömürülmüştür.

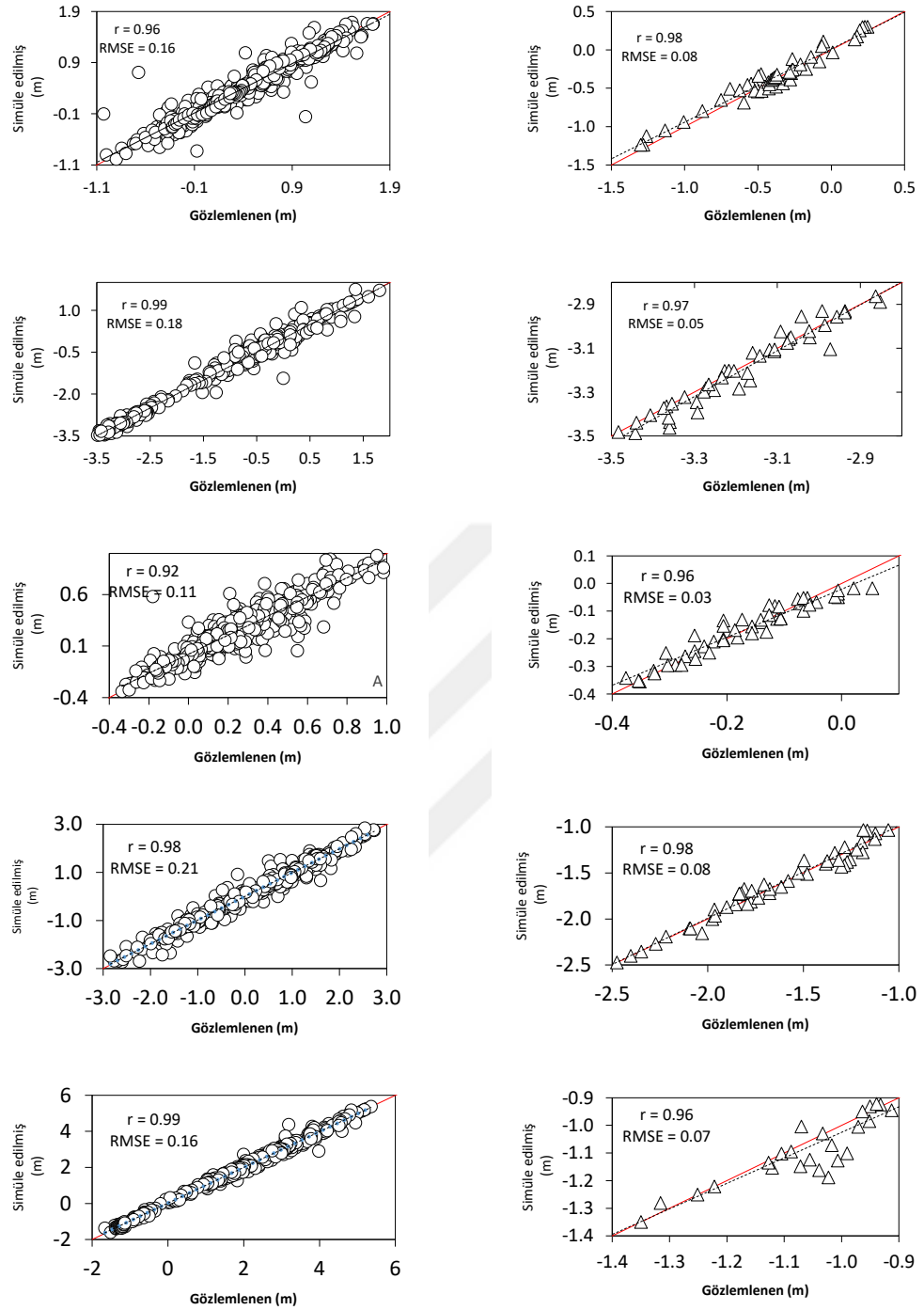


Şekil 3.8. Yeraltı Suyu Simülasyonu: (A) C/48, (B) E/45, (C) G/24B, (D) F/68B, (E) S/15, (F) L/86, (G) L /66, (H) N/12, (I) N/16, (J) P/48H

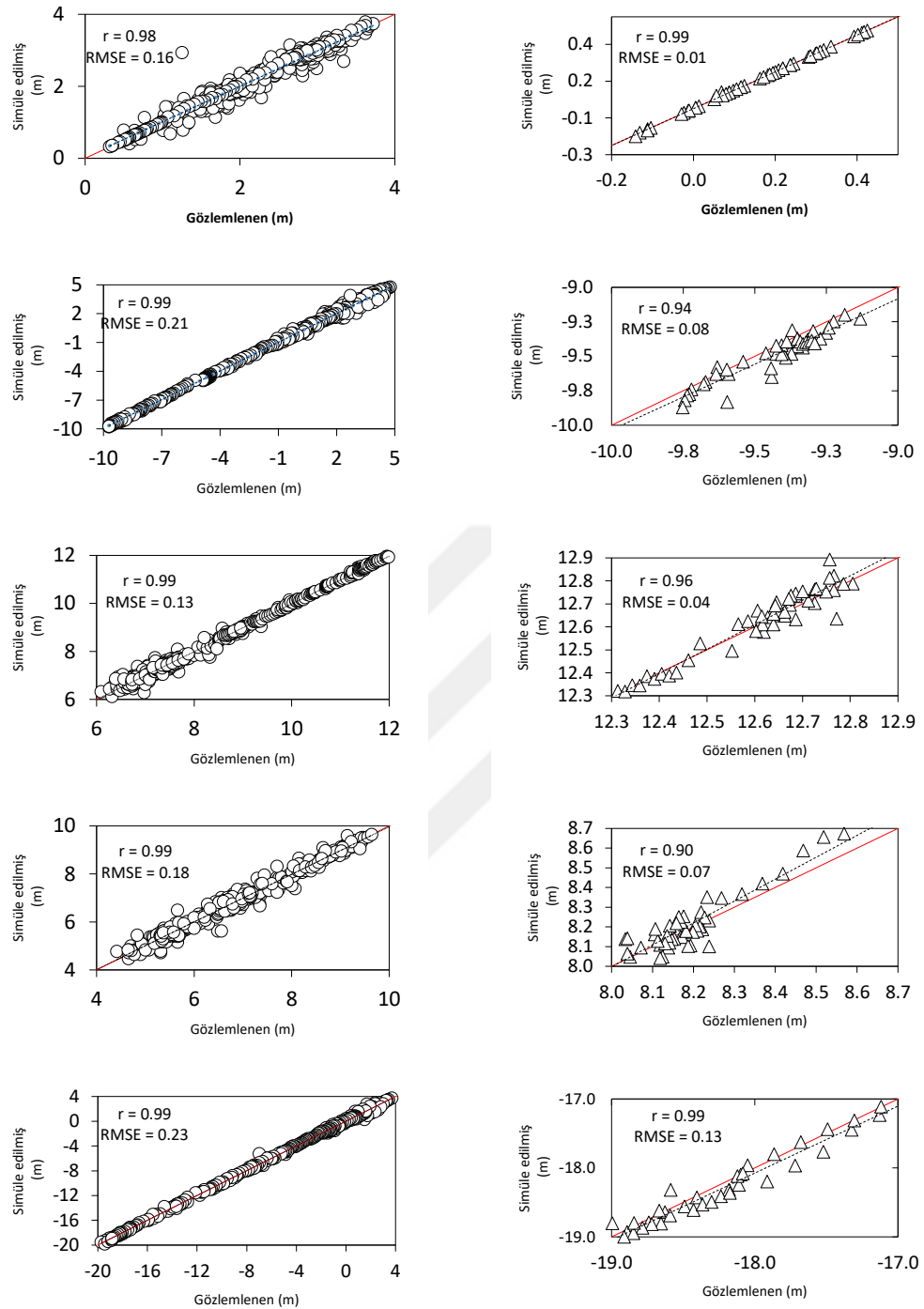


Şekil 3.8. (Devamı)

Stokastik yeraltı suyu seviyesi modeli, yeraltı suyunun oryantasyonunu simüle etmede ve geleceği verimli bir şekilde tahmin etmede tatmin edici performans seviyesini göstermektedir. Modelin Şekil 3.9.'da gösterilen performans testi, kalibrasyon aralığında $r = \%92-99$ ve doğrulama aralığında $r = \%94-99$ korelasyon katsayısı gösterir. RMSE açısından, kalibrasyon ve doğrulama için RMSE sırasıyla 0.11-0.23 ve 0.01-0.13 arasındaydı.



Şekil 3.9. (A) C/48, (B) E/45, (C) G/24B, (D) F/68B, (E) S/15, (F) L/86, (G) için Yeraltı Suyu Kalibrasyonu ve Validasyonu) L/66, (H) N/12, (I) N/16, (J) P/48H

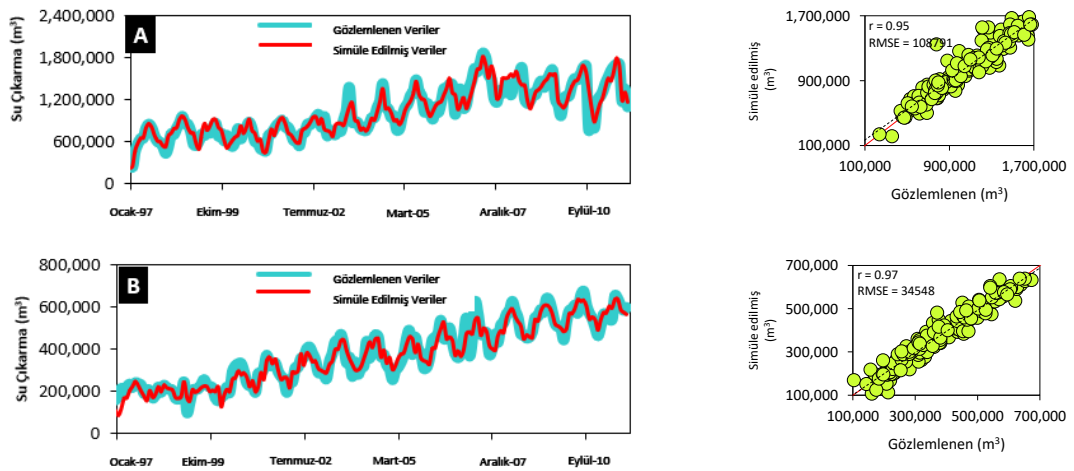


Şekil 3.9. (Devamı)

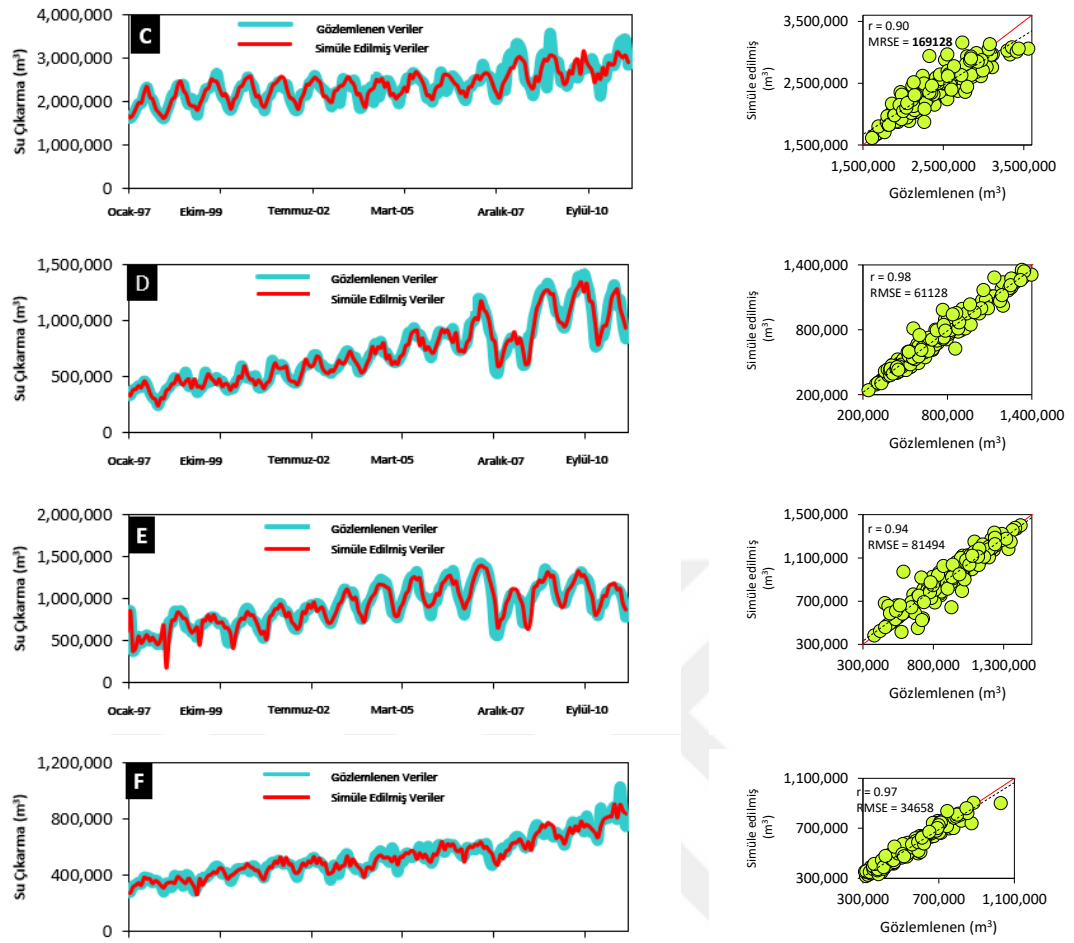
Gazze Şeridi'ndeki yeraltı suyu seviyesinin genel göstergesi, çalışma alanının doğu bölgesinde yarı ayırık küçük havzalar oluşturan bazı kısımlar dışında, seviyenin sürekli bir çöküntü halinde olduğunu ortaya koymaktadır.

3.9. Gazze Kıyı Akiferinden Yeraltı Suyu Çekimi

Gazze Şeridi bölgesindeki kazı kuyularından pompalanan yeraltı suyu, Gazze Kıyı Akiferinin su dengesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir ve yeraltı suyu seviyesinin bozulmasında önemli bir faktör oluşturmaktadır. Çıkarılan yeraltı suyunun miktarları, kayda değer bir süre boyunca hayatta kalan zaman serisi verilerinin eksikliği ve parçalanması nedeniyle Gazze Şeridi'nde belirsiz bir kalemdir. Gazze Kıyı Akiferinden alınan yeraltı suyu hükümet tüketimleri için mevcut veriler sadece 1997'den 2011'e kadar olan aylık tüketimlerle sınırlıdır. Bu nedenle, (2.1,5) (2,1,1)₁₂'nin stokastik modeli önerilmiştir. Bu çalışma ile, geçmişte olduğu kadar geçmişteki yeraltı suyu pompalama davranışının daha iyi anlaşılması için zaman serilerini uzatmak amacıyla Gazze Şeridi'nin her bir vilayetinde Gazze Kıyı Akiferinden yeraltı suyu çıkarılmasının zaman serilerini tahmin edilmek ve geriye dönük yapılmaktadır. Stokastik model, Şekil 3.10.'da gösterilen yeraltı suyunun pompalama faaliyetlerinin 1986 yılında Gazze Şeridi'nin Kuzey Valiliklerinde başladığını ortaya koymaktadır. Gazze Valiliği'nde yer altı suyunun çıkarılması 1970'lerin ortalarında, güneydeki valiliklerde ise 1980'lerin sonunda ve 1990'ların başında yeraltı suyundan yararlanmaya başlanmıştır. Son zamanlarda, özellikle Gazze Şeridi'nin Güney vilayetlerinde yeraltı suyu çekimleri oldukça hızlı bir şekilde rapor edilmektedir.



Şekil 3.10. (A) Beit Hanon, (B) Beit Lahia, (C) Gazze, (D) Orta Gazze, (E) Khanyounis, (F) Refah için Yeraltı Suyu Çıkarma



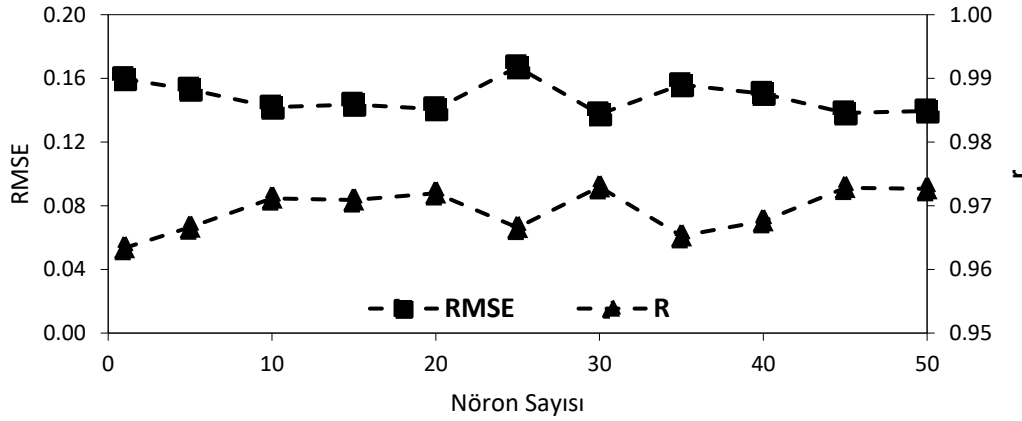
Şekil 3.10. (Devamı)

Model performansı açısından, stokastik model, %90'ın üzerinde bir korelasyon katsayısı (r) ile yeraltı suyu ekstraksiyon miktarlarının zaman serisi için iyi bir simülasyonu göstermektedir. Yeraltı suyu pompalama davranışı, genel ortalama %24 ile bölgesel olarak yaklaşık %12-59 oranında değişiklik gösteren yıllık bir artış eğilimi göstermektedir. Gazze Şeridi'nin kuzey valiliklerindeki tarımsal uygulamalar, yeraltı suyu çıkarmanın hızlı davranışına doğru itiyor ve bu da Gazze Kıyı Akiferine baskı yapılmaktadır.

3.10. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modelleri

Doğrusal olmama, doğadaki farklı fiziksel parametreler arasındaki ilişkiyi yöneten baskın özelliktir. İklimsel ve hidrolojik parametreler arasındaki ilişkinin karmaşıklığı, bu parametreler arasındaki doğal ilişkiyi genelleştirmek için birçok teknik yaklaşımı

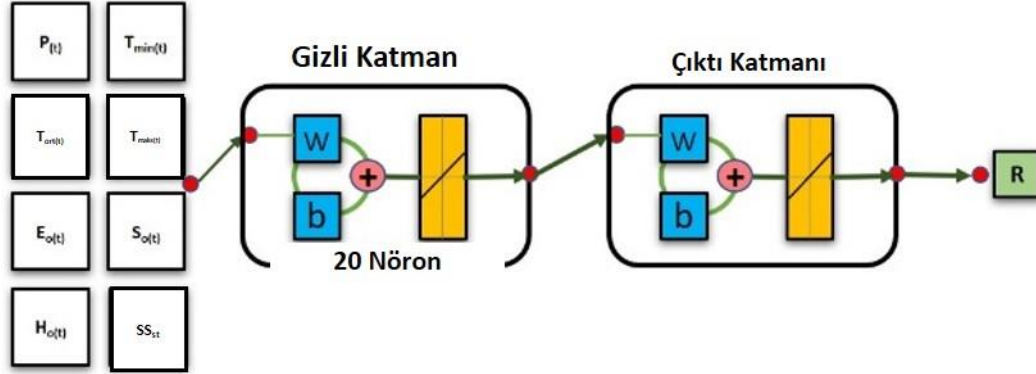
üretmeye ve birleştirmeye itmektedir. Stokastik zaman serisi modelleri, tek bir fiziksel parametrenin trendini verimli bir şekilde simüle eder ve veri üretiminde mükemmel yetenek göstermektedir. Bununla birlikte, iklimsel ve hidolojik parametreler arasındaki etkileşimli ilişkiyi tanımlama olanağına sahip bir modelin gerekliliği, Gazze Kıyı Akiferinin yönetim sistemi için umut verici bir tekniktir. Bu nedenle, YSA yaklaşımı, stokastik modeller tarafından veri üretme gücüne sahip Stokastik-YSA modelinin entegre edilmesinde ve bu verileri fiziksel parametreler arasındaki ilişkileri karakterize etmede kullanmada kullanılmıştır. Stokastik-YSA modelinin, karar vericilerin önümüzdeki 20 yıl içinde uygulanması planlanan azaltma önlemi için Gazze Kıyı Akiferinin tepkisini araştırmaları için sağlam bir araç oluşturması beklenmektedir. Şekil 3.11.'de gösterilen ve verilerde önemli aykırı değerleri gösteren G/24B'nin yeraltı suyu kuyusu verileri için ağların performans testine göre, 20 nöronlu bir gizli katmandan oluşan bir ileri beslemeli geri yayılım ağ tipi, sekiz giriş parametresi ile yeraltı suyu seviyesi yanıtının çıkış parametresi arasındaki ilişkinin sinyalidir.



Şekil 3.11. YSA'nın Performans Testi

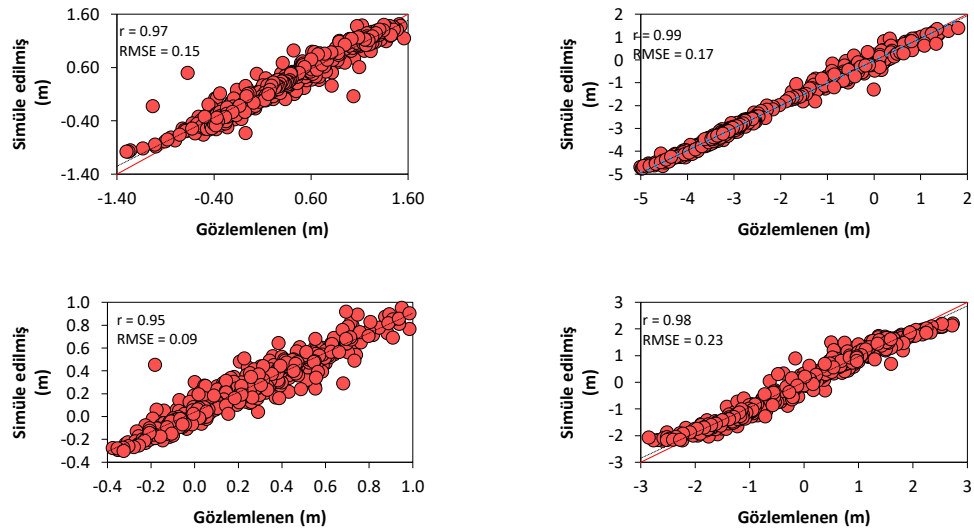
Şekil 3.12.'de gösterilen YSA, girdiler ve çıktı arasındaki ilişkiyi makul bir süre içinde işlerdir. $P_{(t)}$, $T_{min(t)}$, $T_{ort(t)}$, $T_{maks(t)}$, $E_{o(t)}$, $S_{o(t)}$, $H_{o(t)}$ ve stokastik model su seviyesi (SS_{St}) ile simüle edilen yeraltı suyu seviyesinin aylık verileri (t) iklimsel ve hidrolojik faktörlerin akifer su seviyesi üzerindeki kapsamlı etkisini temsil etmek için girdilerin bir kombinasyonu olarak seçilmiştir. YSA içindeki girdi parametrelerinin

kombinasyonu, yeraltı suyu zaman serilerinin yorumlanmasını geliştirir ve gözlemlenen verilerin aykırı değer noktaları için daha iyi sunumlar göstermektedir.

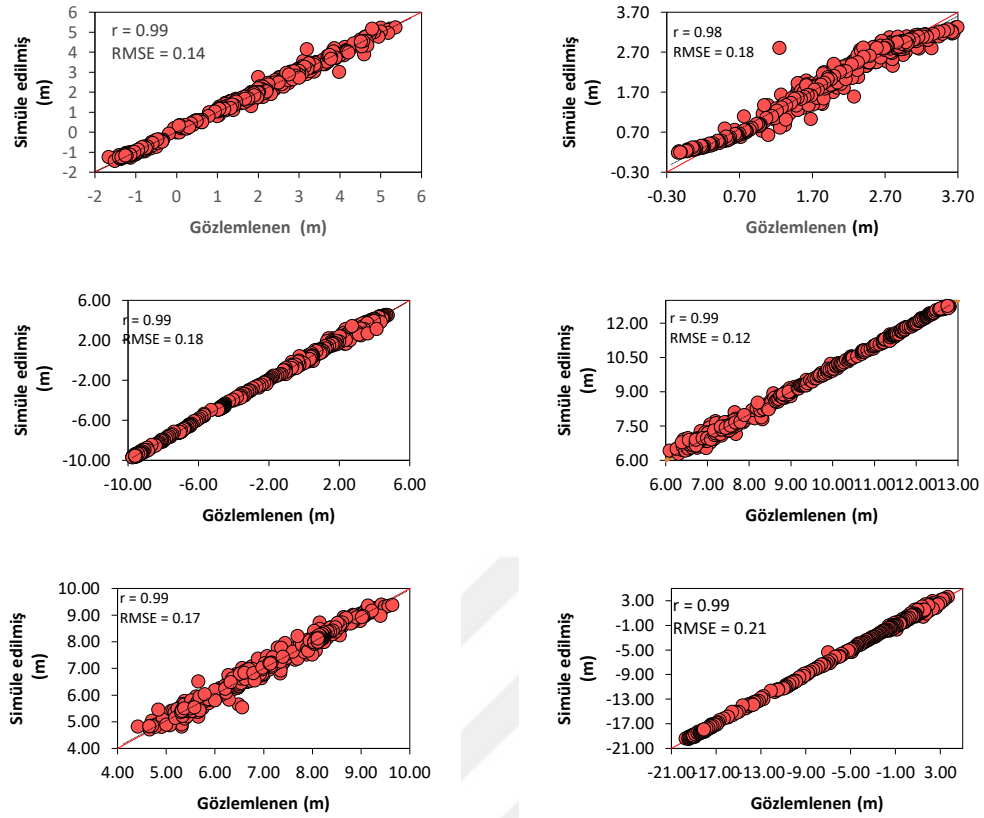


Şekil 3.12. YSA Yapılandırması

MATLAB kullanılarak, on yeraltı suyu kuyusunun her bir zaman serisi için 540 veri kombinasyonu üzerinde eğitilmesiyle geliştirilmiştir. Performans testi açısından, oluşturulan stokastik YSA modeli, gözlemlenen yeraltı suyu seviyesinin geçerli sunumunu göstermektedir. Genel bir şekilde, Şekil 3.13.'te gösterildiği gibi, stokastik modeller, gözlemlenen ve simüle edilen veriler arasındaki ilişkiyi %94-99 korelasyon katsayısı (r) ve RMSE 0.1-0.22 ile tanımlardır.



Şekil 3.13. Stokastik-ANN Modeli için Yeraltı Suyu Seviyesinin Performansı: (A) C/48, (B) E/45, (C) G/24B, (D) F/68B, (E) S/15, (F) L/86, (G) L/66, (H) N/12, (I) N/16, (J) P/48H



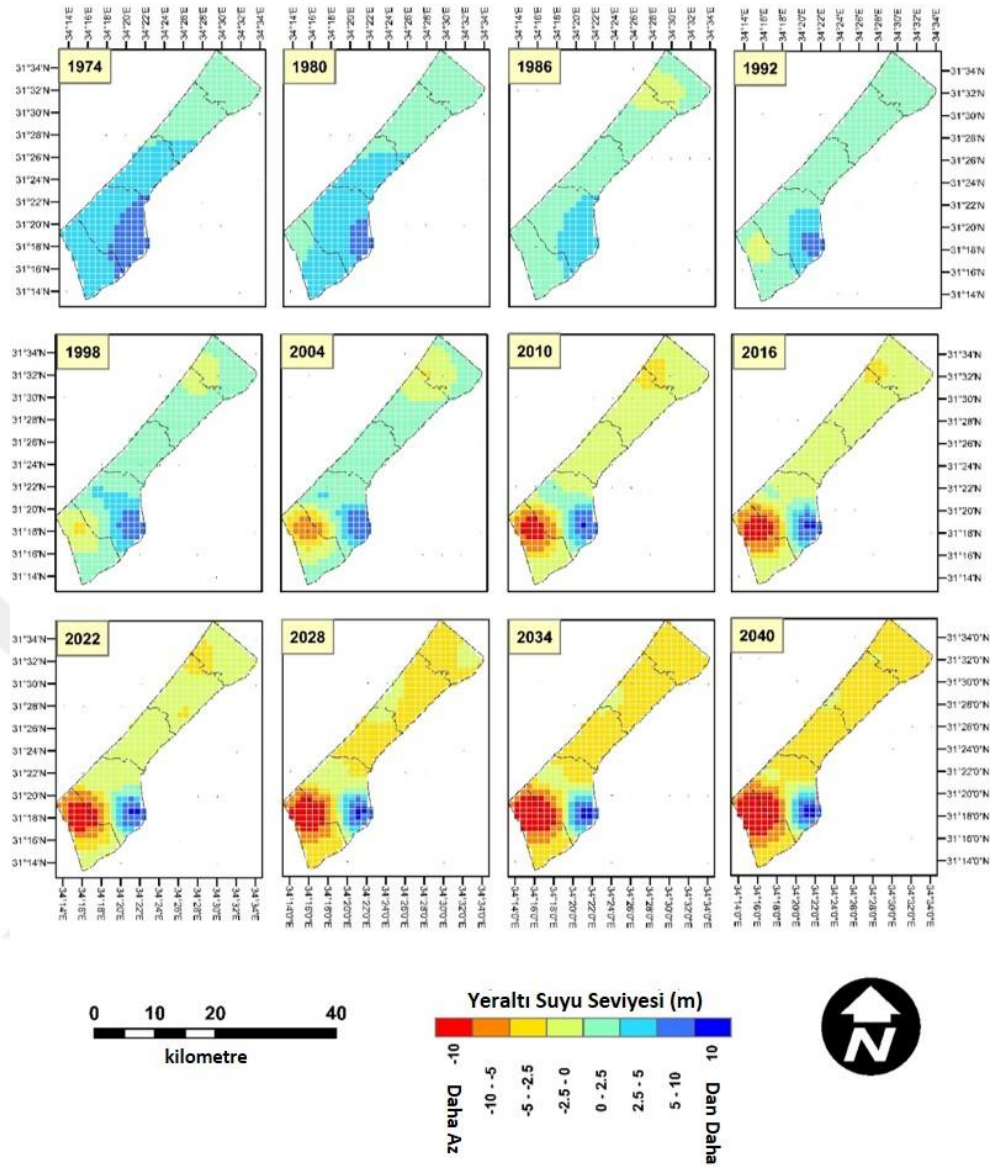
Şekil 3.14. (Devamı)

Entegre stokastik-ANN modelleri, stokastik modeller gibi özdeş korelasyon değerlerini gösterir, ancak stokastik-ANN modeli, aykırı değerleri tanımlama ve hatayı azaltma konusunda biraz daha yüksek bir yeteneğe sahiptir. Genel olarak, stokastik-ANN modeli, verileri %95-99 korelasyon katsayısı (r) ve 0.09-0.21 RMSE ile ifade etmektedir.

3.11. Sonuçlar ve Tartışma

Gazze Şeridi bölgesi coğrafi olarak, kurak ve yarı kurak iklim koşulları ile öne çıkan Ortadoğu ve Kuzey Afrika'nın (MENA) Doğu Akdeniz'i boyunca konumlanmıştır. Bölge, Gazze Şeridi'ndeki yaşam kalitesini ve gıda ve su güvenliğini olumsuz etkileyen hidrolojik döngü ve iklim faktörlerinde hızlı değişimler yaşamaktadır. Gazze Kıyı Akiferi, Gazze Şeridi'nde su temini için aşırı kullanılan tek doğal su kaynağı olarak kabul edilmektedir. Meteorolojik ve hidrolojik zaman serisi verilerinin olmaması, su kaynakları yönetim sisteminin Kıyı Akifer yeraltı suyunun durumunu

izlemesini ve Gazze Kıyı Akiferinin sürdürülebilirliğini korumak için uygun müdahale tedbirlerini uygulamasını temel olarak engellerdir. Bu nedenle, bu çalışma, 1974'ten 2040 yılına kadar uzanan çalışma dönemini kapsayacak şekilde mevcut gözlemlenen verileri tahmin ederek ve geriye çevirerek aylık zaman serisi verilerini oluşturmak için stokastik modellerden yararlanmaktadır. Ayrıca, oluşturulan zaman serisi verileri stokastik modeller tarafından, yeraltı suyu yönetimi süreçleri amaçları için entegre bir stokastik-YSA aracı oluşturmak için 20 nöronlu bir gizli katmandan oluşan bir YSA'ya dönüşmüştür. İklim değişiklikleri açısından, Gazze Şeridi'nin iklimi 2020-2040 arasında gözle görülür şekilde yeniden şekillenecektir. Yağış miktarının -%5,2 oranında azalacağı kuraklık koşulları yoğunlaşacaktır. Önümüzdeki 20 yıl içinde sıcaklığın ortalama $+1^{\circ}\text{C}$ artmasının beklendiği yerlerde, hava sıcaklığı da kuraklığın etkisinin aşırı derecede artmasına katkıda bulunmaktadır. Çevresel ısınmadaki artışa göre, potansiyel buharlaşmanın 20 yılda 111 mm artarak 2040 yılına kadar 1863 mm'ye ulaşması beklenmektedir. Güneş ışığını kaldırmak için güneşlenme süresindeki yıllık artış 20 yılda 5 saat olarak hesaplanıyor. 2020'de 2886 saatten 2040'ta 2891'e kadar. Buna karşılık, bağıl nem 2020'de %60'tan 2040'ta %52'ye düşüş gösteriyor ve 20 yılda azalan oran -%8'e düşmüştür. Buna karşılık, yeraltı suyu tüketiminin nüfus artışı ve alternatif su kaynaklarının eksikliği açısından keskin bir şekilde artması beklenmektedir. Model beklentileri, Gazze Kıyı Akiferinden çıkarılan yeraltı suyunun 2020'de 124 milyon metreküpten 2040'ta yaklaşık %3'lük bir artışla yaklaşık 191 milyon metreküpe yükseleceğini doğrulamaktadır. Stokastik zaman serisi modeli, Gazze Kıyı Akiferinin yeraltı suyu dengesinin, yeraltı suyu seviyesinin ciddi şekilde ortalama deniz seviyesinin (MSL) altına düştüğü durumlarda ciddi tükenmeye maruz kaldığını göstermektedir. Şekil 3.15.'te gösterilen stokastik-ANN modelinin yeraltı suyu simülasyon bulguları, yeraltı suyu seviyesinin 2020'de MSL'nin -0.38 ila -18.49 m altında ve 2040'ta MSL'nin -1.13 ila -27.77 m altında olduğunu göstermektedir. Coğrafi olarak, Gazze Şeridi'nin güney valilikleri, özellikle Refah'ta, yeraltı suyu dengesinde, yeraltı suyundaki düşüşün 2040'ta MSL'nin -27,77 m altına ulaşacağı diğer yerlere göre daha fazla eksiklik vardır.



Şekil 3.15. Gazze Kıyı Akiferinin Yeraltı Suyu Seviyesi

Gazze Şeridi'nin güney kısmı, Gazze Şeridi'ndeki en kalabalık bölgeyi göstermektedir. Belediye kuyuları, yeraltı suyunu saatte 100 m³'ün üzerinde geniş bir oranda pompalar ve bu da bölgenin bu bölümündeki Gazze Kıyı Akiferinin kalitesini ve miktarını olumsuz etkilmektedir. Bölgesel olarak, yeraltı suyu çöküntü konisi 1992'de oluşmaya başladı ve Gazze Şeridi'nin kuzeyine doğru yayılma eğilimi gösterdi. Koninin çapı 1992'de yaklaşık 1 km'den azdı ve 2040'ta 4-5 km'ye ulaşması bekleniyor. Sonuç olarak, deniz suyu girişi, klorür konsantrasyonunu bir seviyeye yükselterek yeraltı suyunun kalitesini etkileyen en baskın fenomendir.

BÖLÜM 4. SU KAYNAKLARI MÜDAHALELERİ

4.1. Giriş

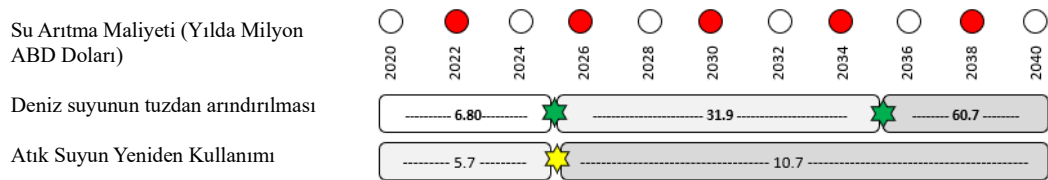
Yeraltı suyu, küresel su gereksinimlerinin üçte birinin sağlanması için birincil doğal su deposudur (Famiglietti 2014; Siebert ve ark. 2010). Küresel olarak, nicelik ve kalite açısından, yeraltı suyu kaynakları, bu kaynakların gelecek on yıllar boyunca yaşayabilirliğini etkileyen tükenme riskleriyle karşı karşıyadır. 2020-2021'de küresel yeraltı suyu çıkarımı, yılda 10-11 milyar metreküplük artışa dayalı olarak yaklaşık 960 milyar metreküp olarak tahmin edilmektedir (Wada ve ark. 2010). Yeraltı suyunun büyük tükenme noktaları, yüksek nüfus, su kaynaklarının kıtlığı ve periyodik kuraklık oluşumu nedeniyle dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerinde yaygın olarak rapor edilmektedir. Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA), Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Hindistan'ın Kuzeybatısı, Çin'in Kuzeydoğusu, Orta Yemen, İspanya'nın Güneyi ve İran'ın High Plains ve California Cantal Valley akiferlerinde yer alan yeraltı su kaynakları tehlikeli derecede tükenme yaşıyor. yılda yaklaşık 243-323 milyar metreküptür (Fienen ve Arshad 2016). Yeraltı suyunun aşırı çekilmesi, su tablasını ortalama deniz seviyesinin altında bir seviyeye kadar derinleştirir ve bu da yeraltı suyu kalitesini olumsuz yönde etkileyen deniz suyu girişi fenomenlerinin ortaya çıkmasına katkıda bulunmaktadır (Hussain ve ark. 2019; Zekri ve ark. 2017; Ye ve ark. 2015). Yeraltı suyu dengesi açısından, ABD'deki Yüksek ovaların akiferi, yılda yaklaşık 0,8 m'lik bir su tablası düşüş oranı göstermektedir (Dong ve Ark.2019). Ayrıca, Hindistan'ın kuzeybatı bölgesinde yeraltı suyu seviyesindeki düşüşün yılda 2,8 m olduğu bildirilmektedir (Shekhar ve ve diğerleri 2020). Spesifik olarak, MENA bölgesi, iklim değişikliğinin yeraltı suyu kaynaklarının yeniden beslenmesini son derece etkileyen etkilerine hizmet eden bir su kaynağı kıtlığı alanıdır (Lattemann ve Höpner 2008). Nubian akiferi, yaklaşık 60 m'ye ulaşan kritik bir düşüş noktası göstermektedir (Gleeson ve ark. 2010). Ayrıca, MENA'nın Doğu Akdeniz bölgesindeki kıyı akiferi, ortalama deniz seviyesinin (MSL) altındaki su tablasında

ciddi bir düşüş kaydetti ve 24 m'den fazla ulaşmıştır (Abualtayef ve ark. 2017). Buna göre, deniz suyunun tuzdan arındırılması, atık suyun yeniden kullanımı ve yağmur suyu hasadı gibi geleneksel olmayan su kaynaklarının su döngüsüne entegre edilmesi, yeraltı suyu kaynaklarındaki sürdürülemez sömürü ile başa çıkmak ve suyun hidrolojik döngüsü üzerindeki kuraklık baskısını iyileştirmek için umut verici bir alternatif olarak kabul edilmektedir (Alqahtani ve ark. 2021; Golovina ve Grebneva 2021). Deniz suyunun tuzdan arındırılması, geleneksel su kaynaklarındaki azalmayı hafifletmek ve küresel su talebinin yaklaşık 32,5 milyar metreküpünün deniz suyunu tuzdan arındırma kaynaklarından karşılandığı kuraklığa dayanıklılık için oldukça dönemselleştirilmiş bir alternatiftir (Rao ve ark. 2018). Çin'de, su sistemine yılda yaklaşık 241 milyon metreküp tatlı su sağlamak için 75'ten fazla deniz suyunu tuzdan arındırma tesisi inşa edilmiştir (Zheng ve ark. 2014). ABD'de deniz suyunun tuzdan arındırılması yoluyla sağlanan yıllık su miktarı 146 milyon metreküp olarak ifade edilmektedir (Rao ve ark. 2018). Avustralya, deniz suyunu tuzdan arındırma kapasitesinde yılda yaklaşık 667 milyon metreküplük yüksek prosesler rapor etmektedir (Heihsel ve ark. 2019). MENA bölgesi, özellikle Basra Körfezi'nde, dünya deniz suyunu tuzdan arındırma kapasitesinin yaklaşık %69'unun Birleşik Arap Emirlikleri ve Suudi Arabistan Krallığı'nda işlendiği kuraklık sonuçları ve su kaynakları kıtlığı ile başa çıkmak için tuzdan arındırılmış deniz suyu kaynağına bağımlıdır (Davoud ve Al Mulla 2012). Atık su geri dönüşümü ve yeniden kullanımı, su bütçesindeki açığı azaltmak için küresel olarak çekici bir su kaynağıdır. Avustralya'da, tarım sektörü, toplam geri kazanılan atık suyun %14'ünü temsil eden yaklaşık 280 milyon metreküp arıtılmış atık su ile sağlanmaktadır (Radcliffe ve Sayfa 2020). ABD, Kaliforniya ve Florida'da kuraklık, kıyı akiferlerine tuzlu su girişi ve su talebindeki artışın sonuçlarını hafifletmek için yılda yaklaşık 175 milyon metreküp atık su geri dönüştürülmüştür (Duong ve Saphores 2015). Çin'de atık suyun yeniden kullanımı, raporların yaklaşık 14 milyar metreküp arıtılmış atık suyun üretildiğini ve su kaynakları yönetimini entegre etmek için yeniden kullanıldığını gösterdiği ulusal su kaynakları yönetim planında kilit bir unsurdur (Chen ve ark. 2015; Lyu ve ark. 2015). Basra Körfezi ülkeleri, esas olarak tarımsal sulama ve akifer beslemesinde kullanılan yılda yaklaşık 2,8 milyar metreküp atık suyu arıtmak için yaklaşık 241 atık su arıtma tesisinin çalıştırıldığı yeraltı suyundaki tükenmeyi hafifletmek için atık suyun yeniden kullanımını dikkate almaktadır (Aleisa ve Al-

Zubari 2017). Yağmur suyu hasadı açısından, Los Angeles'ta su kaynağını yılda yaklaşık 142-239 milyon metreküp hasat edilen yağmur suyu artırmak için örnek yağmur suyu yakalama uygulanmaktadır (Luthy ve ark. 2019). Avustralya'da, Milenyum kuraklığının sonuçları, yağmur suyu hasat kapasitesini 2050 yılına kadar yılda 20 ila 60 milyon metreküp arasında üç katına çıkarmak için ileriye dönük planların önerildiği kuraklığa dayanıklılık önlemlerinde yağmur suyunu kullanmaya doğru itmektedir (Kretschmer 2017). Gazze Şeridi bölgesinde, uzun süreli kuraklığın sonuçları ve yeraltı suyunun aşırı pompalanması uygulamaları, Gazze kıyı akiferinde (GCA) hızlı bir tükenmeye yol açtı. Buna karşılık, su yönetim sistemi, GCA dengesindeki bozulmayı durdurmak için hafifletme önlemleri veya su yönetimi müdahalelerini benimsemiştir. Bu çalışma, su döngüsüne geleneksel olmayan yeni su kaynakları alternatiflerinin eklenmesinin, 2020-2040 zaman diliminde GCA'nın yenilenmesi üzerindeki etkisini bulmayı amaçlamaktadır.

4.2. Deniz Suyunun Tuzdan Arındırılması ve Atık Su Geri Dönüşümünün Ekonomisi

Su tedarik sistemindeki artan eğilimi karşılamak için su arıtma ve arıtma arıtma sürekli olarak iyileştirilmektedir. Tuzdan arındırma endüstrisinde, su tuzdan arındırma işlemlerinin yaklaşık %53'ünü ters ozmoz (RO) teknolojileri oluşturmuştur. Tipik olarak, bir metreküp deniz suyunu tuzdan arındırmak için enerji tüketimi yaklaşık 3,5 kWh'ye mal olmaktadır (Shahzad ve ark. 2017). Filistin'de, Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi, 1 kWh maliyeti 0,15 USD'ye eşittir ve buna bağlı olarak, deniz suyunu tuzdan arındırma uygulamalarının yıllık maliyetinin 2020-2025 döneminde 1,95 milyon USD'den 2035'te yaklaşık 17,36 milyon USD'ye çıkması beklenmektedir.

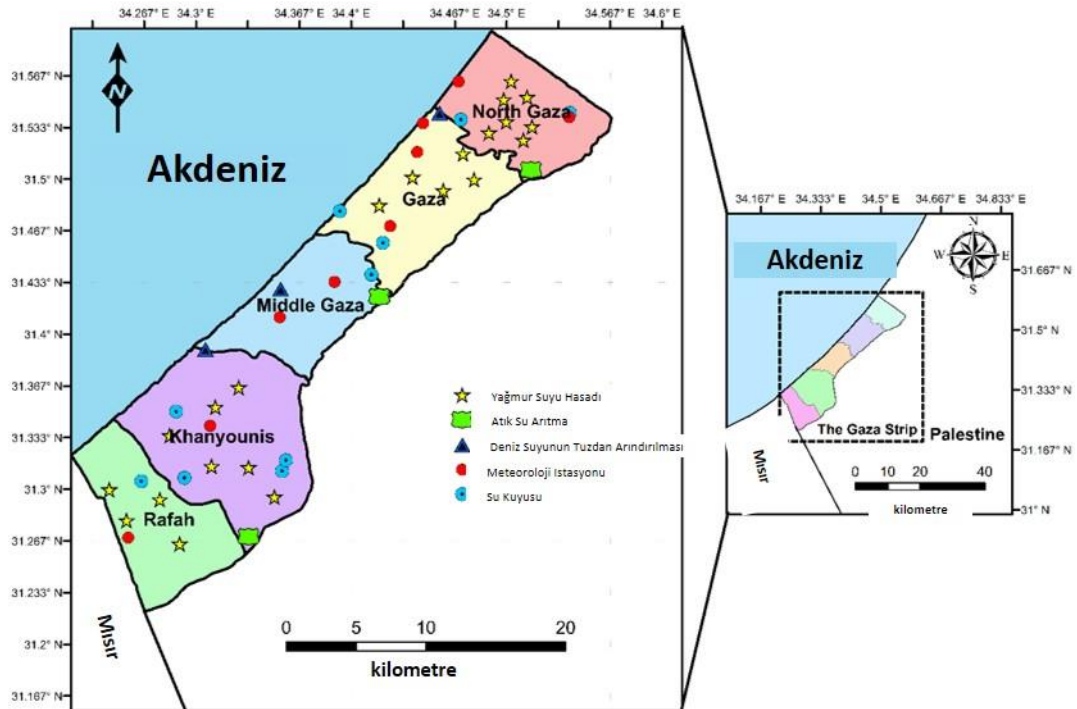


Şekil 4.1. Gazze Şeridi'nde Deniz Suyunun Tuzdan Arındırılması ve Atık Suyun Yeniden Kullanımının Ekonomisi

Atık su arıtma seviyesinde, bir metreküp suyu arıtmak için 1,7 kWh güç gereklidir (Pearce 2008). Bu nedenle Gazze Şeridi'ndeki atık su arıtma sürecinin yıllık maliyetinin 2020-2025 yılları arasında 5,7 milyon ABD Doları ve 2025-2040 yılları arasında 10,7 milyon ABD Doları olacağı tahmin edilmektedir. Tuzdan arındırma tesisleri için tasarlanan enerji kaynağı, yerinde yenilenebilir enerji kaynağı olarak fotovoltaik hücreler (pik yük) kurularak sağlanacak şekilde tasarlanmıştır. PWA, komşu ülkelerden ek enerji kaynakları ile şebeke bağlantısı veya Gazze Elektrik Üretim Santrali kapasitesinin genişletilmesini önermektedir (PWA 2015).

4.3. Gazze Şeridi, Filistin'de İklim ve Su Durumu

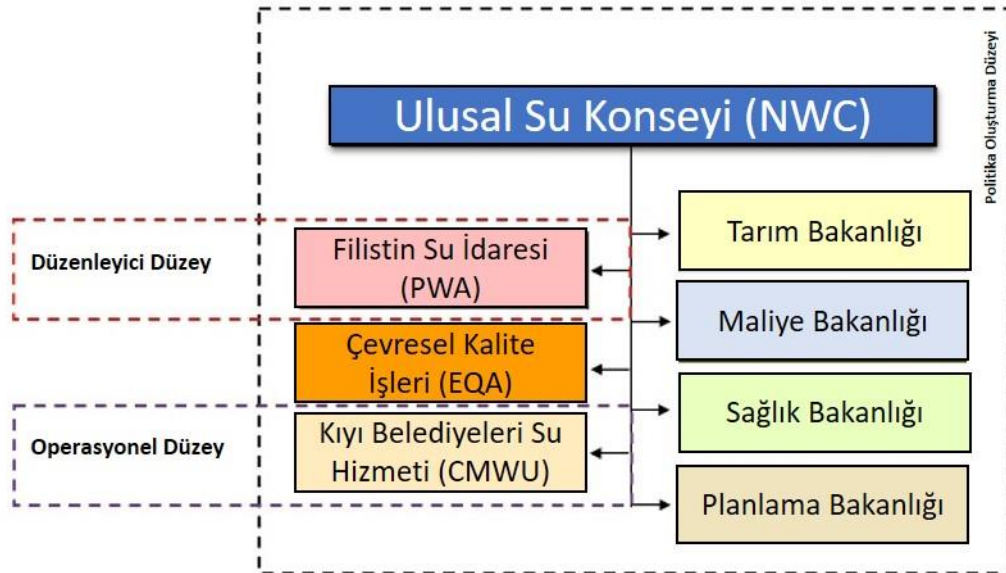
Şekil 4.2.'de gösterilen Gazze Şeridi'nin coğrafi genişliği, Akdeniz'in güneydoğu kıyısında yer alan 365 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bölge, 2,1 milyondan fazla nüfusuyla dünyanın en kalabalık bölgelerinden biri olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 4.2. Gazze Şeridi'nin Coğrafi Konumu

Gazze Şeridi'nin iklimi, yazın ortalama 25.8 °C ve kışın 13.4 °C arasında değişen günlük ortalama sıcaklıkla Akdeniz iklimidir. Gazze Şeridi'nin kuzey bölgelerinde ortalama yıllık yağış yaklaşık 474 mm ve güney valiliklerinde yaklaşık 250 mm'dir ve

aşırı ve şiddetli kuraklık oluşma riski %83'tür (Al-Najjar ve ark. 2020). Rüzgar fırtınaları kışın maksimum saatte 18 m/s hızla kaydedilir ve ortalama olarak rüzgar 4,2 m/s hızla eserdir (PWA 2014). Gazze Şeridi, mevcut tek su kaynağının GCA'nın yeraltı suyu olduğu ciddi bir su kıtlığı bölgesidir. Keyfi yeraltı suyu çekimi ve kronik kuraklığın etkisi, akiferin bütünlüğünü ciddi şekilde etkiler. Yeraltı suyunun yasal ve yasadışı olarak yıllık çekimi, akiferin sürdürülebilir veriminin dört katı olan yaklaşık 180-200 milyon metreküp olarak tahmin edilmektedir (PWA 2014). Kalite bazında, GCA, deniz suyu girişi fenomeni ve antropojenik uygulamalar nedeniyle yüksek seviyelerde klorür (2000 mg/l'nin üzerinde) ve nitratın (300 mg/l'nin üzerinde) tespit edildiği kabul edilemez bir bozulma seviyesi göstermektedir (El Baba ve ark. 2020; PWA 2014). Yasal bir bakış açısıyla, Filistin Su Kanunları (PWL'ler), Filistin Çevre Kanunu (PEL) ve Filistin Standardı (PS), yeraltı suyunun kirlilikten korunması ve korunması açısından GCA'nın geliştirilmesi ve yönetilmesinin temelidir. entegre bir yeraltı suyu kaynakları yönetim sistemi geliştirerek tükenme (PWL 2014; PWL 2002; PS 2003; PEL 1999). Şekil 4.3'te gösterilen, Filistin'deki su yönetim sisteminden sorumlu olan sezgisel çerçeve üç seviyeye ayrılmıştır: politika oluşturma seviyesi, düzenleyici seviye ve operasyonel seviyedir.



Şekil 4.3. Filistin'de Kurumsal Yeraltı Suyu Yönetimi Çerçevesi

Politika oluşturma düzeyinde, NWC, su ve çevre politikalarını ve standartlarını belirlemenin yanı sıra su yönetimi kaynakları geliştirme planlarını onaylamaktan

sorumlu organdır. PWA, doğal su kaynaklarının korunması için yeni su kaynakları önererek su politikalarının yürütülmesinden ve su güvenliğinin sağlanmasından sorumlu düzenleyici kurumdur. Operasyonel düzeyde, CMWU, yeraltı suyu çıkarma eylemlerini ve su, atık su ve yağmur suyu sistemlerinin teknik işletimini üstlenir. Bu bağlamda, Filistin hükümetinin su kurumları, GCA'da devam eden tükenmeyi hafifletmek ve kronik kuraklık etkilerinin tehlikeli etkileriyle başa çıkmak için azaltma stratejileri başlatmıştır (MoA 2016). Filistin Su Otoritesi (PWA), Su ve Atıksu Sektörü Stratejisi, Taslak Su Kaynakları Yönetim Stratejisi, Ulusal Su Politikası, Su Sektörü Strateji Planlama Çalışması (WSPS), Kıyı Suları Stratejisi planlarını uygulayarak yeraltı suyunun sürdürülebilirliğine yönelik pratik adımlar atmaya başladı. Akifer Yönetim Programı (CAMP), Ulusal Su Planı (NWP), Yağmur Suyu Sızma Planı, Gazze Şeridi'ne Su Temini ile ilgili Gazze Acil Teknik Yardım Programı (GETAP) ve Gazze Şeridi için Su Temini Seçeneklerinin Karşılaştırmalı Çalışması (CSO) -G) bu planların, Gazze Şeridi'ndeki su yönetim sistemini dengelemek için deniz suyunun tuzdan arındırılması, atık su arıtma ve yağmur suyu hasadı gibi geleneksel olmayan su kaynaklarının yeni bir değerli su kaynağı olarak kullanılma olasılığını araştırdığı durumlarda. Filistin'de atık suyun yeniden kullanılmasının uygulanabilirliği, PS tarafından kabul edilen kılavuzlar ve standartlar boyunca araştırılmaktadır. PS, arıtılmış atık suyun sulama ve yeraltı suyu beslemesi için doğrudan kullanımını kesinlikle yasaklar ve Tablo 4.1.'de gösterilen arıtılmış atıksu kalitesini dört sınıfa ayırmaktadır.

Tablo 4.1. Atıksu Kalite Sınıflandırmaları

Parametre	Birim	Sınıf (A)	Sınıf (B)	Sınıf (C)	Sınıf (D)
Kalite	Tür	Yüksek	İyi	Orta	Düşük
BOD ₅	mg/l	20	20	40	60
TSS	mg/l	30	30	50	90
Fecal coliform	CFU /100 ml	200	1,000	1,000	1,000
COD	mg/l	50	50	100	150
DO	mg/l	> 1	> 1	> 1	> 1
TDS	mg/l	1,200	1,500	1,500	1,500
pH	mg/l	6.00 to 9.00	6.00 to 9.00	6.00 to 9.00	6.00 to 9.00
Fat, Oil veGrease	mg/l	5.00	5.00	5.00	5.00
Phenol	mg/l	0.002	0.002	0.002	0.002
Methylene Blue Active Substance (MBAS)	mg/l	15	15	15	25
NO ₃ -N	mg/l	20	20	30	40
NH ₄ -N	mg/l	5	5	10	15
Total-N	mg/l	30	30	45	60

Tablo 4.1. (Devamı)

Cl	mg/l	400	400	400	400
SO ₄	mg/l	300	300	300	300
Na	mg/l	200	200	200	200
Mg	mg/l	60	60	60	60
Ca	mg/l	300	300	300	300
SAR	mg/l	5.83	5.83	5.83	5.83
PO ₄ -P	mg/l	30	30	30	30
Al; Fe	mg/l	5	5	5	5
As; Cr	mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1
Cu, Mn, Ni, Pb	mg/l	0.2	0.2	0.2	0.2
Se	mg/l	0.02	0.02	0.02	0.02
Cd	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01
Zn	mg/l	2	2	2	2
CN; Co	mg/l	0.05	0.05	0.05	0.05
Hg	mg/l	0.001	0.001	0.001	0.001
B	mg/l	0.7	0.7	0.7	0.7
E. coli	CFU /100 ml	100	1,000	1,000	1,000
Nematodes	Eggs/l	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1

PS, bahçeler, oyun alanları ve parklar için sulama faaliyetlerini, (A) sınıfının geri kazanılmış atık su kalitesiyle sınırlandırır. Bununla birlikte, Toprak Akifer Arıtma (SAT) yoluyla sızma yoluyla yeraltı suyu ikmali ve denize yaklaşık 500 m'lik açık deniz bertarafı işlemleri, atık su kalitesiyle (C) sınıfından düşük olmamalıdır.

4.4. Araç ve Yöntemler

2020-2040 zaman çerçevesi içinde GCA'nın bütünlüğünü artırmak için yeni su kaynakları eklemenin etkisini değerlendirmek, Şekil 4.4., bu çalışmanın ana hedefidir. Bu amaca ulaşmak için izlenen yaklaşımlar, Gazze Şeridi'nde devam eden geleneksel olmayan su kaynakları hakkında mevcut verilerin araştırılmasına ve ardından bu su müdahalelerinin GCA'nın yeraltı suyu durumunun geri kazanılması üzerindeki etkisinin simüle edilmesine bağlıdır. Gazze Şeridi'nde yönetilen yeni geleneksel olmayan su alternatifleri, deniz suyunun tuzdan arındırılması, atık suyun yeniden kullanımı, yağmur suyunun ıslahı ve komşu ülkelerden satın alınan su ile bildirilmektedir. Günümüzde deniz suyunu tuzdan arındırma süreçleri, 13 milyon metreküp tuzdan arındırılmış su sağlamak için üç kısa süreli düşük hacimli tuzdan arındırma tesisi aracılığıyla uygulanmaktadır. Büyük Ölçekli Gazze Merkezi Deniz Suyu Arıtma Tesisi arazisinde inşa edilen Bölgesel Kısa Vadeli Düşük Hacimli (STLV) deniz suyu arıtma tesisi, güneydeki Khanyounis valiliklerinin su şebekelerinden

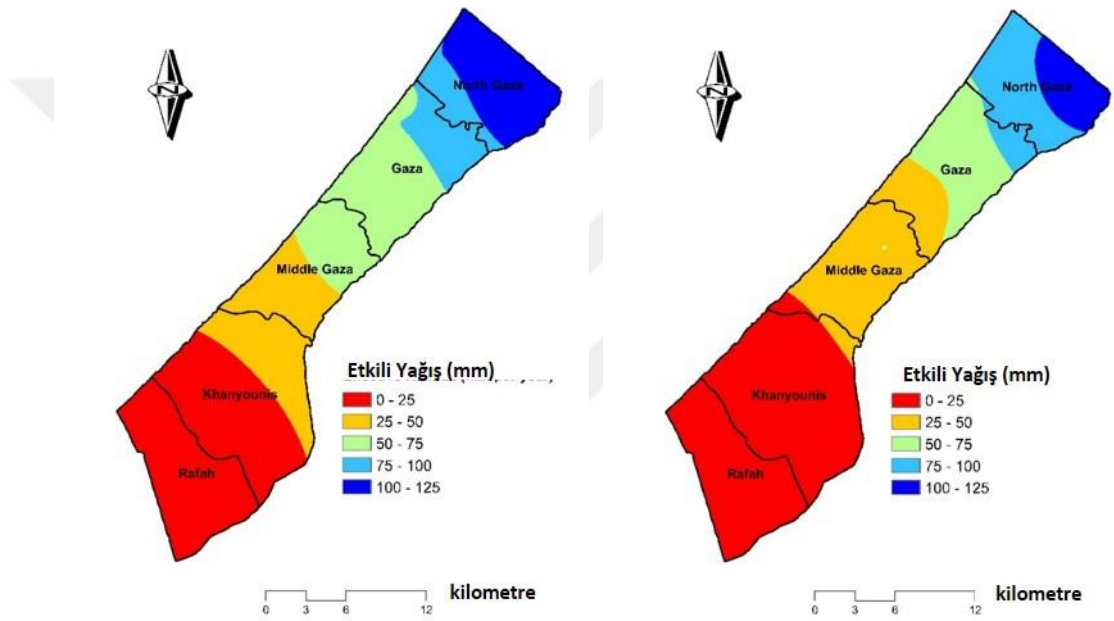
pompalanan günlük 20.000 metreküp tatlı su üretmektedir. ve Refah. Orta Valilikte, Deir Al-Balah STLV, içilebilir kullanımlar ve ev malzemeleri için günde 6.000 metreküp tuzdan arındırıyor. Gazze Valiliği'nde 10.000 m³ kapasiteli üçüncü STLV deniz suyu tuzdan arındırma tesisi günlük olarak işletilmektedir. Zaman çizelgeleri, Büyük Ölçekli Gazze Merkezi Deniz Suyu Arıtma Tesisinin iki aşamada işletilmesinin planlandığını göstermektedir. 2025 yılına kadar işletilecek olan birinci fazın tuzdan arındırma kapasitesi yılda yaklaşık 55 milyon metreküp, ikinci fazın ise 2035 yılına kadar işletilerek yıllık kapasitenin 110 milyon metreküpe çıkarılması planlanıyor.



Şekil 4.4. Gazze Şeridi'ndeki geleneksel olmayan su kaynakları müdahalelerine genel bakış

Atıksuyun yeniden kullanımı açısından, Khanyounis, AlBurij ve Kuzey Gazze Acil Kanalizasyon Arıtma (NGEST) adlı üç stratejik atık su arıtma tesisi, 2020-2025'te yılda 46,8 milyon metreküp geri kazanmak için Gazze Şeridi'nde işletiliyor. 2026 yılı

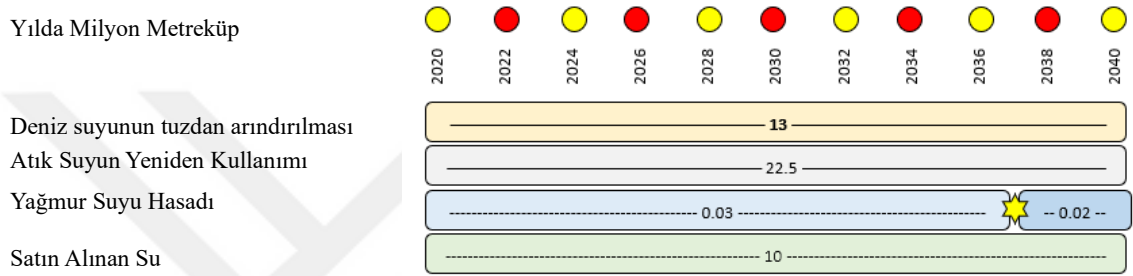
başında arıtma kapasitesinin yılda 85,8 milyon metreküpe çıkarılması planlanıyor. Buna ek olarak, Gazze Şeridi'ndeki su yönetim sistemi, sulama ve yeraltı suyu besleme süreçleri için yağış toplayarak su bütçesini dengelemek için yağmur suyu hasadı kullanıyor. 22 havza ile 0,45 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. İklim değişiklikleri açısından, Al-Najjar ve Ark. tarafından 2040'a kadar Şekil 4.5.'te gösterilen etkili yağış tahmini. (2020), 2020-2037 yılları arasında hasat edilmesi beklenen toplam miktarın yılda 0,03 milyon metreküp, 2038-2040 yıllarında ise yılda 0,02 milyon metreküp hasat edileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.5. (a) 2020-2030, (b) 2031-2040 için Etkili Yağış Tahmini (Al-Najjar ve ark. 2020'ye göre)

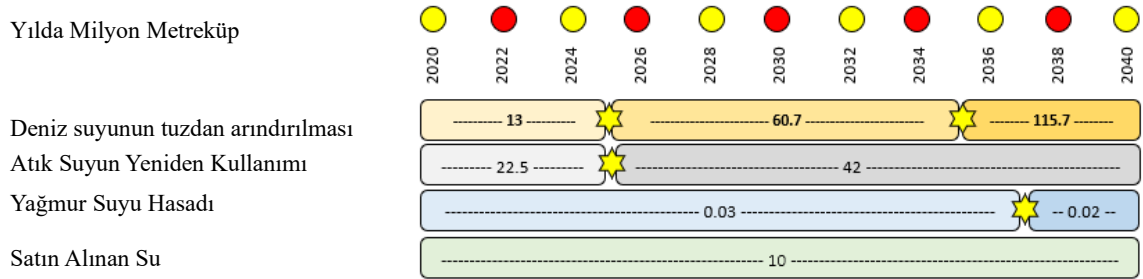
Çalışma alanındaki siyasi durum, su yönetimi planlarının zamanında uygulanmasını yöneten ana itici güçtür. Ancak tüm tarihler ertelenmekte ve suya müdahale uygulamaları hala küçük çaplı olarak yürütülmektedir. Toplamda, konvansiyonel olmayan kaynaklardan sağlanan ilave su miktarları 2020 yılında yaklaşık 70 milyon metreküp olup, 2035 yılı başında üç katına çıkarak 212 milyon metreküpe çıkarılması planlanmaktadır. Gazze Şeridi'nde evsel, endüstriyel ve tarımsal amaçlar için su kaynakları. Sonuç olarak, geleneksel olmayan su kaynakları müdahalelerinin DKG üzerindeki etkisini değerlendirmek için bu çalışmada üç senaryo belirlenmiştir. Üç senaryo, su projelerinin planlı işletimine dayalı olarak belirlenmiş ve tasarlanmıştır.

- Senaryo (I): Su müdahalesi yok ve yeraltı suyu seviyesinin genel eğilimini ele alıyor.
- Senaryo (II): Mevcut uygulamalı su müdahale planı ile devam edilir, Şekil 4.6. ve aşağıdaki kavramsal zaman çerçevesinde açıklandığı gibi STLV projelerinden su kaynakları eklendikten sonra yeraltı suyu seviyesini temsil eder.



Şekil 4.6. Senaryonun İlerlemesi (II)

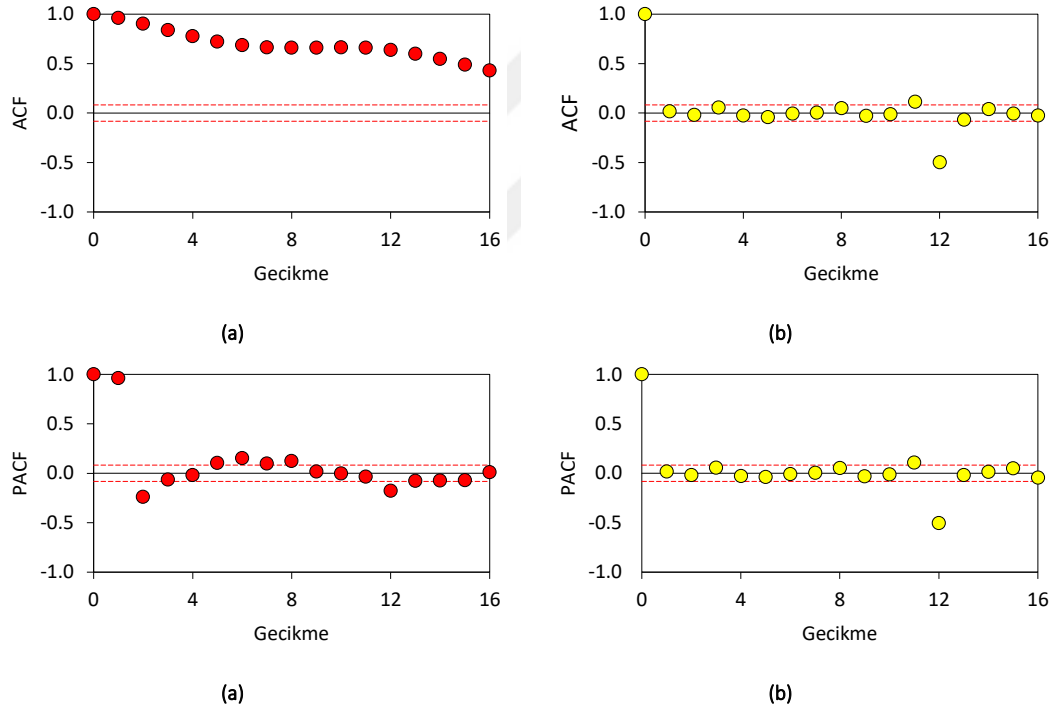
- Senaryo (III): Şekil 4.7.'deki tam su müdahale planının uygulanması ve aşağıdaki kavramsal zaman çerçevesinde açıklandığı gibi Büyük Ölçekli projelerden su kaynaklarının eklenmesinden sonra yeraltı suyu seviyesinin temsil edilmesi.



Şekil 4.7. Senaryonun İlerlemesi (III)

Bu hedeflere ulaşmak için, Şekil 4.2.'de gösterildiği gibi, Gazze Şeridi alanı üzerinde devlet tarafından dağıtılan 10 belediye yeraltı suyu kuyusu için PWA'dan aylık yeraltı suyu tablo seviyesi ve aylık yeraltı suyu çekim verileri toplandı. Seçilen yeraltı suyu kuyuları, 1974-2020 dönemi boyunca temsili okuma kayıtlarına sahiptir ve diğer küçük yeraltı suyu kuyuları arasında önemli su çıkarma oranları sergilemektedir.

2040'a kadar yeraltı suyu seviyesi ve yeraltı suyu çekimi eğilimi için bir projeksiyon sağlamak için, stokastik mevsimsel otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) modeli kalibre edildi ve yeraltı suyu seviyesi zaman serilerinin her biri için olduğu kadar yeraltı suyu çekim zaman serileri için de çalıştırıldı. . Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF) ve Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu (PACF) göstergelerine dayanarak, Şekil 4.8.'de bir örnek gösterilmektedir, zaman serisi verilerinin doğası, (1,1,1)'in stokastik modelinin (2, ,1,2)₁₂ ve (2,1,2) (2,1,2)₁₂, sırasıyla yeraltı suyu seviyesi ve yeraltı suyu çekim hızı zaman serilerini temsil eden eşik modelleridir. Bununla birlikte, modellerdeki yanıtıcılığı ve fazlalığı en aza indirmek için, hem yeraltı suyu seviyesi hem de yeraltı suyu çekim zaman serilerini simüle etmek için bu çalışmada (2,1,2) (2,1,2)₁₂'nin stokastik model yapısı benimsenmiştir.



Şekil 4.8. (a) farksızlık, (b) birinci dereceden fark için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon analizi

Gösterilen stokastik modellerin simülasyon çıktıları, doğruluğun $r=0.94-0.99$ olduğu ve yeraltı suyu seviyesi zaman serileri için RMSE'nin 0.2'den az ve yeraltı suyu çekim zaman serileri için 50.000'den az olduğu kabul edilebilir performans seviyesini ortaya koymaktadır. Önerilen stokastik modellerin mevsimsel olmayan ve mevsimsel parametreleri Tablo 4.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Modeller Otoregresif ve Hareketli Ortalama Parametreleri

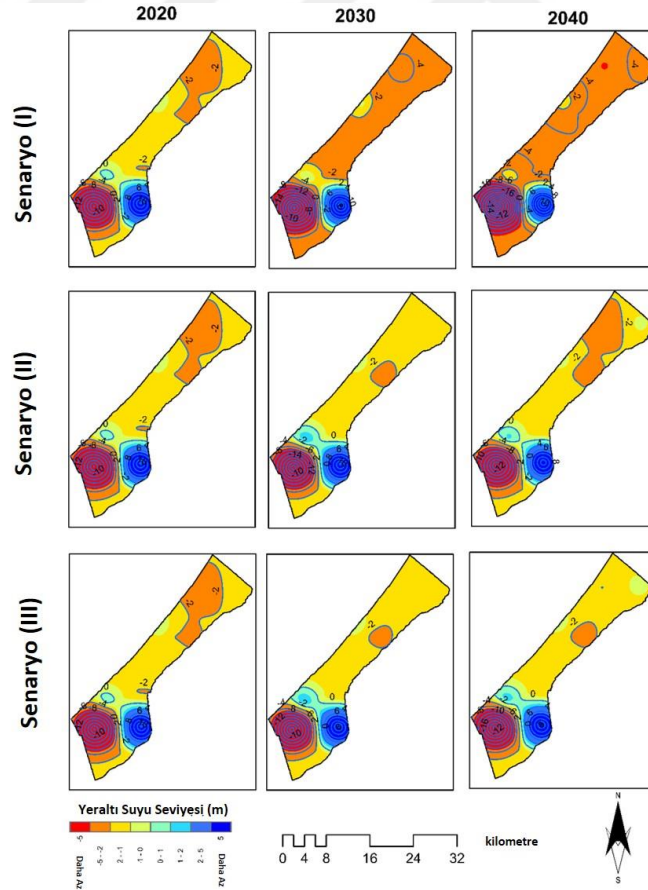
kuyu kimliği	Model	Mevsimsel Olmayan Parametreler				Mevsimsel Parametreler			
		Φ_1	Φ_2	Θ_1	Θ_2	Φ_{1s}	Φ_{2s}	Θ_{1s}	Θ_{2s}
C/48	yeraltı suyu	-0.60	0.05	0.69	-0.01	-0.31	0.02	-0.60	-0.29
	seviyesi								
E/45	Soyutlama yeraltı suyu	0.37	0.25	-0.90	-0.03	0.27	-0.21	-0.68	0.01
	seviyesi								
G/24B	Soyutlama yeraltı suyu	1.54	-0.67	-1.68	0.76	0.45	-0.01	-1.34	0.43
	seviyesi								
F/68B	Soyutlama yeraltı suyu	-0.43	0.26	-0.12	-0.65	-0.40	0.15	-0.21	-0.51
	seviyesi								
S/15	Soyutlama yeraltı suyu	-0.13	0.82	0.01	-0.98	-0.78	-0.09	-0.01	-0.67
	seviyesi								
L/86	Soyutlama yeraltı suyu	0.53	0.14	-1.33	0.35	-0.26	0.02	-0.48	-0.24
	seviyesi								
L/66	Soyutlama yeraltı suyu	0.99	-0.21	-0.75	-0.08	-0.51	0.04	-0.36	-0.57
	seviyesi								
N/12	Soyutlama yeraltı suyu	0.53	0.14	-1.33	0.35	-0.26	0.02	-0.48	-0.24
	seviyesi								
N/16	Soyutlama yeraltı suyu	1.65	-0.87	-1.60	0.74	-0.72	-0.10	-0.31	-0.50
	seviyesi								
P/48A	Soyutlama yeraltı suyu	-0.15	-0.88	0.05	0.89	-0.58	-0.28	-0.38	-0.07
	seviyesi								
	Soyutlama yeraltı suyu	-0.36	0.47	0.13	-0.59	-0.46	0.04	-0.38	-0.50
	seviyesi								
	Soyutlama yeraltı suyu	-0.14	0.66	-0.07	-0.83	-0.46	-0.11	-0.37	-0.27
	seviyesi								
	Soyutlama yeraltı suyu	0.71	-0.17	-0.58	-0.19	-0.70	0.02	-0.30	-0.69
	seviyesi								
	Soyutlama yeraltı suyu	-0.14	0.66	-0.07	-0.83	-0.46	-0.11	-0.37	-0.27
	seviyesi								
	Soyutlama yeraltı suyu	0.60	0.11	-0.13	-0.45	0.03	0.01	-1.03	0.08
	seviyesi								
	Soyutlama yeraltı suyu	-0.14	0.66	-0.07	-0.83	-0.46	-0.12	-0.37	-0.27
	seviyesi								
	Soyutlama yeraltı suyu	0.71	-0.18	-0.62	-0.09	0.00	0.08	-1.06	0.06
	seviyesi								
	Soyutlama yeraltı suyu	-0.14	0.66	-0.07	-0.83	-0.46	-0.11	-0.37	-0.27
	seviyesi								
	Soyutlama yeraltı suyu	0.90	-0.37	-0.70	0.11	-0.88	-0.02	-0.02	-0.90
	seviyesi								
	Soyutlama	0.50	-0.34	-1.11	0.48	0.51	-0.21	-1.14	0.38

Yeraltı suyu seviyesi ile yeraltı suyu çekim hızı arasındaki ilişkiyi yöneten doğal doğrusal olmama durumu, Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli tarafından uygun şekilde tanımlanabilir. Stokastik zaman serisi modelleri, yeraltı suyu seviyesi zaman serilerinin trendini verimli bir şekilde simüle eder ve yeraltı suyu soyutlama serileri ve 2040'a kadar gelecek projeksiyonları tahmin edilmiştir. Model, 46 yıl boyunca stokastik modellerden toplanan aylık geçmiş verilere dayalı olarak kalibre edilmiştir.

Model, korelasyon katsayısı (r) = 0.95-0.99 ve kök ortalama kare hata (RMSE) = 0.09-0.21 olduğunda kabul edilebilir bir doğruluk düzeyi gösterir.

4.5. Sonuç Tartışması

Gazze Şeridi bölgesi, iklim değişikliği etkileri ve aşırı pompalama faaliyetleri nedeniyle GCA'nın yeraltı suyu dengesinde hızlı değişiklikler yaşıyor. Hidrolojik zaman serisi verilerinin belirsiz durumu, hissedarların GCA'nın devam eden ve gelecekteki durumunu izlemesini engellemektedir. Bu çalışma, üç farklı su müdahale senaryosu altında GCA'nın koşullarını incelemektedir. Üç senaryo, simülasyon için stokastik modeller ve YSA'lar ve Şekil 4.9.'de gösterildiği gibi 2020-2040 arası yeraltı suyu seviyesi ve yeraltı suyu çekim zaman serilerinin projeksiyonları kullanılarak incelenmiştir.



Şekil 4.10. Üç Farklı Senaryoda GCA'nın Yeraltı Suyu Seviyesi

Nüfus artışı ve alternatif su kaynaklarının eksikliği nedeniyle yeraltı suyu tüketiminin keskin bir şekilde artması beklenmektedir. Model beklentileri, Gazze Kıyı Akiferinden çıkarılan yeraltı suyunun 2020'de 124 milyon metreküpten 2040'ta yaklaşık %3'lük bir artışla yaklaşık 191 milyon metreküpe yükseleceğini doğrulamaktadır. Stokastik zaman serisi modelleri, GCA'nın yeraltı suyu dengesinin, yeraltı suyu seviyesinin ciddi şekilde MSL'nin altına düştüğü durumlarda ciddi tükenmeye maruz kaldığını göstermektedir. Senaryo (I) için stokastik-ANN modelinin yeraltı suyu simülasyon bulguları, yeraltı suyu seviyesindeki düşüşün 2020'de MSL'nin -0.38 ila -18.49 m altında ve 2040'ta MSL'nin -1.13 ila -27.77 m altında olduğunu göstermektedir. Coğrafi olarak, Gazze Şeridi'nin güney valilikleri, özellikle Refah'ta, yeraltı suyu dengesinde, 2040'ta yeraltı suyundaki düşüşün MSL'nin -27.77 m altına ulaşacağı diğer yerlere göre daha fazla eksiklik gösteriyor. Gazze Şeridi'nin güney kısmı en kalabalık bölgeyi gösteriyor. 2040 yılında ortaya çıkan koni çöküntünün çapının 4-5 km'ye ulaşacağı Gazze Şeridi'nde. Ancak, Senaryo (II)'nin su yönetimi müdahale planı, artışla başa çıkabilmek için önümüzdeki 10 yıl içinde DGK'nın toparlanmasını artıracaktır. nüfus artışı ve kuraklık sonuçları nedeniyle su kıtlığı. Senaryo (III)'de açıklandığı gibi 2030 yılından sonra geleneksel olmayan su kaynaklarının miktarının iki katına çıkarılması, Gazze Şeridi'nin güney valiliklerinin kritik bölgesinde Senaryo (I)'ye kıyasla yeraltı suyu seviyesinde beklenen düşüşü %47 oranında durduracaktır. Abualtayef ve Ark. tarafından kalibre edilen ve çalıştırılan sayısal modelin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında. (2017), Modflow platformunu benzer su müdahalelerinde kullanarak ancak biraz farklı varsayımlarla, mevcut uygulama senaryosu (II) kapsamındaki yeraltı suyu durumu, Gazze Şeridi'nin güney bölgesinde 2040 yılına kadar -24 m MSL'ye ulaşan bir çöküntüye atıfta bulunmaktadır. senaryo (I) ile karşılaştırıldığında +4 m. Ancak, senaryo (III)'ün benzer koşulları altında, 2040 yılına kadar yeraltı suyundaki restorasyon +10 m ve su tablası seviyesi -18 m MSL olacaktır. Bu çalışmanın bulguları sayısal model sonuçları ile uyumludur.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE TAVSİYELER

Kuraklığın izlenmesi ve iklim parametrelerinin eğiliminin tahmin edilmesi, iklim değişikliğinin kuraklık veya sel olaylarının zamansal ve mekansal dağılımı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. SPEI'nin performansı, yağış ve sıcaklık açısından kuraklık etkileşiminin doğru bir göstergesini verir, ancak SPI sadece yağışa bağlı olarak kuraklık koşullarını ortaya çıkarır. Stokastik modellerin sağlamlığı, bu modelleri, gözlem modelini taklit etmek ve zaman serisinin doğal eğilimine bağlı olarak gelecekteki koşulları tahmin etmek için bir simülatör olarak destekler. Bununla birlikte, stokastik modeller, yapay sinir ağı (YSA) gibi diğer teknikleri entegre ederek üstesinden gelinen aykırı gözlemlere ulaşmada önemli bir eksiklik göstermektedir. Bu çalışmada, stokastik modeller, düşük yağış ve düşük aykırı değer ölçümleri nedeniyle Gazze Şeridi'ndeki yağışların modellenmesi ve tahmin edilmesinde yüksek doğruluk göstermektedir. MENA'nın Doğu Akdeniz bölgesi için bölgesel SPEI kuraklık değerlendirmesi, Gazze Şeridi'ndeki kuraklık koşullarının 1970'lerde ıslak veya kurak olmayan koşullardan son on yılda orta ila şiddetli kuraklığa geçtiğini ve kuraklık oluşma olasılığının şu şekilde arttığını göstermektedir. %40'tan fazla. Yerel olarak, SPI ölçeğine ve PWA tarafından kabul edilen ortalama yağış miktarına bağlı olarak, kuraklığın yerel zamansal ve mekansal tanısal değerlendirmesi, önümüzdeki 20 yıl içinde uygulanması planlanan öngörülen ulusal su temini projelerinin etkinliğini izlemek için çok önemlidir. Gazze Şeridi'ndeki yaşamın sürdürülebilirliğini korumak için. Bu nedenle, tarihsel analiz, Gazze Şeridi'nin, genel olarak, yılda 370 mm'den daha yüksek önemli yağış miktarlarıyla karşı karşıya kalan kuzeyde, Gazze Şeridi'nde kuraklık koşullarının potansiyel oluşumunun %8 arasında değiştiği ciddi gelişen kuraklık koşullarıyla karşı karşıya olduğunu göstermektedir. ve yıllık 370 mm'den az yağış koşulları nedeniyle kronik yıllık kuraklık olayları taşıyan güneyde %100. Sonuç olarak, önümüzdeki 20 yıl boyunca, Gazze Şeridi'ndeki kuraklık modeli, kuzeyde yılda ortalama 433 mm yağışla kuraklık gösterirken, güneyde yılda ortalama 242 mm

yağışla normalden şiddetliye doğru yağış almaktadır. PWA, önümüzdeki yirmi yıl boyunca tehlikeli kuraklığın etkisini gidermek için stratejik su müdahalelerini benimsedi. Bu müdahalelerin ana kısmı, su açığını yaklaşık %60 oranında azaltmak için büyük ölçekli bir deniz suyu tuzdan arındırma tesisi işletmektir. Ayrıca, yeraltı suyu beslemesi ve tarımsal sulama için su sağlamak için ıslah atıksu projeleri tamamlanacaktır.

Gazze Kıyı Akiferinin Yeraltı Suyu, Gazze Şeridi'ndeki iklim koşullarından etkilenen ve küresel ısınmanın etkisiyle önemli değişim izlerini ortaya çıkaran kırılganlıktır. Ayrıca, hızlı nüfus artışına paralel olarak yeraltı suyu pompalama faaliyetlerinin hızla artması, Kıyı Akiferinin sürdürülebilir üretimini açıkça etkilemektedir. Gazze Kıyı Akiferi için yeraltı suyu davranış biçiminin çalışılmasını sağlayacak sağlam bir simülâtörün olmaması, yeraltı suyu dinamiğinin zamansal ve mekansal olarak doğru anlaşılmasını engellemektedir. Bu nedenle, stokastik modellerin gücünü kullanarak gelecek geleceği tahmin etmek için geçmiş davranışı simüle ederek yeraltı suyu seviyesini araştırmak, Gazze Kıyı Akiferi için yeraltı suyu dalgalanmasının genel eğilimini temsil edecek kadar verimliydi. Stokastik modeller, verileri simüle etmede iyi bir yetenek gösterir, ancak asıl eksiklik, verilerin anormal değerlerini yakalamada tanımlanır. Bu nedenle, stokastik modellerin temsil davranışının yanı sıra iklim parametrelerinin ve pompalama faaliyetlerinin etkisini dikkate alan entegre bir model oluşturmak için yapay sinir ağlarının (YSA) değerini ortaya çıkararak stokastik modellerin uygulanabilirliğini arttırmak. , Gazze Kıyı Akiferinin yeraltı suyunu simüle etmek için bu çalışmada mükemmel bir şekilde ele alındı. Yeraltı suyu seviyesinin değişen trendinin zamansal ve mekansal olarak modellenmesi ve tahmin edilmesi, Gazze Kıyı Akiferinin su dengesinde açık bir eksiklik olduğunu göstermektedir. 2020-2040, Gazze Şeridi'ndeki iklim ve su güvenliği için kritik bir dönemdir ve sıcaklıktaki yaklaşık +1°C artışa bağlı olarak, 2040 yılına kadar aylık ortalama yağış miktarı yaklaşık 21-33 mm'dir. Yağışlardan gelen düşük şarj ve yüksek buharlaşma süreci ışığında, yeraltı suyu seviyesindeki depresyon 2040'ta yaklaşık -28 m'lik maksimum düşük seviyeye ulaşacaktır. Gazze Kıyı Akiferinin yeraltı suyu dağılım haritasındaki değişim şu şekilde değişecektir: %51'den fazla daha fazla bozulmaya doğru.

Kıyı Akiferinin sürdürülebilirliğini desteklemek ve Gazze Şeridi'ndeki ekonomik faaliyetleri geliştirmek için geleneksel olmayan su kaynakları müdahale planları ve optimal yönetim stratejileri şiddetle tavsiye edilmektedir. Yönetim stratejileri, temel olarak yeraltı suyunun kullanım şeklini değiştirmeli ve deniz suyunu tuzdan arındırma ve atık su ıslahı gibi geleneksel olmayan suların kullanımını teşvik etmelidir. Veriye dayalı stokastik ve yapay zeka modelleri, su yöneticilerinin su yönetim planlarının verimliliğini değerlendirmesini sağlamak için farklı fiziksel parametreler ve yeraltı suyu tabloları arasındaki karşılıklı ilişkileri simüle etmek için sağlam ve doğru araçlardır. 2020-2040 zaman diliminde incelenen ve PWA tarafından GCA'nın sürdürülebilir geri kazanımı için kabul edilen su müdahale yönetim planı, su yönetimi planları boyunca alınan azaltıcı önlemlere yanıt olarak yeraltı suyu durumunun bir restorasyon şekli gösterdiğini göstermektedir. Spesifik olarak, yeraltı suyu seviyesinin mevcut durumu, MSL'nin yaklaşık -18,5 m altında, 2040 yılına kadar MSL'nin -28 m altına düşmeye devam etmesi beklenen ciddi bir çöküntü ile rapor edilmektedir. Deniz suyunu tuzdan arındırma müdahalesi, durgunluğun sona ermesine önemli katkı sağlamaktadır. Katkı oranının 2020'de yaklaşık %28'den 2040'a kadar yaklaşık %54'e çıkarılacağı yer altı sularındaki azalma. Ayrıca, atıksu yeniden kullanımı, yılda 22,5 milyon metreküp kapasite ile toplam geleneksel olmayan su kaynaklarının yaklaşık %49'unu oluşturmaktadır ve 2040 yılına kadar iki katına çıkacağı tahmin ediliyor. Gazze Şeridi'ndeki iklim değişikliği ve kuraklığın etkileri, düşük yağış seviyeleri nedeniyle yağmur suyu hasadı uygulamasını verimsiz kılıyor. Genel olarak, senaryo (II) kapsamındaki konvansiyonel olmayan su kaynakları müdahale planı, 2020-2030 döneminde GCA statüsünde önemli bir restorasyon olduğunu ortaya koymaktadır, ancak bu sürenin ötesinde yeni su kaynakları su sistemi ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmaktadır ve bu nedenle, Yeraltı suyu tekrar tatbik edilecektir. Ancak, senaryo (III) kapsamındaki su müdahalesi, yeraltı suyu kuyularından su çıkarmaya gerek kalmadan su gereksinimlerini karşılamaya devam edecektir. Sonuç olarak, yeni su kaynaklarının ortaya çıkması ve yeraltı suyu pompalamanın durdurulması, DGK dengesini iyileştirecek ve senaryo durumunda yeraltı suyu seviyesinin % 47 oranında düzeleceğini beklentilerin gösterdiği su tablasındaki bozulmayı durduracaktır (III) senaryo (I) ile karşılaştırma.

KAYNAKLAR

- Abbaspour, K. C., Faramarzi, M., Ghasemi, S. S., Yang, H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research.*, 45(10):1-16. doi:10.1029/2008wr007615.
- Abeyasingha, N. S., Rajapaksha, U. R. L. N. 2020. SPI-Based Spatiotemporal Drought over Sri Lanka. *Advances in Meteorology.*, 1–10. doi:10.1155/2020/9753279.
- Abuatayef, M., Kahail, A., Al-Najjar, H., AbuShbak, T. 2020. Applicability of using reverse osmosis membrane technology for wastewater reclamation in the Gaza strip, *The Journal of Engineering Research (TJER).*, 17 (1): 11-23.
- Abualtayef, M., Rahman, G. A., Snounu, I., Qahman, K., Sirhan, H., Seif, A. K. 2017. Evaluation of the effect of water management interventions on water level of Gaza coastal aquifer. *Arabian Journal of Geosciences.*, 10(24). doi:10.1007/s12517-017-3329-x.
- Abualtayef, M. Al-Najjar, H., Mogheir, Y., Seif, A. K. 2016. Numerical modeling of brine disposal from Gaza central seawater desalination plant. *Arabian Journal of Geosciences.*, 9(10): 572.
- Abu-alnaeem, M. F., Yusoff, I., Ng, T. F., Alias, Y., Raksmeiy, M. 2018. Assessment of groundwater salinity and quality in Gaza coastal aquifer, Gaza Strip, Palestine: An integrated statistical, geostatistical and hydrogeochemical approaches study. *Science of The Total Environment.*, 615:972–989.
- Abramowitz, M., Stegun, I. A. 1970. *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables.* Dover Publications, INC. New York, NY, USA.
- Adamowski, J., Chan H. F., Prasher S. O., Ozga-Zielinski B., Sliusarieva A. 2012. Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network, and wavelet artificial neural network methods for urban water demand forecasting in Montreal, Canada. *Water Resources Research.*, 48:273–279.
- Adamowski J., Chan F. H. 2011. A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting. *Journal of Hydrology.*, 407(1-4):28-40.
- Afan, H. A., El-Shafie, A., Yaseen, Z. M., Hameed, M. M., Wan Mohtar, W. H. M., Hussain, A. 2015. ANN based sediment prediction model utilizing different input scenarios. *Water Resources Management.*, 29(4):1231–1245.

- Aladaileh, H., Al Qinna, M., Barta, K., Al-Karablieh, E., Rakonczai, J., Alobeiaat A. 2019. A Drought Adaptation Management System for Groundwater Resources Based on Combined Drought Index and Vulnerability Analysis. *Earth Systems and Environment.*, 3: 445–461. doi:10.1007/s41748-019-00118-9.
- Aleisa, E. Al-Zubari, W. 2017. Wastewater reuse in the countries of the Gulf Cooperation Council (GCC): the lost opportunity. *Environmental Monitoring and Assessment.*, 189(11): 553 doi:10.1007/s10661-017-6269-8.
- Alagha, J. S., Seyam, M., Md Said, M. A., Mogheir Y. 2017. Integrating an artificial intelligence approach with k-means clustering to model groundwater salinity: the case of Gaza coastal aquifer (Palestine). *Hydrogeology Journal.*, 25:2347–2361.
- Alagha, J. S., Said, M. A. M., Mogheir, Y. 2014. Modeling of nitrate concentration in groundwater using artificial intelligence approach—a case study of Gaza coastal aquifer. *Environmental Monitoring and Assessment.*, 186:35–45.
- Alamgir, M., Shahid, S., Mohsenipour, M., Ahmed, K. 2015. Return Periods of Extreme Meteorological Droughts during Monsoon in Bangladesh. *Applied Mechanics and Materials.*, 735: 186-189. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.735.186.
- Alcamo J., Dronin N., Endejan M., Golubev G., Kirilenko A. 2007. A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia. *Global Environ. Change.*, 17: 429–444.
- Almedeij J. 2014. Drought Analysis for Kuwait Using Standardized Precipitation Index. *The Scientific World Journal.*, 1-9. doi:10.1155/2014/451841.
- Al-Najjar, H., Ceribasi, G. Dogan, E., Abualtayef, M., Qahman, K., Shaqfa, A. 2020. Stochastic time-series models for drought assessment in the Gaza Strip (Palestine). *Journal of Water and Climate Change.*, 11 (S1):85–114.
- Alqaysi, N.H.H., Dursun, S., Almuslehi, M.A.A. 2017. Estimating Drought Index Using Standardized Precipitation Index from 1901 to 2015, Turkey. *Journal of International Environmental Application and Science.*, 12(3): 154-160.
- Al-Qinna, M. I., Hammouri, N. A., Obeidat, M. M., Ahmad, F. Y. 2010. Drought analysis in Jordan under current and future climates. *Climatic Change.*, 106(3): 421–440. doi:10.1007/s10584-010-9954-y.
- Alqahtani, A., Sale, T., Ronayne, M. J. C. 2021. Demonstration of Sustainable Development of Groundwater through Aquifer Storage and Recovery (ASR). *Water Resources Management.*, 35:429–445. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02721-2>.
- Anderson, D. J. 2017. Coastal Groundwater and Climate Change. WRL Technical Report 2017/4. Water Research laboratory, University of New South Wales, School of Civil Engineering.
- Awchi, T. A., Kalyana, M. M. 2017. Meteorological drought analysis in northern Iraq using SPI and GIS. *Sustainable Water Resources Management.*, 3(4):451–463. doi:10.1007/s40899-017-0111-x.

- Baruga, C. K., Kim, D., Choi, M. 2020. A national-scale drought assessment in Uganda based on evapotranspiration deficits from the Bouchet hypothesis. *Journal of Hydrology*, 580:1-44. doi:10.1016/j.jhydrol.2019.124348.
- Barzegar, R., Fijani, E., Asghari Moghaddam, A., Tziritis, E. 2017. Forecasting of groundwater level fluctuations using ensemble hybrid multi-wavelet neural network-based models. *Science of The Total Environment*, 599–600: 20–31.
- Bazrafshan, O., Salajegheh, A., Bazrafshan, J., Mahdavi, M., Marj, A. F. 2015. Hydrological Drought Forecasting using ARIMA Models (Case Study: Karkheh Basin). *ECOPERSIA*, 3(3): 1099-1117.
- Bishop, C. M. 1995. *Neural networks for Pattern Recognition*. Oxford University Press, Inc., 198 Madison Ave. New York, NY, United States.
- Box, G. E. P., Jenkins, G.M. 1970. *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. Holden-Day, San Francisco.
- Box G. E. P., Jenkins G. M. 1976. *Time Series Analysis: Forecasting and control*, rev. ed. Holden-Day, San Francisco.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C. 2008. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 4th ed. Wiley Series in Probability and Statistics, Wiley, Hoboken, NJ.
- Butler J. J., Stotler J. R. L., Whittemore D. O., Reboulet E. C. 2013. Interpretation of water-level changes in the High Plains aquifer in western Kansas, *Groundwater*, 51(2):180– 190.
- Byun, H. R., Wilhite, D. A. 1999. Objective Quantification of Drought Severity and Duration. *Journal of Climate*, 12(9):2747–2756.
- Caloiero, T., Veltri, S., Caloiero, P., Frustaci, F. 2018. Drought Analysis in Europe and in the Mediterranean Basin Using the Standardized Precipitation Index. *Water*, 10(8), 1043. doi:10.3390/w10081043.
- Cancelliere, A., Salas, J. D. 2004. Drought length properties for periodic-stochastic hydrologic data. *Water Resources Research*, 40(2):1-13. doi:10.1029/2002wr001750.
- Cancelliere, A., Mauro, G. D., Bonaccorso, B., Rossi, G. 2007. Stochastic Forecasting of Drought Indices. In: Rossi, G., Vega, T., Bonaccorso B. (eds) *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*. Water Science and Technology Library, vol 62. Springer, Dordrecht. doi.org/10.1007/978-1-4020-5924-7_5.
- Chatfield, C. 2008. *The analysis of time series: An introduction*. 6th edition. A CRC Press Company of Taylor and Francis Group. New York.
- Chang, F. J., Chang L. C., Huang C. W., Kao I. F. 2016. Prediction of monthly regional groundwater levels through hybrid soft-computing techniques. *Journal of Hydrology*, 541:965-976.
- Chen, S. H., Jakeman, A. J., Norton, J. P. 2008. Artificial intelligence techniques: an introduction to their use for modelling environmental systems. *Mathematics and Computers in Simulation*, 78(2):379–400.

- Chen, L. H., Chen, C. T., Lin, D. W. 2011. Application of integrated back-propagation network and self-organizing map for groundwater level forecasting. *Journal of Water Resources Planning and Management.*, 137 (4), 352–365.
- Clifton, C., Evans, R., Hayes, S., Hirji, R., Puz, G., Pizarro, C. 2010. Water and Climate Change: Impacts on groundwater resources and adaptation options. *Water Working Notes*, Note: No. 25.
- Chen, W. P., Bai, Y. Y., Zhang, W. L., Lyu, S. D., Jiao, W. T. 2015. Perceptions of different stakeholders on reclaimed water reuse: the case of Beijing, China. *Sustainability.*, 7:9696–9710.
- Dong, Y., Jiang, C., Suri, M. R., Pee, D., Meng, L., Rosenberg G, Rachel E. 2019. Groundwater level changes with a focus on agricultural areas in the Mid-Atlantic region of the United States, 2002–2016. *Environmental Research.*, 171:193-203.
- Duong, K. S., Jean-Daniel M. 2015. Obstacles to wastewater reuse: an overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water.*, 2(3), 199–214. doi:10.1002/wat2.1074.
- Dawoud, M. A., Al Mulla, M. M. 2012. Environmental Impacts of Seawater Desalination: Arabian Gulf Case Study *International Journal of Environment and Sustainability.*, 1(3):22-37.
- Dentoni, M., Deidda, R., Paniconi, C., Qahman, K., Lecca, G. 2014. A simulation/optimization study to assess seawater intrusion management strategies for the Gaza Strip coastal aquifer (Palestine). *Hydrogeology Journal.*, 23(2): 249–264. doi:10.1007/s10040-014-1214-1.
- Dickey, D. A., Fuller, W. A. 1979. Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association.*, 74(366a): 427–431. doi:10.1080/01621459.1979.10482531.
- Djebbouai, S., Souag-Gamane, D. 2016. Drought Forecasting Using Neural Networks, Wavelet Neural Networks, and Stochastic Models: Case of the Algerois Basin in North Algeria. *Water Resources Management.*, 30(7): 2445–2464. doi:10.1007/s11269-016-1298-6.
- Djurovic, N., Domazet, M., Stricevic, R., Pocuca, V., Spalevic, V., Pivic, R., Gregoric, E., Domazet, U. 2015. Comparison of Groundwater Level Models Based on Artificial Neural Networks and ANFIS. *The Scientific World Journal.*, 1–13.
- Dogrul, E., Brush, C., Kadir, T. 2016. Groundwater Modeling in Support of Water Resources Management and Planning under Complex Climate, Regulatory, and Economic Stresses. *Water.*, 8(12), 592.
- Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., Huang, Y. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.*, 23: 245-253. doi:10.1016/j.jag.2012.09.010.
- Dai, A., Trenberth, K. E., Qian T. 2004. A Global Dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with Soil Moisture and Effects of Surface Warming. *American Meteorological Society. Journal of Hydrometeorology.*, 5 (6): 1117-1130. doi:10.1175/JHM-386.1.

- Doroszkievicz, J., Romanowicz R.J., Kiczko A. 2019. The Influence of Flow Projection Errors on Flood Hazard Estimates in Future Climate Conditions. *Water*, 11(1):49-68. doi.org/10.3390/w11010049.
- Ebrahimi, H., Rajaei, T. 2017. Simulation of groundwater level variations using wavelet combined with neural network, linear regression and support vector machine. *Global and Planetary Change*, 148: 181–191.
- Efstathiou, M. N., Varotsos, C.A. 2012. Intrinsic properties of Sahel precipitation anomalies and rainfall. *Theoretical and Applied Climatology*, 109(3-4): 627–633. doi: 10.1007/s00704-012-0605-2.
- El Baba, M., Kayastha, P., Huysmans, M., De Smedt, F. 2020. Evaluation of the Groundwater Quality Using the Water Quality Index and Geostatistical Analysis in the Dier al-Balah Governorate, Gaza Strip. Palestine. *Water*, 12(1): 262. doi:10.3390/w12010262.
- Elkollaly, M., Khadr, M., Zeidan, B. 2017. Drought analysis in the Eastern Nile basin using the standardized precipitation index. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-016-8347-9.
- Emamgholizadeh, S., Moslemi, K., Karami, G. 2014. Prediction the Groundwater Level of Bastam Plain (Iran) by Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). *Water Resources Management*, 15: 5433–5446.
- Fienen, M. N., Arshad, M. 2016. The International Scale of the Groundwater Issue. *Integrated Groundwater Management*, 21–48. doi:10.1007/978-3-319-23576-9_2.
- Famiglietti, J.S. 2014. The global groundwater crisis. *Nature Climate Change*, 4(11):945–948. doi:10.1038/nclimate2425.
- FAO. 2018. Drought characteristics and management in North Africa and the Near East. *FAO water reports*, Food and Agricultural Organization of the United Nations., Rome.
- FAO. 2010. Global Forest Resource Assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Fedoroff, N. V., Battisti, D. S., Beachy, R. N., Cooper, P. J. M., Fischhoff, D. A., Hodges, C. N., Knauf, V. C., Lobell, D., Mazur, B. J., Molden, D., Reynolds, M. P., Ronald, P. C., Rosegrant, M. W., Sanchez, P. A., Vonshak, A., Zhu, J. K. 2010. Radically rethinking agriculture for the 21st century., *Science* 327:833–834.
- Galloway, D. L., Burbey, T. J. 2011. Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction., 19(8):1459–1486.
- Gampe, D., Ludwig, R., Qahman, K., Afifi, S. 2016. Applying the Triangle Method for the parameterization of irrigated areas as input for spatially distributed hydrological modeling — Assessing future drought risk in the Gaza Strip (Palestine). *Science of The Total Environment*, 543: 877–888. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.07.098.

- Gaur, A., Gaur, A., Simonovic, S. 2018. Future Changes in Flood Hazards across Canada under a Changing Climate. *Water*, 10(10): 1441-1462. doi:10.3390/w10101441.
- Gong, Y., Zhang, Y., Lan, S., Wang, H. 2016. A comparative study of artificial neural networks, support vector machines and adaptive neuro fuzzy inference system for forecasting groundwater levels near Lake Okeechobee, Florida. *Water Resources Management*, 30:375–391.
- Gladden, I. A., Park, N. S. 2016. *Coastal Groundwater Development: Challenges and Opportunities*. 1st Edition. CRC Press.
- Guzman, S. M., Paz J. O., Tagert M. L. M., Mercer A. E. 2019. Evaluation of Seasonally Classified Inputs for the Prediction of Daily Groundwater Levels: NARX Networks Vs Support Vector Machines. *Environmental Modelling and Assessment*, 24:223–234.
- Gupta, A. K., Nair, S. S., Ghosh, O., Singh, A., Dey, S. 2014. *Bundelkhand drought: Retrospective analysis and way ahead*. New Delhi: National Institute of Disaster Management, 148.
- Gibbs, W. J., Maher, J. V. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Melbourne: Bureau of Meteorology., Bulletin No 48. Australia, 44-84.
- Gopalakrishnan, T., Hasan, M. K., Haque, A. S., Jayasinghe, S. L., Kumar, L. 2019. Sustainability of Coastal Agriculture under Climate Change. *Sustainability*, 11(24): 7200.
- Guttman, N. B. 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1): 113–121. doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.x.
- Golovina, E., Grebneva, A. 2021. Some Aspects of Groundwater Resources Management in Transboundary Areas. *Journal of Ecological Engineering*, 22(4):106–118.
- Gleeson, T., VanderSteen, J., Sophocleous, M. A., Taniguchi, M., Alley, W. M., Allen, D. M., Zhou, Y. 2010. Groundwater sustainability strategies., 3(6), 378–379. doi:10.1038/ngeo881.
- Hussain, M. I., Muscolo, A., Farooq, M., Ahmad, W. 2019. Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. *Agricultural Water Management*, 221:462–476.
- Hauser, M., Gudmundsson, L., Orth, R., Jézéquel, A., Haustein, K., Vautard, R., Geert Jan van Oldenborgh G. J. V, Wilcox, Seneviratne S. I. 2017. Methods and model dependency of extreme event attribution: The 2015 European drought. *Earth's Future*, 5(10): 1034–1043. doi:10.1002/2017ef000612.
- Habibi, B., Meddi, M., Torfs, P. J. J. F., Remaoun, M., Van Lanen, H. A. J. 2018. Characterisation and prediction of meteorological drought using stochastic models in the semi-arid Chélif–Zahrez basin (Algeria). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 16:15–31. doi:10.1016/j.ejrh.2018.02.005.

- Han, P., Wang, P. X., Zhang, S. Y., Zhu, D. H. 2010. Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models. *Mathematical and Computer Modelling*, 51(11-12): 1398-1403. doi:10.1016/j.mcm.2009.10.031.
- Halwatura, D., McIntyre, N., Lechner, A. M., Arnold, S. 2017. Capability of meteorological drought indices for detecting soil moisture droughts. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 12: 396-412. doi:10.1016/j.ejrh.2017.06.001.
- Hao, Z., AghaKouchak, A. 2013. Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model. *Advances in Water Resources*, 57:12–18. doi:10.1016/j.advwatres.2013.03.009.
- Haykin, S. 2009. *Neural Networks and Learning Machines*, 3rd eds. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey
- He, Z., Zhang, Y., Guo, Q., Zhao, X. 2014. Comparative study of artificial neural networks and wavelet artificial neural networks for groundwater depth data forecasting with various curve fractal dimensions. *Water Resources Management*, 28:5297–5317.
- Hussain, M. I., Muscolo, A., Farooq M., Ahmad W. 2019. Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. *Agricultural Water Management*, 221:462–476.
- Hingray, B., Picouet C., Musy, A. 2014. *Hydrology A science for engineers*. CRC Press, Taylor and Francis Group. New York.
- Heihsel, M., Lenzen, M., Malik, A., Geschke, A. 2019. The carbon footprint of desalination. *Desalination*, 454, 71–81. doi:10.1016/j.desal.2018.12.008.
- Sharma, P., Machiwal, D., Jha, M.K. 2019. Overview, Current Status, and Future Prospect of Stochastic Time Series Modeling in Subsurface Hydrology. *GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science*, 133–151. doi:10.1016/b978-0-12-815413-7.00010-9.
- Samkhitin, V. U., Hughes, D. A. 2004. Review automated estimation and analyses of drought indices in South Asia. Working Paper 83. Colombo, Sri Lanka. International Water Management Institute.
- Issar, A. S. 2003. *Climate changes during the Holocene and their impact on hydrological systems*. Cambridge University Press, New York.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
- Jalalkamali, A., Sedghi, H., Manshouri, M. 2011. Monthly groundwater level prediction using ANN and neuro-fuzzy models: a case study on Kerman plain, Iran. *Journal of Hydroinformatics*, 13(4):867–876.

- Javanmard, S., Emamhadi, M., BodaghJamali, J., Didehvarasl, A. 2017. Spatial – Temporal Analysis of Drought in Iran Using SPI During a Long - Term Period, *Earth Sciences.*, 6(2): 15-29. doi: 10.11648/j.earth.20170602.12.
- Juan, C., Genxu, W., Tianxu, M. 2015. Simulation and prediction of suprapermafrost groundwater level variation in response to climate change using a neural network model. *Journal of Hydrology.*, 529:1211–1220.
- Kretschmer, P. 2017. Managed Aquifer Recharge Schemes in the Adelaide Metropolitan Area; Government of South Australia, Department of Environment, Water and Natural Resources: Adelaide, South Australia.
- Khaki, M., Yusoff, I., Islami, N. 2015. Simulation of groundwater level through artificial intelligence system. *Environmental Earth Sciences.*, 73(12): 8357-8367.
- Khalil, B., Broda, S., Adamowski, J., Ozga-Zielinski, B., Donohoe, A. 2015. Short-term forecasting of groundwater levels under conditions of mine-tailings recharge using wavelet ensemble neural network models. *Journal of Hydrogeology.*, 23:121–141.
- Kouziokas, G. N., Chatzigeorgiou, A., Perakis, K. 2018. Multilayer feed forward models in groundwater level forecasting using meteorological data in public management. *Water Resources Management.*, 32:5041–5052.
- Khorasani, M., Ehteshami, M., Ghadimi, H., Salari, M. 2016. Simulation and analysis of temporal changes of groundwater depth using time series modeling. *Modeling Earth Systems and Environment.*, 2(2):1-10. doi:10.1007/s40808-016-0164-0.
- Koopmans, L. H. 1974. *The Spectral Analysis of Time Series*. New York: Academic Press, Inc.
- Kashyap, R. L., Rao, A. R. 1976. Dynamic stochastic models from empirical data. In: *Mathematics in Science and Engineering*. Academic Press, Inc., London, U.K, (122) 334.
- Kumbuyo, C. P., Yasuda, H., Kitamura, Y., Shimizu, K. 2014. Fluctuation of rainfall time series in Malawi: An analysis of selected areas. *GEOFIZIKA.*, 31: 15-2. DOI: 10.15233/gfz.2014.31.
- Kottegoda, N. T. 1980. *Stochastic water resources technology*. 1st eds. Palgrave Macmillan UK., 384.
- Kogan, F. N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research.*, 15(11): 91-100. doi:10.1016/0273-1177(95)00079-t.
- Karavitis, C. A., Vasilakou, C. G., Tsesmelis, D. E., Oikonomou, P. D., Skondras, N. A., Stamatakis, D., Fassouli, V., Alexandris, S. 2015).” Short-term drought forecasting combining stochastic and geo-statistical approaches. *European Water.*, 49: 43-63.
- Krishna, B., Satyaji Rao, Y. R., Vijaya, T. 2008. Modelling groundwater levels in an urban coastal aquifer using artificial neural networks., *Hydrological Process.*, 22(8):1180–1188.

- Karimi, L., Motagh, M., Entezam, I. 2019. Modeling groundwater level fluctuations in Tehran aquifer: Results from a 3D unconfined aquifer model. *Groundwater for Sustainable Development.*, 8:439-449.
- Kwak, J., Kim, S., Jung, J., Singh, V. P., Lee D. R., Kim, H. S. 2016. Assessment of Meteorological Drought in Korea under Climate Change. *Advances in Meteorology.*, 1-13. doi:10.1155/2016/1879024.
- Keka, I. A., Matin, I., Rahman, M., Banu, D. A. 2012. Analysis of Drought in Eastern Part of Bangladesh. *Daffodil International University Journal of Science and Technology.*, 7(1): 20-26. doi: 10.3329/diujst.v7i1.9643.
- Keramat, A., Marivani, B., Samsami, M. 2011. Climatic change, drought and dust crisis in Iran. *International Journal of Geological and Environmental Engineering.*, 5(9):472-475. doi.org/10.5281/zenodo.1058935.
- Kampragou, E., Apostolaki, S., Manoli, E., Froebrich, J., Assimacopoulos, D. 2011. Towards the harmonization of water-related policies for managing drought risks across the EU. *Environmental Science and Policy.*, 14(7):815–824. doi:10.1016/j.envsci.2011.04.001.
- Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M. A., Seager, R., Kushnir, Y. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences.*, 112(11):3241-3246. doi:10.1073/pnas.1421533112.
- Lyu, S., Chen, W., Zhang, W., Fan, Y., Jiao, W. 2015. Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. *Journal of Environmental Sciences.*, 39: 86-96.
- Lattemann, S., Höpner, T. (2008). Environmental impact and impact assessment of seawater desalination, *Desalination.*, 220:1–15. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.03.009>.
- Lin, J., Snodsmith, J. B., Zheng, C., Wu, J. 2009. A modeling study of seawater intrusion in Alabama Gulf Coast, USA., 57(1):119–130.
- Lee, S., Lee, K. K., Yoon, H. 2019. Using artificial neural network models for groundwater level forecasting and assessment of the relative impacts of influencing factors. *Journal of Hydrogeology.*, 27:567–579.
- Luthy R. G., Sharvelle S., Dillon P. 2019. Urban Stormwater to Enhance Water Supply *Environmental Science and Technology* : 53 (10):5534-5542 DOI: 10.1021/acs.est.8b05913.
- 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.*, 25:891–909.
- May, D. B., Sivakumar, M. 2009. Prediction of urban stormwater quality using artificial neural networks. *Environmental Modelling and Software.*, 24(2):296-302.

- Myronidis, D., Ioannou, K., Fotakis, D., Dörflinger, G. 2018. Streamflow and Hydrological Drought Trend Analysis and Forecasting in Cyprus. *Water Resources Management.*, 32(5), 1759–1776. doi:10.1007/s11269-018-1902-z.
- Mirzavand, M., Ghazavi, R. 2015. A Stochastic Modelling Technique for Groundwater Level Forecasting in an Arid Environment Using Time Series Methods. *Water Resources Management.*, 29(4), 1315–1328. doi:10.1007/s11269-014-0875-9.
- Machiwal, D., Jha M. K. 2012. *Hydrologic Time Series Analysis: Theory and Practice*. Capital Publishing Company, India.
- Manatsa, D., Mukwada, G., Siziba, E., Chinyanganya, T. 2010. Analysis of multidimensional aspects of agricultural droughts in Zimbabwe using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Theoretical and Applied Climatology.*, 102(3-4): 287-305. doi:10.1007/s00704-010-0262-2.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist J. 1985. Drought monitoring with multiple time scales,” in *Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Dallas, Tex, USA, 233-236.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Boston, MA: American Meteorological Society.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*, Boston, MA: American Meteorological Society.
- Mehr, A. D., Sorman A. U., Kahya E., Afshar, M. H. 2019. Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. *Hydrological Sciences Journal.* 65(2): 254-268. doi:10.1080/02626667.2019.1691218.
- Modarres, R., Sarhadi, A., Burn, D. H. 2016. Changes of extreme drought and flood events in Iran. *Global and Planetary Change.*, 144: 67-81. doi:10.1016/j.gloplacha.2016.07.008.
- Modarres, R. 2007. Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment.*, 21(3): 223–233. doi:10.1007/s00477-006-0058-1.
- Mondol, M. H., Ara I., Das, S. D. 2017. Meteorological Drought Index Mapping in Bangladesh Using Standardized Precipitation Index during 1981–2010. *Advances in Meteorology.*, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2017/4642060>.
- Moreira, E. E., Martins, D. S., Pereira, L. S. 2015. Assessing drought cycles in SPI time series using a Fourier analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences.*, 15(3): 571–585. doi:10.5194/nhess-15-571-2015.
- Mohanty, S., Jha M. K., Raul, S. K., Panda, R. K., Sudheer, K. P. 2015. Using artificial neural network approach for simultaneous forecasting of weekly groundwater levels at multiple sites. *Water Resources Management.*, 29(15):5521–5532.
- Mohanty, S., Jha, M. K., Kumar, A., Sudheer, K. P. 2010. Artificial Neural Network Modeling for Groundwater Level Forecasting in a River Island of Eastern India. *Water Resources Management.*, 24:1845–1865.

- Moreaux, M., Reynaud, A. 2006. Urban freshwater needs and spatial cost externalities for coastal aquifers: a theoretical approach. *Regional Science and Urban Economics*, 36(2):163–186.
- Mogaji, K. A., Lim, H. S., Abdullah, K. 2015. Regional prediction of groundwater potential mapping in a multifaceted geology terrain using GIS-based Dempster–Shafer model. *Arabian Journal of Geosciences*., 3235–3258.
- Moosavi, V., Vafakhah, M., Shirmohammadi, B., Ranjbar, M. 2013. Optimization of wavelet- ANFIS and wavelet-ANN hybrid models by Taguchi method for groundwater level forecasting. *Arabian Journal for Science and Engineering*., 39(3):1785–1796.
- Mishra, A. K., Desai, V. R. 2005. Drought forecasting using stochastic models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(5): 326–339. doi:10.1007/s00477-005-0238-4.
- MoA. 2016. National Agricultural Sector Strategy (2017-2022): Resilience and Sustainable Development. Ministry of Agriculture, Palestine.
- Mushtaha, A., Walraevens, K. 2018. Quantification of Submarine Groundwater Discharge in the Gaza Strip. *Water*., 10(12), 1818. doi:10.3390/w10121818.
- Mishra, A. K. and Singh, V. P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*., 391(1-2): 202-216. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.012.
- Markus, M., Cai, X., Sriver, R. 2019. Extreme Floods and Droughts under Future Climate Scenarios. *Water*., 11(8): 1720-1725. doi:10.3390/w11081720.
- Munger, T. T. 1916. Graphic method of representing and comparing drought intensities. *Monthly Weather Review*., 44 (11): 642–643.
- Morid, S. Smakhtin, V. Moghaddasi, M. 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*., 26(7): 971-985. doi:10.1002/joc.1264.
- Nourani, V., Alami, M. T., Daneshvar Vousoughi, F. 2015. Wavelet-entropy data pre-processing approach for ANN-based groundwater level modeling. *Journal of Hydrology*., 524:255–269.
- Nourani, V., Ejlali, R. G., Alami, M. T. 2011. Spatiotemporal groundwater level forecasting in coastal aquifers by hybrid artificial neural network-geostatistics Model: A case study. *Environmental Engineering Science*., 28(3):217–228.
- Nourani, V., Mousavi, S. 2016. Spatiotemporal groundwater level modeling using hybrid artificial intelligence-meshless method. *Journal of Hydrology*., 536:10–25.
- Nagarajan R. 2010. Drought Assessment. Netherlands, Springer. 429. doi 10.1007/978-90-481-2500-5.
- Narayan, K. A., Schleeberger, C., Bristow, K. L. 2007. Modelling seawater intrusion in the Burdekin Delta Irrigation Area, North Queensland, Australia., 89(3):0–228.
- Nam, W. H., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Tadesse, T., Wilhite, D. A. 2015. Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea. *Agricultural Water Management*., 160: 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.029>.

- Otkin, J. A., Svoboda, M., Hunt, E. D., Ford, T. W., Anderson, M. C., Hain, C., Basara J. B. 2018. Flash droughts: A review and assessment of the challenges imposed by rapid-onset droughts in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society.*, 99:911–919.
- Pearce, G. K. 2008. UF/MF pre-treatment to RO in seawater and wastewater reuse applications: a comparison of energy costs. *Desalination.*, 222(1-3): 66-73.
- Polyak I. 1996. *Computational Statistics in Climatology*. Oxford University Press, Oxford.
- Patle, G. T., Singh, D. K., Sarangi, A., Rai, A., Khanna, M., Sahoo, R. N. 2015. Time series analysis of groundwater levels and projection of future trend. *Journal of the Geological Society of India.*, 85:232–242.
- PCBS.2020. Estimated Population in the Palestinian Territory mid- Year by Governorate, 1997–2021. IOP Publishing Physics Web. Available from: <http://www.pcbs.gov.ps> (accessed 25 December 2020).
- PCBS .2021. Estimated Population in the Palestinian Territory mid- Year by Governorate, 1997–2021. IOP Publishing Physics Web. Available from: <http://www.pcbs.gov.ps> (accessed 25 February 2021).
- PWA .2017. Water Resources Status Summary Report/Gaza Strip; Water Resources Directorate: Palestinian Water Authority, Palestine.
- PWA. 2015. Gaza Strip: Desalination Facility Project: Necessity, Politics and Energy. Palestinian Water Authority.
- PWA. 2014. Gaza Strip: No Clean Drinking Water, no Enough Energy, and Threatened Future. Palestinian Water Authority.
- PWA. 2013. National Water and Wastewater Policy and Strategy for Palestine: Toward Building a Palestinian State from Water Perspective. Palestinian Water Authority.
- PWA. 2012. Palestinian water sector: status summary report. In Preparation for the Meeting of the Ad Hoc Liaison Committee (AHLIC), 23 September 2012. Palestinian Water Authority, New York.
- PWA. 2011. The Comparative Study of Options for an Additional Supply of Water for the Gaza Strip (CSO-G), the Updated Final Report. Palestinian Water Authority.
- PWA. 2000. Integrated Aquifer Management Plan, Palestinian Water Authority, Gaza.
- PWL .2002. Palestinian water law, Decree No 3: 2002
- PWL .2014. Palestinian water law, Decree No 14: 2014
- PEL .1999. Palestinian environmental law. Decree No. 7:1999.
- PS .2003. The Palestinian standards for treated wastewater. Palestinian Standard.
- Qahman K., Larabi A. (2006). Evaluation and numerical modeling of seawater intrusion in the Gaza aquifer (Palestine). *Hydrogeology Journal* 14 (5), 713–728.
- Richard, G. Luthy, S. S., Peter, D. 2019. Urban Stormwater to Enhance Water Supply. *Environ. Sci. Technol.*, 53:5534–5542.

- Rao, P., Morrow, W. R., Aghajanzadeh, A., Sheaffer, P., Dollinger, C., Brueske, S., Cresko, J. 2018. Energy considerations associated with increased adoption of seawater desalination in the United States. *Desalination*, 445:213-224. doi:10.1016/j.desal.2018.08.014.
- Rakhshandehroo, G. R., Vaghefi, M., Asadi Aghbolaghi, M. 2012. Forecasting groundwater level in Shiraz plain using artificial neural networks. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37:1871–1883.
- Radcliffe, J. C., Page, D. 2020. Water reuse and recycling in Australia- history, current situation and future perspectives. *Water Cycle*, (1):19-40. doi:10.1016/j.watcyc.2020.05.005.
- Shahzad, M. W., Burhan, M., Ng, Kim, C. 2017. Pushing desalination recovery to the maximum limit: Membrane and thermal processes integration. *Desalination*, 416:54–64. doi:10.1016/j.desal.2017.04.024.
- Sahoo, S., Jha, M. K. 2013. Groundwater-level prediction using multiple linear regression and artificial neural network techniques, a comparative assessment. *Journal of Hydrogeology*, 21:1865–1887.
- Sahoo, S., Russo, T. A., Elliott, J., Foster, I. 2017. Machine learning algorithms for modeling groundwater level changes in agricultural regions of the U.S. *Water Resources Research*, 53(5):3878–3895.
- Sun, Y., Wendi, D., Kim, D. E., Liong, S. 2016. Technical note: Application of artificial neural networks in groundwater table forecasting – a case study in a Singapore swamp forest. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4):1405–1412.
- Sakizadeh, M., Mohamed, M. M. A. Klammler, H. 2019. Trend Analysis and Spatial Prediction of Groundwater Levels Using Time Series Forecasting and a Novel Spatio-Temporal Method. *Water Resources Management*, 33: 1425–1437. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02208-9>.
- Seyam, M., Alagha, J. S., Abunama, T., Mogheir Y., Affam, A. C., Heydari, M., Ramlawi, K. 2020. Investigation of the Influence of Excess Pumping on Groundwater Salinity in the Gaza Coastal Aquifer (Palestine) Using Three Predicted Future Scenarios. *Water*, 12(8):2218.
- Siebert, S., Burke, J., Faures, K., Hoogeveen, J., Döll, P., Portmann, F.T. 2010. Groundwater use for irrigation—a global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(10):1863–1880.
- Schiermeier, Q. 2018. Droughts, heatwaves and floods: How to tell when climate change is to blame. *Nature*, 560:20–22.
- Shekhar, S., Kumar, S., Densmore, A. L., van Dijk, W. M., Sinha, R., Kumar, M., Joshi, S. K.; Rai, S. P., Kumar, D. 2020. Modelling water levels of northwestern India in response to improved irrigation use efficiency. *Scientific Reports*, 10(1), 13452–. doi:10.1038/s41598-020-70416-0.
- Singh, A. 2014a. Simulation and Optimization Modeling for the Management of Groundwater Resources. II: Combined Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(4).

- Singh, A. 2014b. Groundwater resources management through the applications of simulation modeling: A review. *Science of The Total Environment.*, 499:414-423.
- Shirmohammadi, B., Vafakhah, M., Moosavi, V., Moghaddamnia, A. 2013. Application of several data-driven techniques for predicting groundwater level. *Water Resources Management.*, 27(2):419-432.
- Szalai, S., Szinell, C. 2000. Comparison of Two Drought Indices for Drought Monitoring in Hungary — A Case Study. *Advances in Natural and Technological Hazards Research*: 161–166. doi:10.1007/978-94-015-9472-1_12.
- Sen, B., Topcu, S., Türkes, M., Baha Sen, B., Warner, J. F. 2012. Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey. *Climate research*, 52: 175-191. doi: 10.3354/cr01074.
- Shah, R., Bharadiya, N., Manekar, V. 2015. Drought index computation using standardized precipitation index (SPI) method for Surat District, Gujarat. *Aquatic Procedia.*, 4:1243-1249. doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.162.
- Shahid, S., Behrawan, H. 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Natural Hazards.*, 46(3): 391–413. doi:10.1007/s11069-007-9191-5.
- Shahin, M., Van Oorschot, H. J. L., De Lange, S. J. 1993. *Statistical Analysis in Water Resources Engineering*. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands. 394.
- Sheffield, J., Wood, F. E., Chaney, N., Guan, K., Sadri, S., Yuan, X., Olang, L., Amani A., Ali, A., Demuth, S., Ogallo L. 2014. A drought monitoring and forecasting system for sub-Saharan African water resources and food security. *Bulletin of the American Meteorological Society.*, 95(6): 861–882. doi:10.1175/BAMS-D-12-00124.1.
- Shukla, S., Wood, A. W. 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters.*, 35(2):1-7. doi:10.1029/2007gl032487.
- Sharma, P., Machiwal, D., Jha, M. K. 2019. Overview, current status, and future prospect of stochastic time series modeling in subsurface hydrology. *GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science.*, 133–151.
- Shammas, M. I., Jacks, G. 2007. Seawater intrusion in the Salalah plain aquifer, Oman., 53(3):575–587.
- Sönmez, F. K., Kömüscü, A. Ü., Erkan, A., Turgu E. 2005. An Analysis of Spatial and Temporal Dimension of Drought Vulnerability in Turkey Using the Standardized Precipitation Index. *Natural Hazards.*, 35(2):243–264. doi:10.1007/s11069-004-5704-7.
- Serfozo, R. 2009. *Basics of Applied Stochastic Processes*” 1st eds. Springer, Berlin. 443.
- Sastri, A. S. R. A. S. 1993. Agricultural Drought Management Strategies to Alleviate Impacts: Examples from the Arid and Sub humid Regions of the Indian Subcontinent”. In: Wilhite D.A. (eds) *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies*. Natural Resource Management and Policy, vol 2. Springer, Boston, MA.

- Shafer, B. A., Dezman, L. E. 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas. Proceedings of the Western Snow Conference, Colorado State University, Fort Collins, CO, 164–175.
- Qahman, K., Larabi, A. 2006. Evaluation and numerical modeling of seawater intrusion in the Gaza aquifer (Palestine). *Hydrogeology Journal*, 14(5), 713–728. doi:10.1007/s10040-005-003-2.
- PCBS. 2020. Estimated population in the Palestinian territory mid-year by governorate, 1997–2021. IOP Publishing Physics Web. http://www.pcbs.gov.ps/Portals/_Rainbow/Documents/%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%AD%D8%A7%D9%81%D8%B8%D8%A7%D8%AA%20%D8%A7%D9%86%D8%AC%D9%84%D9%8A%D8%B2%D9%8A%2097-2017.html Accessed 25 April 2020.
- PWA. 2015. Gaza strip: desalination facility project: necessity, politics and energy. Palestinian Water Authority.
- PWA. 2014. Gaza strip: no clean drinking water, no enough energy, and threatened future. Palestinian Water Authority.
- PWA. 2013. National Water and Wastewater Policy and Strategy for Palestine: Toward Building a Palestinian State from Water Perspective. Palestinian Water Authority.
- PWA. 2012. Palestinian Water Sector: Status Summary Report. In preparation for the Meeting of the Ad Hoc Liaison Committee (AHLC) 23rd September 2012, Palestinian Water Authority, New York.
- PWA. 2011. The comparative study of options for an additional supply of water for the Gaza strip (CSO-G), the updated final report. Palestinian Water Authority.
- Petrasovits I. 1990. General review on Drought strategies. In: Transactions of 14th Congress on Irrigation and Drainage, Rio De Janiero, Vol. 1-F International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) G 43.1–43.27.
- Patterson, L. A., Lutz, B. D., Doyle, M. W. 2013. Characterization of Drought in the South Atlantic, United States. *Journal of the American water resources association*. American water resources association., 49(6): 1385–1397. <https://doi.org/10.1111/jawr.12090>.
- Palmer, W. C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index. *Weather wise*., 21(4):156–161.
- Palmer, W. C. 1965. Meteorological Drought, US Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, DC, USA.
- Shahin, M., Van Oorschot, H. J. L., De Lange, S. J. 1993. Statistical Analysis in Water Resources Engineering. A.A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands. 394.
- Thangarajan, M., Singh, V. P. 2016. Groundwater Assessment, Modeling, and Management. 1st Edition. CRC Press, Boca Raton.
- 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.

- Tapoglou, E., Karatzas, G. P., Trichakis, I. C., Varouchakis, E. A. 2014. A spatio-temporal hybrid neural network-Kriging model for groundwater level simulation. *Journal of Hydrology*, 519:3193–3203.
- Tang, Y., Zang, C., Wei, Y., Jiang, M. 2019. Data-Driven Modeling of Groundwater Level with Least-Square Support Vector Machine and Spatial–Temporal Analysis. *Geotechnical Geological Engineering*, 37:1661–1670.
- Takafuji, E. H. D. M., Rocha, M. M. D., Manzione, R. L. 2018. Groundwater level prediction/Forecasting and assessment of uncertainty using SGS and ARIMA models: a case study in the Bauru Aquifer System (Brazil). *Natural Resources Research*.
- Trichakis, I. C., Nikolos I. K., Karatzas G. P. 2009. Optimal selection of artificial neural network parameters for the prediction of a karstic aquifer's response, *Hydrological Processes*, 23(20):2956-2969.
- Trichakis, I. C., Nikolos, I. K., Karatzas, G. P. 2011. Artificial Neural Network (ANN) Based Modeling for Karstic Groundwater Level Simulation. *Water Resources Management*, 25:1143–1152.
- Tong, H. 1990. *Nonlinear Time Series: A Dynamical System Approach*. Oxford University Press, Oxford.
- Thom, H. C. S. 1958. A note on the gamma distribution. *Mon. Weather Rev.* 86:117–122.
- Takafuji, E. H. de M., Rocha, M. M. da, Manzione, R. L. 2018. Groundwater Level Prediction/Forecasting and Assessment of Uncertainty Using SGS and ARIMA Models: A Case Study in the Bauru Aquifer System (Brazil). *Natural Resources Research*. doi:10.1007/s11053-018-9403-6.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. 2007. Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21(5): 821–833. doi:10.1007/s11269-006-9105-4.
- UN. 2012. *Gaza 2020: A livable Place? A report by the United Nations Country Team in the occupied Palestinian territory*, The United Nations.
- UfM. 2011. *Gaza desalination project: the largest single facility to be built in Gaza*. Union for the Mediterranean Secretariat.
- Vengosh, A., Kloppmann, W., Marei, A., Livshitz, Y., Gutierrez, A., Banna, M., Raanan H. 2005. Sources of salinity and boron in the Gaza strip: natural contaminant flow in the southern Mediterranean coastal aquifer. *Water Resources Research*, 41(1).
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería S., López-Moreno J. I. 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23(7): 1696–1718. doi:10.1175/2009jcli2909.1.
- Wada, Y. V., Ludovicus P. H., van Kempen, C. M., Reckman, J. W. T. M.; Vasak, S., Bierkens, M. F. P. 2010. Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters*, 37(20), n/a–n/a. doi:10.1029/2010gl044571.

- Wen, X., Feng, Q., Deo, R. C., Wu, M., Si, J. 2017. Wavelet analysis–artificial neural network conjunction models for multi-scale monthly groundwater level predicting in an arid inland river basin, northwestern China. *Hydrol. Res.*, 48 (6):1710–1729.
- WSTF. 2011. Indicators for water scarcity assessment” work in progress based on meetings 13-26 May 2011, Ramallah, Palestine.
- Werick, W. J., Whipple W. 1994. Managing water for drought. U.S. Army Corps of Engineers., Water Resources support center, Institute for water resource.
- Wichitarapongsakun, P., Sarin, C., Klomjek, P. Chuenhooklin, S. 2016. Rainfall prediction and meteorological drought analysis in the Sakae Krang River basin of Thailand. *Agriculture and Natural Resources.*, 50(6): 490–498. doi:10.1016/j.anres.2016.05.003.
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.
- Yan, Y., Burbey. T. J. 2008. The Value of Subsidence Data in Ground Water Model Calibration., 46(4):538–550.
- Yu. H., Wen. X., Feng. Q., Deo. R. C., Si. J., Wu. M. 2018. Comparative study of hybrid-wavelet artificial intelligence models for monthly groundwater depth forecasting in extreme arid regions, northwest China. *Water Resources Management.*, 32(1):301–323.
- Ying, Z., Wenxi, L., Haibo, C., Jiannan, L. 2014. Comparison of three forecasting models for groundwater levels: a case study in the semiarid area of west Jilin Province, China. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua.*, (8):671–683.
- Yoon, H., Hyun, Y., Ha, K., Lee, K. K., Kim, G. B. 2016. A method to improve the stability and accuracy of ANN- and SVM-based time series models for long-term groundwater level predictions. *Computers and Geosciences.*, 90:144–155.
- Ye, G., Chou, L. M., Yang, S., Wu, J., Liu, P., Jin, C. 2015. Is integrated coastal management an effective framework for promoting coastal sustainability in China’s coastal cities? *Marine Policy.*, 56:48–55.
- Yeh, H. D., Chang, Y. C. 2013. Recent advances in modeling of well hydraulics. *Advances in Water Resources.*, 51:27–51.
- Yan, Q., Ma, C. 2016. Application of integrated ARIMA and RBF network for groundwater level forecasting. *Environmental Earth Sciences.*, 75(5):396.
- Yoon, H., Jun, S. C., Hyun, Y., Bae, G. O., Lee, K. K. 2011. A comparative study of artificial neural networks and support vector machines for predicting groundwater levels in a coastal aquifer. *Journal of Hydrology.*, 396(1):128–138.
- Yang, Q., Hou, Z., Wang, Y., Zhao, Y., Delgado, J. 2015. A comparative study of shallow groundwater level simulation with WA–ANN and ITS model in a coastal island of south China. *Arabian Journal of Geosciences.*, 8(9):6583–6593.

- Zekri, S., Madani, K., Bazargan-Lari, M. R., Kotagama, H., Kalbus, E. 2017. Feasibility of adopting smart water meters in aquifer management: An integrated hydro-economic analysis. *Agricultural Water Management.*, 181: 85-93.
- Zheng, X., Chen, D., Wang, Q., Zhang, Z. 2014. Seawater desalination in China: Retrospect and prospect. *Chemical Engineering Journal.*, 242:404-413. doi:10.1016/j.cej.2013.12.104.
- Zhang, Q., Gemmer, M., Chen, J. 2008. Climate changes and flood/drought risk in the Yangtze Delta, China, during the past millennium. *Quaternary International.*, 176–177: 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.11.004>.
- Zaineldeen, U., Qahman, K., Al-Dasht, J. 2013. Geological structure of the coastal aquifer in the southern part of the Gaza Strip, Palestine. *Arabian Journal of Geosciences.*, 7(10), 4343–4354. doi:10.1007/s12517-013-1082-3.
- Zhou, T., Wang, F., Yang, Z. 2017. Comparative Analysis of ANN and SVM Models Combined with Wavelet Preprocess for Groundwater Depth Prediction. *Water.*, 9(10):781.
- Zaqoot, H. A., Hamada, M., Miqdad, S. 2018. A Comparative Study of Ann For Predicting Nitrate Concentration in Groundwater Wells in The Southern Area of Gaza Strip. *Applied Artificial Intelligence.*, 1–18.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hassan S.H. AL-NAJJAR

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Doktora	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği	2021
Yüksek Lisans	Gazze İslam Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2016
Lisans	Gazze İslam Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2012
Lise	Arafat Lisesi	2007

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	Sakarya Üniversitesi	Doktora Öğrencisi
2012-2015	Almadina Danışmanları	Proje Asistanı

YABANCI DİL

Arapça, İngilizce, Türkçe

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

- Effect of unconventional water resources interventions on the management of Gaza coastal aquifer in Palestine
- Stochastic time-series models for drought assessment in the Gaza Strip

HOBİLER

Yüzme , Okuma, Yürüme