

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**YERALTI SULARINDA SU KALİTESİ ÖRNEKLEME NOKTALARININ
SEÇİMİNDE İSTATİSTİKSEL VE JEOİSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERİN KULLANIMI**

Semra EKİNCİ

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**YERALTI SULARINDA SU KALİTESİ ÖRNEKLEME NOKTALARININ
SEÇİMİNDE İSTATİSTİKSEL VE JEOİSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERİN KULLANIMI**

Semra EKİNCİ

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERALTI SULARINDA SU KALİTESİ ÖRNEKLEME NOKTALARININ
SEÇİMİNDE İSTATİSTİKSEL VE JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERİN
KULLANIMI

Semra EKİNCİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 21/07/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Firdes YENİLMEZ

Prof. Dr. Muhammet Yunus PAMUKOĞLU

Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR

ÖZET

YERALTI SULARINDA SU KALİTESİ ÖRNEKLEME NOKTALARININ SEÇİMİNDE İSTATİSTİKSEL VE JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERİN KULLANIMI

Semra EKİNCİ

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Firdes YENİLMEZ

Temmuz 2023; 101 sayfa

İzleme çalışmaları, var olan kaynakların korunması, insan sağlığının güvence altına alınması ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, Akdeniz Üniversitesi kampüsünde bulunan yeraltı suyu su kalitesi örneklem noktalarının seçiminde istatistiksel ve jeostatistiksel yöntemler kullanılarak alternatif su kalitesi izleme ağları tasarlanmıştır. Arazi çalışması 23 Haziran 2022 tarihinde Akdeniz Üniversitesi kampüsünde yer alan aktif 21 örneklem noktasında gerçekleştirilmiştir. Kuyulardan toplanan numunelerde çözünmüş oksijen, oksijen doygunluğu, sıcaklık, pH, iletkenlik, bulanıklık ve nitrat analizleri yapılmıştır. Çalışmada, hiyerarşik kümeleme yöntemi için istatistiksel analizlerde sıklıkla tercih edilen SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programı kullanılmıştır. Sıradan Kriging yöntemi uygulamak için ise bir coğrafi bilgi sistemleri programı olan ArcMap yazılımı kullanılmıştır. Hiyerarşik kümeleme analizi ile oluşturulan kümeler arasından örneklem noktaları seçilerek varsayımsal izleme ağları oluşturulmuştur. Çalışmada ana izleme ağı ve 37 varsayımsal izleme ağı dahil, 38 izleme ağı bulunmaktadır. İzleme ağlarında variogramlar, kriging tahmin haritaları ve kriging hata haritaları değerlendirilerek nokta azaltımı yapılmış ve ana ağa benzer özellik gösteren alternatif ağ seçilmiştir. Sonuçlar, Akdeniz Üniversitesi kampüsü yeraltı suyu kalitesi temsili izleme ağında ana izleme ağındaki mekânsal korelasyon yapısını korumak için 10 örneklem noktasının gerekli olduğunu göstermiştir. Alternatif ağ olarak seçilen İA28 izleme ağının Nugget/Sill oranı 0.25'ten küçük olduğundan yüksek mekânsal korelasyona sahip olduğu ve ana ağı en iyi yansıtan izleme ağı olduğu sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Akdeniz Üniversitesi, Yeraltı Suları, Su kalitesi İzleme Ağı, Hiyerarşik Kümeleme Analizi, Sıradan Kriging Yöntemi

JÜRİ: Doç. Dr. Firdes YENİLMEZ

Prof. Dr. Muhammet Yunus PAMUKOĞLU

Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR

ABSTRACT

USE OF STATISTICAL AND GEOSTATISTICAL METHODS AT SELECTION OF WATER QUALITY SAMPLING POINTS IN GROUNDWATER

Semra EKİNCİ

MSc Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Firdes YENİLMEZ

July 2023; 101 pages

Monitoring studies are important in terms of protecting existing resources, securing human health and ensuring environmental sustainability. Within the scope of this study, alternative water quality monitoring networks were designed by using statistical and geostatistical methods in the selection of groundwater water quality sampling points located on Akdeniz University campus. The field study was conducted on June 23, 2022 at 21 active sampling points located on the Akdeniz University campus. Dissolved oxygen, oxygen saturation, temperature, pH, conductivity, turbidity and nitrate analyzes were performed on the samples collected from the wells. In the study, SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) program, which is frequently preferred in statistical analysis, was used for the hierarchical clustering method. ArcMap software, a geographic information systems program, was used to apply the Ordinary Kriging method. Hypothetical monitoring networks were created by selecting sampling points from the clusters formed by hierarchical clustering analysis. There are 38 monitoring networks in the study, including the main monitoring network and 37 hypothetical monitoring networks. Point reduction was made by evaluating variograms, kriging prediction maps and kriging error maps in the monitoring networks, and an alternative network with similar characteristics to the main network was selected. The results demonstrated that 10 sampling points are necessary in the groundwater quality representative monitoring network of Akdeniz University campus to maintain the spatial correlation structure of the main monitoring network. It is concluded that the IA28 monitoring network chosen as the alternative network with the Nugget/Sill ratio is less than 0.25 has a high spatial correlation and it is the monitoring network that best reflects the main network.

KEYWORDS: Akdeniz University, Groundwater, Water Quality Monitoring Network, Hierarchical Cluster Analysis, Ordinary Kriging Method

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Firdes YENİLMEZ
Prof. Dr. Muhammet Yunus PAMUKOĞLU
Assoc. Prof. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans ile eğitime devam etmem için beni destekleyen, tez süreci boyunca sabır ve anlayış ile özveri göstererek değerli bilgi ve deneyimleriyle bana destek olan, sorunlarıma çözüm üreten ve daima bana rehberlik eden kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Firdes YENİLMEZ'e teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca her konuda desteklerini esirgemeyen kıymetli hocalarım Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU ve Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU'na teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca sabırla bana destek olan ve sorunlarıma daima çözüm üreten abim Levent EKİNCİ'ye, beni her zaman yüreklendiren ve destekleyen annem Rahime EKİNCİ'ye, hayat deneyimi ile bana yol gösteren ve çalıştığım her konuda bilgi birikimi ve deneyimlerini bir adım ileri taşımam gerektiğini öğreten babam İbrahim EKİNCİ'ye ve desteklerini esirgemeyen kardeşlerim Burak ve Muhammet EKİNCİ'ye teşekkür ederim. Hayatıma Yüksek Lisans eğitimime başladığım dönem giren yeğenim İbrahim Tuna EKİNCİ'ye ve onu dünyaya getiren yengem Özge EKİNCİ'ye teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca daima yanımda olan kardeşlerim, arkadaşlarım Medine GÜNEŞ, Yeliz KOÇOĞLU ve eşi Süleyman KOÇOĞLU'na teşekkür ederim.

Kıymetli vakitlerini ayırıp tezimin geliştirilmesine katkı sağlayan jüri üyelerim Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR hocama ve Prof. Dr. Muhammet Yunus PAMUKOĞLU'na teşekkür ederim.

Akdeniz Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Peyzaj Şube Müdürü Derya ORTAÇEŞME'ye ve Akdeniz Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı İklim Soğutma Teknisyeni İbrahim DİRİL'e yardımları için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
AKADEMİK BEYAN.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	4
2.1. Kuyularda optimum izleme ağlarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar.....	4
2.1.1. Kuyu sayısı azaltımına yönelik çalışmalar.....	4
2.1.2. Kuyu arttırımına yönelik yapılan çalışmalar.....	9
2.1.3. Mevcut kuyuların değerlendirilmesine yönelik çalışmalar.....	11
2.2. Antalya İlinde yapılan yeraltı suyu çalışmaları.....	13
2.3. Su kalitesi örnekleme noktalarının seçiminde kullanılan istatistiksel yöntemler..	15
2.3.1. Hiyerarşik küme analizi.....	17
2.4. Su kalitesi örnekleme noktalarının seçiminde kullanılan jeostatistiksel	
analiz yöntemleri.....	19
2.4.1. Variogram analizi.....	19
2.4.2. Kriging enterpolasyon yöntemi.....	21
2.4.2.1. Sıradan kriging yöntemi (ordinary kriging).....	23
2.4.2.2. Çapraz doğrulama (cross validation).....	24
3. MATERYAL VE METOT.....	25
3.1. Çalışma alanı.....	25
3.1.1. Coğrafi konum ve özellikler.....	25
3.1.2. İklim.....	27
3.1.3. Antalya ili mevcut yeraltı suyu kuraklık durumu.....	28
3.1.4. İklim senaryoları ve yeraltı sularında beklenen değişimler.....	30
3.1.5. Bitki örtüsü.....	31
3.1.6. Jeolojik yapı.....	32
3.2. Arazi çalışması.....	33

3.3. Laboratuvar çalışması.....	37
3.4. Ölçümlerde kullanılan cihazlar.....	37
3.5. Metodoloji.....	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
4.1. Kümeleme analizi.....	44
4.1.1. Hiyerarşik kümeleme analizi.....	44
4.1.2. Normallik kontrolü.....	46
4.2. Variogram analizi.....	48
4.3. Kriging.....	53
4.3.1. Ordinary kriging (sıradan kriging).....	53
4.4. Genel su kalitesinin değerlendirilmesi.....	68
5. SONUÇLAR	73
6. KAYNAKLAR	76
7. EKLER.....	86
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yeraltı Sularında Su Kalitesi Örneklemeye Noktalarının Seçiminde İstatistiksel ve Geoistatistiksel Yöntemlerin Kullanımı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

..... / / 2023

Semra EKİNCİ

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
°C	: Derece santigrat
km	: Kilometre
km/s	: Kilometre/Saat
km ²	: Kilometrekare
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
mm	: Milimetre
mS/cm	: miliSiemens/santimetre
pH	: Hidrojen İyonu Potansiyeli
µS/ cm	: microSiemens/santimetre

Kısaltmalar

AFAD	: Afed ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
ANN	: Yapay Sinir Ağı
ASAT	: Antalya Su ve Atıksu Genel Müdürlüğü
ASE	: Ortalama Kriging Standart Hatası
ATP	: Antalya Traverten Platosu
BK	: Berror Küçültme
BME	: Bayes Maksimum Entropi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri

Cl ⁻	: Klor
DE	: Diferansiyel Evrim
DO	: Çözünmüş Oksijen
DSİ	: Devlet Su İşleri
E	: Boylam
EBK	: Empirik Bayesian Kriging
EC	: Elektriksel İletkenlik
EDA	: Keşifsel Veri Analizi
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
GLMN	: Yeraltı Suyu Seviyesi İzleme Ağı
H ⁺	: Hidrojen İyonu
HSP-F	: Hidrolojik Simülasyon Programı – Fortran
I	: Sızma Koşulları
IDW	: Ters Mesafe Ağırlıklandırma
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
KNN	: K-En Yakın Komşu
LDO	: Optik Çözünmüş Oksijen
ME	: Ortalama Hata
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MSE	: Ortalama Standartlaştırılmış Hata
MTA	: Maden Teknik Arama
N	: Enlem
NGMN	: Güney Kore Ulusal Yeraltı Suyu İzleme Ağı
NO ₃ ⁻	: Nitrat
NSGA-II	: Evrimsel Algoritma

NTU	: Nefelometrik Bulanıklık Birimi
OK	: Ordinary Kriging - Sıradan Kriging
ORP	: Oksidasyon İndirgeme Potansiyeli
OWA	: Sıralı Ağırlıklı Ortalama
P	: Koruyucu örtü
PEST	: Politik, Ekonomik, Sosyal ve Teknolojik
PGMN	: İl Saha İzleme Ağı
PRMS	: Yağış Akış Modelleme Sistemi
RMSE	: Ortalama Karekök Hata
RMSSE	: Ortalama Karekök Standart Hata
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
SHH	: Standart Hata Haritası
SPI	: Standardized Precipitation Index-Standart Yağış İndeksi
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
S-T	: Mekan - Zaman
SYGM	: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
TDS	: Toplam Çözünmüş Katı Madde
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WLC	: Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon
YAS	: Yeraltı Suyu
YSA	: Yapay Sinir Ağı

Bu tezde sayıların ondalık ayracı olarak “nokta” işareti kullanılmıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tek bağlantı yöntemi ile oluşturulan kümeler.....	18
Şekil 2.2. Tam bağlantı yöntemi ile oluşturulan kümeler.....	18
Şekil 2.3. Ortalama bağlantı yöntemi ile oluşturulan kümeler.....	18
Şekil 2.4. Durağan ve durağan olmayan davranış sergileyen örnek variogram modeli.....	21
Şekil 3.1. Çalışma alanını gösteren harita.....	25
Şekil 3.2. Akdeniz Üniversitesi kampüsü ve vaziyet planı.....	26
Şekil 3.3. 1 Ekim 2022 – 28 Şubat 2023 periyoduna ait havzalara göre alansal yağışların normalleri ile karşılaştırıldığı harita.....	28
Şekil 3.4. Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı genel jeolojik formasyonu.....	29
Şekil 3.5. Standart Yağış İndeksi (SPI - Standardized Precipitation Index) metoduna göre meteorolojik kuraklık durumu.....	30
Şekil 3.6. 2016-2100 yılları arasında Antalya havzası işletilebilir emniyetli yeraltı suyu rezervinin muhtemel değişimi.....	31
Şekil 3.7. Akdeniz Üniversitesi kampüs alanının sırasıyla 2005, 2010, 2015 ve 2022 yıllarına ait uydu görüntüleri.....	32
Şekil 3.8. Ölçeksiz Genelleştirilmiş jeoloji haritası.....	33
Şekil 3.9. Akdeniz Üniversitesi kampüs alanında belirlenen örnekleme noktalarını gösteren harita.....	35
Şekil 3.10. Çok parametrelili sondanın kullanımı.....	36
Şekil 3.11. Akdeniz Üniversitesi kampüsünde bulunan yeraltı suyu kuyuları örnekleme noktalarından görüntüler.....	36
Şekil 3.12. Yeraltı suyu kuyularından alınan su örnekleri.....	37
Şekil 3.13. Çok parametrelili su kalitesi ölçüm sondası.....	37
Şekil 3.14. HQ40D portatif multimetre & Hach 2100Q portatif türbidimetre.....	38
Şekil 3.15. Su kalite parametrelerinin tayininde kullanılan problemler (ÇO sensörü, pH elektrodu, nitrat (NO_3^-) elektrodu, 4 kutuplu grafit iletkenlik hücresi).....	39
Şekil 3.16. Kriging enterpolasyon yöntemi uygulama aşamaları	42
Şekil 3.17. Optimum yeraltı suyu izleme ağı için oluşturulması için kullanılan yöntemin uygulama adımları.....	43
Şekil 4.1. Hiyerarşik kümeleme yöntemi ile nitrat parametresinin kümelemesini gösteren dendrogram.....	44
Şekil 4.2. Ana izleme ağı için nitrat konsantrasyonuna ait histogram grafiği.....	46
Şekil 4.3. Ana izleme ağı için oluşturulan variogram.....	48
Şekil 4.4. 6, 14, 28 ve 32 numaralı varsayımsal izleme ağları için variogram analizi sonuçları.....	49
Şekil 4.5. Ana izleme ağında nitrat için oluşturulan kriging haritası.....	54
Şekil 4.6. 6 numaralı izleme ağı için oluşturulan kriging haritası.....	54
Şekil 4.7. 14 numaralı izleme ağı için oluşturulan kriging haritası.....	55
Şekil 4.8. 32 numaralı izleme ağı için oluşturulan kriging haritası.....	56
Şekil 4.9. 33 numaralı izleme ağı için oluşturulan kriging haritası.....	56
Şekil 4.10. Ana izleme ağında ölçülen ve tahmin edilen nitrat konsantrasyonları için çapraz doğrulama grafiği.....	57
Şekil 4.11. Ölçülen ve tahmin edilen nitrat konsantrasyonları için çapraz doğrulama grafikleri a) İA6 b) İA14 c) İA32 d) İA33.....	58

Şekil 4.12. 28 numaralı izleme ağında ölçülen ve tahmin edilen nitrat konsantrasyonları için çapraz doğrulama grafiği.....	59
Şekil 4.13. 28 numaralı izleme ağında ölçülen ve tahmin edilen nitrat konsantrasyonu.....	59
Şekil 4.14. Ana izleme ağı için sıradan kriging hata haritası.....	60
Şekil 4.15. 33. izleme ağı için sıradan kriging hata haritası.....	61
Şekil 4.16. 37. izleme ağı için sıradan kriging hata haritası.....	61
Şekil 4.17. 38. izleme ağı için sıradan kriging hata haritası.....	62
Şekil 4.18. 6. izleme ağı için sıradan kriging hata haritası.....	62
Şekil 4.19. 14. izleme ağı için sıradan kriging hata haritası.....	63
Şekil 4.20. 32 izleme ağı için sıradan kriging hata haritası.....	63
Şekil 4.21. 28. izleme ağı için sıradan kriging hata haritası.....	64
Şekil 4.22. Ortalama standart hata (ASE) grafiği.....	66
Şekil 4.23. Ortalama Karekök Standart Hata (RMSSE) grafiği.....	67
Şekil 4.24. Ortalama Hata (ME) grafiği.....	67
Şekil 4.25. Ortalama Standart Hata (MSE) grafiği.....	67
Şekil 4.26. Ortalama Karekök Standart Hata (RMSE) grafiği.....	67
Şekil 4.27. Ana izleme ağı için oluşturulan nitrat tahmin haritası.....	69
Şekil 4.28. Ana izleme ağı için oluşturulan ÇO tahmin haritası.....	70
Şekil 4.29. Ana izleme ağı için oluşturulan elektriksel iletkenlik tahmin haritası.....	71
Şekil 4.30. Ana izleme ağı için oluşturulan bulanıklık tahmin haritası.....	71
Şekil 4.31. Ana izleme ağı için oluşturulan pH tahmin haritası.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Çapraz doğrulama hata formülleri.....	24
Çizelge 3.1. Antalya Bölge 17302 numaralı istasyondan alınan 2001 – 2023 ölçüm periyoduna ait genel meteorolojik veriler	27
Çizelge 3.2. Antalya İline Ait Yeraltı Suyu Verileri.....	29
Çizelge 3.3. Örnekleme noktalarının lokasyonları ve numune alınan kuyulara ait bilgiler.....	34
Çizelge 4.1. Varsayımsal izleme ağlarını oluşturan kuyular.....	45
Çizelge 4.2. Ana izleme ağı için tüm parametrelere ait istatistiksel veriler.....	47
Çizelge 4.3. Bütün izleme ağlarına ait variogram parametreleri.....	50
Çizelge 4.4. Model doğrulama için kullanılan hatalar.....	64
Çizelge 4.5. Yeraltı sularının kirlenmeye ve bozulmaya karşı korunması hakkında yönetmelik, yeraltı suyu kalite standartları ek-2.....	68
Çizelge 4.6. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, ek-1, kimyasal parametreler.....	68
Çizelge 4.7. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, ek-1, gösterge parametreler.....	68

1.GİRİŞ

Küresel ısınma, iklim değişikliği, sanayinin gelişimi ve nüfus artışı gibi faktörler, sürekli artan su tüketimine ve canlılığın en temel ihtiyaçlarından olan su ve su kaynakları üzerinde büyük bir baskıya neden olmaktadır. 2019 yılında yayımlanan Global Risk Raporu'nda (World Economic Forum 2019) mevcut su kaynaklarının talebi karşılayamaması durumu olarak tanımlanan su kıtlığı, 21. yüzyılın belirleyici zorluklarından biri olmasının yanı sıra önümüzdeki on yılda dünyayı etkileyebilecek en büyük küresel risklerden biri olarak tanımlanmıştır. 2022 yılında yayınlanan raporda ise su kıtlığının, sağlık ve geçim kaynakları üzerindeki etkisinin yanı sıra göç üzerinde de önemli bir itici güç olacağı vurgulanmıştır (World Economic Forum 2022). Tatlı su kaynaklarının kısıtlı olduğu ülkemizde bu kısıtın etkisi son yıllarda daha fazla görülmektedir. Türkiye'nin toplam kullanılabilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yaklaşık 112 milyar m³/yıl'dır ve 57 milyar m³'ü kullanılmaktadır (DSİ 2019). Düşünülen aksine ülkemiz su zengini bir ülke olmamakla birlikte iklim değişikliği gibi önemli etkenlerin de etkisiyle su kısıtı riski altındadır. TÜİK tarafından açıklanan 2017 yılı nüfusu itibariyle Türkiye'de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1400 m³'tür. Ancak 2040 yılı itibariyle nüfusun 100 milyon, kullanılabilir su miktarının ise 1.120 m³ olacağı öngörülmektedir (SYGM 2019). Diğer ülkeler ve dünya ortalamasıyla kıyaslandığında, Türkiye kişi başına kullanılabilir su miktarı bakımından su azlığı çeken ülkeler arasında görülebilir. Yakın gelecekte kullanılabilir suya olası ihtiyaç artışı göz önüne alınarak yeraltı suları ve yerüstü sularımızın kullanım maksatlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde koruma, kullanma dengesi de gözetilerek ortaya konulması, korunması ve iyi su durumuna ulaşılması için alınacak tedbirlerin belirlenmesi gerekmektedir. Su kaynaklarının dinamik yapısı göz önünde bulundurulduğunda kıtlığın boyutunu belirlemede zorluk yaşanmaktadır. Bu kapsamda Tarım Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı tarafından Antalya Havzası Kuraklık Yönetim Planı hazırlanmıştır (SYGM 2018). Bu plan ile Antalya Havzasının mevcut su potansiyeli belirlenerek, küresel iklim değişikliği senaryolarına bağlı muhtemel değişimler değerlendirilmiştir. Sonuçlar mevcut durumda ve gelecekte Antalya ilinin emniyetli yeraltı suları rezervlerinde azalma olduğunu göstermiştir. Bu nedenle su kaynakları üzerindeki baskı düşünüldüğünde önümüzdeki yıllarda oluşabilecek su kıtlığı problemine alternatif bir çözüm olarak hali hazırda var olan su kaynaklarının korunması ve doğru yönetilmesi önemli bir konudur. Bu hususlar göz önünde bulundurulduğunda, Antalya İli sınırları içerisinde bulunan Akdeniz Üniversitesi için yakın gelecekte içme ve kullanma suyu kaynağı olma potansiyeli yüksek olan Akdeniz Üniversitesi yerleşkesinde konumlanan yeraltı sularının korunması ve sürdürülebilir yönetimi oldukça önemlidir.

Avrupa Birliği'nde (AB) bulunan tüm yeraltı suları, sulak alanlar ve kıta içi su kütlelerini kapsayan ve çevresel hedefler doğrultusunda bu suların gerçekçi bir şekilde korunması ve yönetimi amacıyla 20.12.2000 tarihinde Su Çerçeve Direktifi (2000/60/EC Direktifi) yürürlüğe girmiştir. Ülkemizde AB Su Çerçeve Direktifine uyumlu olacak şekilde su kaynaklarının ekosistem odaklı yönetilmesi ile doğal kaynakların ve biyolojik çeşitliliğinin korunması, havzaların çevresel ve ekonomik faydalarının sürdürülebilir olarak sağlanabilmesi maksadıyla başka yönetmelikler de mevcuttur. Bu bağlamda ülke genelindeki bütün yüzeysel sular ve yeraltı sularının miktar, kalite ve hidromorfolojik unsurlar bakımından mevcut durumunun ortaya konulması, suların ekosistem

bütünlüğünü esas alan bir yaklaşımla izlenmesi, izlemede standardizasyonun ve izleme yapan kurum ve kuruluşlar arasında koordinasyonun sağlanmasına yönelik usul ve esasları içeren Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik 11.02.2014 tarih ve 28910 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bununla birlikte, iyi durumda olan yeraltı sularının mevcut durumunun korunması, yeraltı sularının kirlenmesinin ve bozulmasının önlenmesi ve bu suların iyileştirilmesi için gerekli esaslara yönelik usul ve esasları içeren Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik 07.04.2012 tarih ve 28257 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, 22.05.2015 tarihli ve 29363 sayılı Resmi Gazete’de yapılan değişiklik ile revize edilmiştir.

Yeraltı sularını kirlüten maddeler doğal kirleticiler ve insan aktiviteleri nedeniyle oluşan kirleticiler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Yeraltı suyu kirliliğine sebep olan kirleticiler demir, manganez, zehirli elementler ve radyoaktif çekirdeklerdir (Abiriga vd. 2020). İnsan aktiviteleri sonucunda meydana gelen kirleticiler ise bakteriler, virüsler, nitratlar, sentetik organik kimyasallar, hidrokarbonlar (çözücüler, tarımsal ilaçlar, petrol ürünleri) ve ağır metallerdir. Söz konusu yönetmeliklerde yer alan yeraltı sularında izlenmesi gereken asgari parametreler; çözülmüş oksijen, pH, elektriksel iletkenlik, nitrat ve amonyumdur. İzleme, su kütlelerinin mevcut miktar ve kalite durumunun belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Su kütlesi üzerinde yapılan izleme, su kalitesindeki mevcut şartlardan ve insani faaliyetlerden kaynaklanan uzun vadeli değişimlerin değerlendirilebilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle su kütleleri üzerinde yapılan bilimsel çalışmaların büyük bir çoğunluğunun izleme ağının oluşturulması veya var olan izleme ağı aracılığı ile elde edilen veriler kullanılarak mevcut durumun tespiti ile başladığını söylemek mümkündür. Bütün yeraltı sularının kaynağı yağıştır. Beslenme şekli nedeniyle toprak yüzeyinde bulunan kirleticiler yeraltı sularına taşınması mümkündür. Bu durum özellikle içme ve kullanma amaçlı olarak kullanılan yeraltı sularında izleme çalışmalarını önemli kılmaktadır. Ancak izleme çalışmalarında birden fazla izleme istasyonunda numune alınması ve çok sayıda su kalite parametresinin analiz edilmesi, çalışmayı yapan kurum için yüksek maliyetle sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, izlenmesi gereken ilgili parametrelerin ve su kütlesini temsil edebilecek istasyonların tanımlanması gibi izleme ağının optimizasyonuna rehberlik edecek stratejilerin uygulanması gerekmektedir. İzleme alanındaki su kalitesi parametrelerinin mekânsal dağılımı ve varyasyonlarını göz önünde bulundurarak bilgi açısından etkili bir yeraltı suyu kalitesi izleme ağının tasarlanması izleme çalışmalarında önemli bir aşamadır. İzleme ağlarının tasarımı ve değerlendirilmesi için kullanılan yöntemler istatistiksel yöntemler, entropi tabanlı yöntemler ve havza fizyografik özellikleri ile izleme ağı tasarımı olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Segura 2010). Bu anlamda örnekleme noktalarının seçiminde kümeleme analizi (Daughney vd. 2011; Hosseinimarandi vd. 2014), kriging yöntemi (Yang vd. 2008), genetik algoritma yöntemi (Yeh vd. 2006), bulanık mantık yöntemi (Dhar vd. 2012) ve entropi yöntemi (Alizadeh vd. 2018) gibi çeşitli yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Bu çalışma, Akdeniz Üniversitesi kampüsü için gelecekte yaşanılacak muhtemel su kısıtı tehlikesine karşı potansiyel bir çözüm olmasının yanı sıra Akdeniz Üniversitesi yeraltı sularının optimum su kalitesi izleme ağının oluşturulması nedeniyle oldukça önemlidir. İzleme çalışmaları su kalite parametrelerinin değişimini takip etmek için kullanılabileceğinden suyun yönetimi, su kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi için

alınacak tedbirlerin belirlenmesi için önemlidir. Çalışmada Akdeniz Üniversitesinde yer alan faal yeraltı su kuyularından alınan numunelere çözülmüş oksijen, oksijen doygunluğu, sıcaklık, pH, iletkenlik, bulanıklık ve nitrat analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen su kalitesi verileri ile istatistiksel ve jeostatistiksel yöntemler kullanılarak Akdeniz Üniversitesi yerleşkesinde konumlanan yeraltı sularında su kalitesini en iyi temsil eden örnekleme noktalarından oluşan izleme ağı belirlenmiştir. Literatür taraması aşamasında çalışma alanı olarak seçilen Akdeniz Üniversitesi yerleşkesinde konumlanan yeraltı sularında temsili örnekleme noktalarından oluşan optimum izleme ağının belirlenmesi için bilimsel bir çalışmanın yapılmadığı ve bu noktada bir eksikliğin bulunduğu görülmüş olup çalışma bu eksikliğin giderilmesi açısından özgündür.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Kuyularda optimum izleme ağlarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar

Bu tez çalışması kapsamında, kuyularda optimum izleme ağlarının oluşturulmasına yönelik literatür çalışmaları incelenmiş ve literatürde yapılan bilimsel çalışmalar kuyu sayısının azaltımı, arttırımı ve mevcut kuyuların değerlendirilmesi olarak üç alt başlıkta toplanmıştır.

2.1.1. Kuyu sayısı azaltımına yönelik çalışmalar

Chao vd. (2011) çalışmasında, Yinchuan ovasının yeraltı suyu rejimi bölge haritasını oluşturmuş ve yeni izleme kuyularının yerini belirlemek için kullanmıştır. Çin'in Yinchuan ili, Shizuishan ilinin Dawukou ilçesi ve Qingshui Nehri'nin kuzey bölgesinde konumlanan 3090 km²'lik bir alanda 422 yeraltı suyu izleme kuyusu bulunmaktadır. İzleme ağını oluşturan kuyuların çoğu 20 – 30 yıllık bir süreç içerisinde inşa edilmiş olup bazı kuyular tahrip olmuştur. Aktif izleme kuyuları üzerindeki antropojenik faktörlerin baskısı nedeniyle yeraltı suyu seviyesinin dinamik olduğu ve izlemedeki belirsizliğin arttığı vurgulanmıştır. Yeraltı suyu seviyesi değişiklikleri kriging enterpolasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, Yinchuan ovası'nın toplam alanının 249 dinamik bölgeye ayrılabilceğini göstermiştir. Ayrıca izleme ağına, mevcut kuyular arasından seçilen 120 kuyu ve önerilen ilave 130 kuyu olmak üzere toplam 250 kuyu ile oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır.

Cameron ve Hunter (2002) tarafından A.B.D.'nin Massachusetts eyaletinde yer alan askeri bölgede yapılan pilot projede, uzun vadeli izleme ağlarının optimize edilmesi amacıyla mekânsal ve zamansal algoritma geliştirilmiştir. Yöntem saha alanında bulunan mevcut konsantrasyon seviyelerinin enterpolasyon haritasının çıkarılmasına dayanmaktadır. Birçok kuyudan alınan verilerin birleştirilmesi amacıyla variogram modeli kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan jeostatistiksel enterpolasyon yöntemi olan Kriging yöntemi ile yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesini önemli ölçüde etkilemeyen kuyular çıkarılarak mekânsal fazlalık azaltılmıştır. Kuyu fazlalığını azaltmak için en düşük kriging ağırlıklarına sahip kuyu kümesinin geçici olarak kaldırılması ve yeniden haritalanması ile kritik bilgileri kaybetmeden kaç kuyunun çıkarılabileceğini belirlemek mümkün olmuştur. Mekânsal analizler için iki farklı bölgede toplam 147 ve 273 kuyu kullanılmıştır.

Kavusi vd.'nin (2020) çalışmasında, İran'da yer alan Neyşabur Ovası'nda bulunan 110 yeraltı suyu gözlem kuyusundan alınan verileri incelemiştir. Çalışmada kullanılan veriler 1986-2016 yılları arasında örnekleme yapılan 110 yeraltı suyu gözlem kuyusu verilerinden oluşmaktadır. Bu verileri analiz etmek için birleştirilmiş Election-Kriging yöntemi kullanılmış ve iki senaryoda en uygun sayıyı ve yeri belirlemek için Pareto şeması çizilmiştir. İlk senaryo ile mevcut kuyular arasında en uygun kuyu konumunun belirlenmesi ve ikinci senaryo ile de ova boyunca yeraltı suyu seviyelerinin izlenmesi için en uygun kuyu konumunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Arama alanını sınırlandırmak için, izleme ağı kuyularının sayısı maksimum 30 kuyu minimum 85 kuyu olarak seçilmiştir. Sonuçlara göre, seçilen yöntem kuyuların uygun yerleşimini doğru bir şekilde sağlamıştır. Böylece ilk senaryoda belirlenen kuyu sayısı için RMSE değerleri 0.71 ila

2.34 m aralığında olmuştur. İkinci senaryoda ise problemin amacına uygun değerler olan 1.04 ile 2.89 m arasında RMSE değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, bölgede seçilen kuyuların dağılımının ikinci senaryoya göre tekdüze oluşunun yöntemin doğruluğunu desteklediği gözlemlenmiştir.

Yu Xiong vd. (2022), Çin'in Baicheng şehrindeki bir evsel atık depolama alanının neden olduğu kirliliğin tespit edilmesi amacıyla makine öğrenimi tabanlı optimal yeraltı suyu izleme ağı tasarlamıştır. Çalışmada yeraltı suyu kirliliği izleme ağı tasarlama süreci kapsamında birçok belirsizliğin bulunduğu vurgulanmıştır. İzleme ağı tasarımını etkileyen faktörlerin kontrolü amacıyla, belirsizlik analizi için Monte Carlo yöntemi uygulanmıştır. Ancak belirsizlik analizinde kullanılan Monte Carlo yönteminin yeraltı suyu sayısal simülasyon modelinde binlerce kez kullanılmasının bir dezavantaj olduğu vurgulanmıştır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek amacıyla kirlilik kaynakları ve parametrelerinin belirsizliği ile hesaplamalı simülasyon modelinin yerine kriging yöntemi ile makine öğrenmesi tabanlı bir model oluşturulmuştur. Uygulanan bu yöntemin simülasyon modeliyle büyük bir uyumluluğa sahip olduğu saptanmıştır. Çalışma sonucunda ise yeraltı suyu kirliliği izleme ağının optimum tasarımı yaklaşımının, ciddi boyutlardaki kirli alanı azami ölçüde kaplayarak yeraltı suyu kirliliğinin zamanında tespitini sağlayabileceğini ve daha sonra yeraltı suyu kirliliğinin etkili bir şekilde iyileştirilmesine katkı sağlayabileceği gözlemlenmiştir. 20 yeraltı suyu izleme kuyusu bulunan çalışmada 15 kuyu optimize edilmiştir.

Yousefi vd.'nin (2021), İran'ın yarı kurak bir iklime sahip olan ve toplam alanı 673.45 km² olan Dehbarz Ovasında çalışması bulunmaktadır. Çalışmada, akifer hassasiyeti değerlendirmede DRASTIC modeli kullanılmış olup modelin her katmanının belirsizlik analizi için Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Hassas noktaların yüksek elektriksel iletkenlik (EC) değerine sahip olan noktalar arasındaki maksimum korelasyonunu saptamak ve katman ağırlıkları optimize etmek amacıyla Diferansiyel Evrim (DE) algoritması kullanılırken, kuyular için 10 yıllık analitik yakalama bölgelerinin hesaplanmasında ise WhAEM2000 programı kullanılmıştır. DRASTIC modelinin katman ağırlıkları, savunmasız noktalar ile yüksek elektriksel iletkenliğe sahip noktalar arasındaki en yüksek korelasyonu bulmak için DE algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Optimizasyonun sonucunda akifere sızan suyun (net besleme) en yüksek korelasyona sahip olduğu saptanmıştır. Daha sonra elde edilen bu yüksek korelasyon değerleri ise besleme haritası ve elektriksel iletkenlik karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Çalışmada DRASTIC modeli ve WhAEM2000 modelinin sonuçları birleştirilerek iki strateji tanımlanmıştır. İlk strateji, simülasyonların en az %50'sinin ortalama daha fazla güvenlik açığına sahip olduğu hücreleri tanımlamıştır. İkinci strateji ise simülasyonların en az %25'inin ortalama artı standart sapmadan daha fazla güvenlik açığına sahip olduğu hücreleri belirlemiştir. Bu nedenle, izleme kuyuları her bir yakalama bölgesinde bulunan hücre sayısına göre önceliklendirilmiştir. Çalışma sonucu olarak önerilen yöntemin etüt veya yapım aşamasında olan kuyularda da kullanmasının mümkün olduğu ve en büyük avantajın kuyu seçimi esnasında belirlenen bütçe dikkate alınarak yüksek öncelikli kuyuları seçebilmesi olduğu vurgulanmıştır. Çalışma alanında 15 gözlem kuyusu bulunmaktadır. Çalışmanın sonucunda elde edilen veriler ışığında 5 gözlem kuyusuna öncelik verilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Meksika'nın Zacatecas bölgesinde yer alan Calera akiferinde Juana Cázares Escareño vd. (2022) yeraltı suyu izleme ağlarının optimum tasarımı için yöntem önermiştir. Çalışmada Calera akiferinde bulunan 49 kuyuyu kapsayan referans izleme ağı kullanılmıştır. Çalışma minimum seyahat mesafesi ve toplam tahmin hatası varyansında görülen azalmada mevcut kuyuların katkısını dikkate almaktadır. Optimizasyon kriteri olarak Statik Kalman filtresi ile elde edilen tahmini hata varyans indirgemesi, gezgin satıcı probleminde izlenilecek en uygun rotaların değerlendirilmesinde de kullanılmıştır. Çalışma alanı üç bölgeye ayrılmış ve ortalama 40 km/s hız ve 0.5 saat numune alma süresi ile her bölge birer iş günü (8 saat) ziyaret edilmiştir. Tavsiye ile 26 yeraltı suyu kuyusundan oluşan optimal bir şebeke elde edilirken, tavsiyenin ihmal edilesi durumunda 21 yeraltı suyu kuyusunun izlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Referans alınan orijinal şebeke (49 kuyu), tavsiye ile oluşturulan izleme ağı (26 kuyu) ve tavsiye olmadan elde edilen yeraltı suyu izleme ağı (21 kuyu) ile elde edilen verilerle ortalama standart hatalar hesaplanmıştır. Bu hatalar sırasıyla 35.01 m, 38.35 m ve 38.36 m'dir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemle tasarlanan bir izleme ağının, referans izleme ağına ilişkin elde edilen bilgi miktarında önemli bir kayıp olmaksızın izleme maliyetlerini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir.

İran'ın orta kesimindeki Eshtehard akifer izleme ağını optimize etmek için Alizadeh vd. (2018) çalışmasında entropi teorisine dayanan bir yaklaşım kullanmıştır. Yapay Sinir Ağı (ANN) ve K-En Yakın Komşu (KNN) yöntemleri kullanılarak çalışma alanındaki Toplam Çözünmüş Katı Maddenin (TDS) ölçülmeyen lokasyonlardaki değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen tahmini TDS değerleri ile Diferansiyel Evrim (DE) optimizasyon algoritması kullanılarak istasyonlardan elde edilen verilerin kullanımını en üst düzeye çıkarmaya yönelik bir yöntem izlenmiştir. İzleme istasyonlarının sayısı ve konumu, çalışma alanında bulunan aktif kuyulardan optimum şekilde seçilmiştir. Seçilen kuyuların mekânsal dağılımı, su kalitesi durumu hakkında maksimum faydalı bilgiyi verirken tüm akiferin yeterli bir şekilde kapsanmasını da sağlamaktadır. Ayrıca bu yöntem ile çalışmada operasyonel ve zamansal maliyetleri göz önünde bulundurarak gereksiz istasyon seçiminden de kaçınılmıştır. Önerilen entropi yöntemi, Berror Küçültme (BK) ve BK-ortalama kümeleme yöntemleri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Uygulama sonucunda çalışma alanındaki 79 aktif izleme kuyusu arasından 20 kuyu seçilmiştir. Çalışmada kullanılan metodoloji ile seçilen 20 izleme kuyusundan numune alınarak maksimum nitel bilgi elde edilebildiği saptanmıştır. Bu bağlamda izleme ağını oluşturan 79 kuyunun tamamından numune alınmasına gerek kalmayarak izleme maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır.

Orta Meksika'nın Irapuato-Valle akiferi, tarım, nüfus ve endüstriyel kullanım için yoğun su çıkarma rejimi ile bilinmektedir. Aceves-De-Alba vd. (2019) Irapuato-Valle akiferinin bulunduğu El Bajío bölgesinde izleme ağının tasarımı için yeraltı suyu kalite parametreleri verileri ve yarıvariogram modellerine dayanan yöntem kullanmıştır. Metodoloji, Júnez-Ferreira ve Herrera'nın 2016 yılında yaptığı çalışmada önerilen optimum yeraltı suyu kalitesi izleme ağlarının tasarımı için kullanılan bir metodolojidir. Aceves-De-Alba vd. çalışmasında kullandığı bu yöntemi ilişkili kuyuların mekânsal dağılımlarının elde edilmesini sağlayan yeni bir algoritma içerecek şekilde değiştirmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular yöntemin, başta içme suyu izleme ağları olmak üzere oluşturulması planlanan izleme ağı için en uygun kuyuların seçimi aşamasında kullanışlı olduğunu göstermiştir. Çalışma alanında bulunan 140 yeraltı suyu izleme

kuyusundan örnekleme yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen bulgulara dayanarak temsili izleme ağını oluşturan 30 izleme kuyusu seçilmiştir.

Meksika'daki Valle de Querétaro akiferinde Júnex-Ferreira ve Herrera (2016) yaptığı çalışmada ise yeraltı sularının hidrolik yük izleme ağlarının optimal tasarımı için mekânsal-zamansal bir metodoloji geliştirilmiştir. Jeostatistiksel mekan-zaman analizi için veri tabanı, akiferde bulunan 273 kuyuya ait 1970–2007 dönemi verileri ile oluşturulmuştur. Mekânsal-zamansal izleme noktalarının seçiminde sıralı bir optimizasyon yöntemiyle birleştirilmiş statik Kalman filtresi kullanılmıştır. Deneysel variogramı oluşturmak için 1435 hidrolik yük verisi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, mevcut izleme programında yer alan 418 yeraltı suyu izleme noktasından yalnızca 178'inin izlenmesinin yeterli olacağı vurgulanmıştır.

Hamid Amiri vd. (2022), Basra Körfezi'nde yer alan Kish Adası'nda yaptığı çalışmada yeraltı suyu izleme ağlarının kuyu seçiminde yeraltı suyu kalitesine endüstriyel aktivitelerin, insan faaliyetlerinin ve doğal faktörlerin etkisini dikkate alarak geliştirdikleri yöntemi kullanmıştır. 244 yeraltı suyu izleme kuyusunun bulunduğu bu alan için önerilen yöntem, gama testi ve öncelikli izleme haritalarının çıkarılmasına dayanmaktadır. GALDIT, yeraltı suyu oluşumu, akiferin hidrolik iletkenliği, yeraltı suyu seviyesinin deniz seviyesinden yüksekliği, kıyıdan uzaklık, deniz suyu girişiminin mevcut duruma etkisi ve haritalanan akiferin kalınlığı olmak üzere 6 parametreye dayalı deniz suyu girişi türlerine karşı savunmasız bölgeleri belirleyen, dizin tabanlı deniz suyu girişi güvenlik açığı modelidir. GALDIT indeksi kullanımında yeraltı suyu elektriksel iletkenlik dalgalanmaları ve tuzluluğa neden olan atık su kaynaklarının, kuyular arasındaki mesafe dikkate alınarak tuzluluğun izlenmesine ilişkin öncelik haritası elde edilmiştir. Optimum izleme kuyusu sayısının belirlenmesi aşamasında gama testi yöntemine dayalı bir veri analizi ve pratik bir algoritma kullanılmıştır. Önerilen yöntem, yeraltı suyu tuzluluğunun izlenmesi için en uygun ağı tasarlamak için başarıyla uygulanmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular sonucunda 110 kuyudan oluşan izleme ağı tasarlanmıştır.

Leach vd. (2016) çalışmasında entropiye dayalı yeraltı suyu izleme ağı tasarımı gerçekleştirmiştir. Çalışma Kanada'nın Ontario eyaletinde yapılmış olup, İl Saha İzleme Ağı (PGMN) dahilinde 26 izleme kuyusu bulunmaktadır. 1980'li yıllarda kurulan PGMN izleme ağı bu çalışma esnasında ek izleme kuyularıyla güçlendirilmiştir. Çalışmada Çift Entropi - Çok Nesneli Optimizasyon (Dual Entropy - Multiobjective Optimization (DEMO)) modeli kullanılmıştır. Yağış Akış Modelleme Sistemi (PRMS) kullanılarak hesaplanan ve hem PRMS hem de Hidrolojik Simülasyon Programı - Fortran (HSP-F) sonuçlarının toplamından oluşan iki yeraltı suyu besleme kaynağından elde edilen veriler incelenerek karşılaştırılmıştır. Çalışmada önerilen metodoloji 144 potansiyel izleme kuyusundan 10'unu seçmek için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilere dayanarak kuyuların yenilenme hızlarının izleme kuyusu tasarımına dahil edilmesiyle, izleme ağının mekânsal kapsamının iyileştirilebileceği vurgulanmıştır.

İran'ın kuzeyinde yer alan Amol-Babol Ovası'nda, Narany vd.'nin (2015) yaptığı çalışmada yeraltı suyu kalitesi izleme şebekesi optimizasyonu için çok amaçlı yaklaşım kullanılmıştır. Amol-Babol Ovası'nın alanı yaklaşık 1830 km² olup, kuzeyden güneye yaklaşık 45 km ve batıdan doğuya 50 km'dir. Çalışmada izleme kuyularının optimum tasarımı için seçilen doğal ve antropojenik parametreler; elektriksel iletkenlik, toplam

çözünmüş katı madde, sodyum, klorür, kalsiyum, magnezyum, fekal koliformlar, nitrat, biyolojik oksijen ihtiyacı ve kimyasal oksijen ihtiyacıdır. Doğal ve antropojenik kirleticiler için örnekleme kuyularının maksimum yoğunluğuna bağlı olarak üç farklı optimum izleme kuyusu senaryosu tanımlanmıştır. Önerilen senaryoların doğruluğu, toplu tahmin hataları ve iki farklı duruma ait üç senaryo arasında karşılaştırma yapılarak tahmin edilmiştir. Bu yaklaşım, jeostatistiksel, istatistiksel ve hidrokimyasal teknikler entegre edilerek geliştirilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak hem doğal hem de antropojenik kontaminasyonlar için çalışma alanında yer alan mevcut 154 izleme kuyusundan numune almak yerine, yaklaşık %86'lık bir kirlilik kitle tespit kapasitesinin 114 kuyu ile tahmin edilebileceği vurgulanmıştır.

Umman'ın Al-Buraimi bölgesinde Izady vd.'nin (2017) yaptığı çalışmada, yeraltı suyu seviyesi izleme ağını optimize etmek için ampirik Bayesian Kriging (EBK) yöntemi uygulanmıştır. EBK interpolasyon yönteminin performansının diğer yöntemlere göre daha iyi olduğunu göstermek amacıyla dört farklı yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Ters Mesafe Ağırlıklandırma (IDW), Spline Kriging, Sıradan Kriging (OK) ve EBK interpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada, 52 kuyu için 22 yıllık izleme döneminden elde edilen aylık su seviyesi verileri kullanılmıştır. Optimizasyon sürecinde 42 kuyu seçilmiştir. Bunların 22 tanesi mevcut kuyulardan, 20 tanesi ise yeni önerilen kuyulardan oluşmaktadır.

Komasi ve Goudarzi (2021) çalışmasında Kriging, genetik algoritma ve entropi teorisi yönteminin kullanıldığı iki senaryodan oluşan metod uygulamıştır. İran'ın Silakhor ovasında yapılan çalışmada, mevcut izleme ağı 29 yeraltı suyu kuyusundan oluşmaktadır. Çalışmada ilk senaryo için Kriging yöntemi kullanılarak potansiyel kuyulardaki yeraltı su seviyelerinden oluşan veri tabanı üretilmiştir. Ardından Kriging yöntemi ile oluşturulan yeraltı su seviyelerinden oluşan veri tabanı genetik algoritmada (NSGA-II) kullanılmıştır. İkinci senaryo için 29 gözlem kuyusunun her biri için entropi hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda ilk senaryodan elde edilen kök ortalama kare hatası (RMSE) 0.61 m değerini gösteren 12 gözlem istasyonuna sahip bir izleme ağı elde edilmiştir. Çalışmada verilen ilk senaryo ile izleme istasyonlarının sayısı, mevcut gözlem ağından %60 oranında azaltılmıştır. İkinci senaryoda ise entropi teorisi kullanılarak 11 istasyonlu bir izleme ağı elde edilmiştir.

Nunes vd. (2004) çalışmasında tarımsal kaynaklı kirliliğin boyutunu tanımlamak ve yeraltı suyu izleme ağlarını tasarlamak için bir yöntem önermiştir. Çalışma alanı yaklaşık 350 km²'lik bir alanı kapsayan Beja akifer sisteminin Gabro'su olarak bilinen, Portekiz'in güneyinde bulunan Alentejo bölgesinde 50 km²'lik bir alanda yer almaktadır. Çalışmada, simüle edilen tavlama optimizasyon algoritması (Annealing Optimization Algorithm), kriging ile elde edilen tahmin hatasının varyansını en aza indirmek için kullanılmıştır. Tarımsal kaynaklı kirlilik boyutunun belirlenebilmesi için Portekiz'in güneyinde yer alan yeraltı suyu nitrat izleme ağı verileri kullanılmıştır. Çalışma alanında mevcut izleme ağını oluşturan 89 izleme kuyusu bulunmaktadır. Yeniden tasarlanan izleme ağı mevcut 89 izleme noktasından 16 izleme noktasına düşürülmüştür. Yöntemin, eksik verileri bulunan izleme noktası azaltma çalışmalarında kullanımının uygun olduğu vurgulanmıştır.

2.1.2. Kuyu arttırımına yönelik yapılan çalışmalar

İran'ın merkezinde yer alan Eshtehard akiferinde Mirzaie-Nodoushan vd. (2017) evrimsel algoritma (NSGA-II) kullanarak yeraltı suyu izleme ağı tasarımı için üç senaryodan oluşan metodoloji geliştirmiştir. İlk senaryo, yeni izleme ağları tasarlamak, ikinci senaryo mevcut izleme ağlarını yeniden tasarlamak ve üçüncü senaryo ise mevcut izleme ağlarını genişletmek için oluşturulmuştur. NSGA-II kullanılarak optimize edilen gözlem kuyularında IDW (Inverse Distance Weighting - Ters Mesafe Ağırlıklandırma) ile optimize edilmiş yeraltı suyu seviyeleri elde edilmiştir. İlk senaryo izleme ağındaki kuyu sayısının 30 ile sınırlandırılması ve akifer boyunca optimize edilmesi üzerine kurulmuştur. İkinci senaryo mevcut bir izleme ağının yeniden tasarımı üzerine kurulmuştur. Çalışma alanında bulunan mevcut 18 kuyunun en iyi alt kümesinin seçilmesi ile ikinci senaryo tamamlanmıştır. Üçüncü senaryo ise izleme ağının genişletilmesine dayanmaktadır. 18 izleme kuyusundan oluşan mevcut izleme ağı genişletilerek üçüncü senaryo oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda elde edilen bulgulardan yola çıkılarak en verimli ve doğru yeraltı suyu izleme ağı tasarımı yaklaşımının, ilk senaryoda yapılan yaklaşım olduğu vurgulanmıştır.

2403 km²'lik bir alanda yer alan Chaiwopu Havzası, Çin'in Xinjiang Uygur Özerk bölgesinde bulunmaktadır. Feng-guang vd. (2008) bu havzada bulunan 18 yeraltı suyu gözlem kuyusunun ağ yoğunluğunu belirlemek amacıyla CBS tabanlı Sıradan Kriging yöntemi kullanmıştır. Yeraltı suyu izleme ağının tasarımı yeraltı suyu yüksekliği gibi herhangi bir yeraltı suyu durum değişkenini izlemek için oluşturulurken, bir ağın etkinliği genellikle konumsal tahminin doğruluğu yani, konumsal tahmin hatasının varyansı ile ilişkilidir. Üç farklı variogram modeli kullanılan (küresel, üstel ve gauss) çalışmada, variogram parametrelerinin karşılaştırılması sonucunda en uygun modelin, Gauss modeli olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda 18 gözlem kuyulu mevcut ağın iyi olmadığı ve 37 kuyunun eklenmesi gerektiği saptanmıştır.

Güney Kore Ulusal Yeraltı Suyu İzleme Ağı (NGMN), 1990'ların başında yeraltı suyu seviyelerindeki eğilimleri tespit etmek amacıyla kurulmuştur. Gyoo-Bum Kim vd.'nin (2022) yaptığı çalışma ile NGMN izleme ağı iklim değişikliği ve insan faaliyetleri dikkate alınarak yeniden değerlendirilmiştir. Lineer trendin ve yeraltı suyu seviyesinin tanımlanması için 521 izleme kuyusunun yeraltı suyu seviyeleri, Cl konsantrasyonu ve NO₃-N konsantrasyonunun doğrusal trend analizleri yapılmıştır. Topografya, akarsu yakınlığı, arazi kullanımı, toprak, hidrojeoloji ve kuyu yoğunluğu ile ilgili 14 faktörün yer aldığı her izleme alanı için tematik haritalar çıkarılmıştır. Standart bir havzadaki herhangi bir ızgara noktasında aşağı yönlü ve aşağı doğru olmayan eğilimleri tahmin etmek için bu 14 faktör girdi değişkeni olarak kullanılarak yeraltı suyu seviyesi eğilimleri için bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Yeni yeraltı suyu izleme kuyuları için aday yerler, yeraltı suyu seviyeleri için iki eğilimin var olma olasılığına dayalı olarak önerilmiştir. Çalışma sonucunda 2045 yılına kadar toplam 1475 yeraltı suyu izleme kuyusunun kurulması önerilmiştir.

Bouhout vd. (2022) ise Fas'ın Kuzeydoğusunda yer alan Ghiss-Nekor kıyı ovasında yaptığı çalışmada, Empirik Bayesian Kriging (EBK) ve Ordinary Kriging (OK) yöntemlerini kullanarak yeraltı suyu kuyularının su seviyelerini incelemiştir. Çalışmada kullanılan veriler Ghiss-Nekor kıyı ovasında bulunan 12 özel gözlem kuyusundan

alınmıştır. Bu veriler 2017 yılında kuru ve yağışlı mevsimlerde alınan dağınık yeraltı su seviyesi verilerinden oluşmaktadır. Dağınık veriler Empirik Bayesian kriging (EBK) ve Ordinary Kriging (OK) yöntemleri kullanılarak interpolate edilmiştir. Tahminlerin doğruluğunu test etmek amacıyla çapraz geçerlilik yönteminden elde edilen doğrulama sonuçları kullanılmıştır. Doğrulama sonuçları, en uyumlu yöntemin Empirik Bayesian Kriging (EBK) yöntemi olduğunu göstermiştir. Ek olarak çalışmada Bir CBS yazılımı olan ArcGIS programında bulunan Yoğunlaştırılmış Örnekleme Ağı aracı kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, Ghiss-Nekor kıyı ovası yeraltı suyu izleme ağına 26 yeni kuyunun eklenmesi önerilmiştir.

Yeraltı su seviyesi izleme ağlarının tasarımı için birçok yöntem bulunmaktadır. Mirzaie-Nodoushan vd. (2017) yeni izleme ağlarının tasarlanması, mevcut izleme ağlarının yeniden tasarlanması ve mevcut izleme ağlarının genişletilmesini kapsayan üç senaryodan oluşan yöntem geliştirmiştir. Çalışma alanı İran'ın merkezinde yer alan ve 18 gözlem kuyusu bulunan Eshtehard akiferidir. Çalışmada kullanılan yeraltı suyu seviyesi verileri 2009–2013 yıllarını kapsayan aylık ölçümler sonucunda elde edilmiştir. Akiferin veri tabanı kriging yöntemi kullanılarak oluşturulup, baskın olmayan sıralama genetik algoritması (NSGA-II) uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda izleme ağı için maksimum 30 kuyu belirlenmiştir.

Samani ve Moghaddam'ın (2022) çalışması ise İran'ın Tahran eyaleti sınırları içerisinde yer alan Varamin şehrinin kuzey kesiminde yapılmıştır. Çalışma alanının da içerisinde bulunduğu İran'ın Varamin, Pakdasht, Pishva, Qarchak ve Javadabad şehirlerinin toplam alanı 1584 km² olup, bu alanın 971 km²'sini akiferler kaplamaktadır. Çalışma 5 adımdan oluşan bir yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu adımların ilki; akiferin özelliklerini tanımlamaktır. İkincisi; hidrolik iletkenlik, doymuş ve doymamış kalınlık, yeraltı suyu seviyesi dalgalanmaları, akiferin beslenme ve deşarj alanları, hidrolik eğim, işletme kuyusu yoğunluğu, nehir yoğunluğu ve fay yoğunluğu gibi Coğrafi Bilgi Sistemleri'ne (GIS) dayalı birincil hidrojeolojik katmanlar oluşturularak akiferin özelliklerini anlamaktır. Üçüncüsü; gama operatörü kullanılarak dokuz hidrojeolojik katmanın bulanık kümeleme analiziyle izleme önceliklendirme haritası tasarlamaktır. Dördüncüsü; ekonomik kriterleri veya mevcut izleme ağını göz önünde bulundurmadan, izleme önceliklendirme haritasına dayalı olarak ve her bir ızgara hücresinin merkezine bir gözlem kuyusu yerleştirilerek mekânsal uzaklaştırma yoluyla ideal ağı tasarlamaktır. Son adım ise mevcut yeraltı suyu seviyesi izleme ağını ideal ağı ve mevcut yeraltı suyu seviyesi izlemeye dayalı olarak optimize etmektir. Bu yöntem ile elde edilen bulgular neticesinde optimum izleme ağı tasarımı için mevcut 6 izleme kuyusunun kaldırılması ve mevcut 65 gözlem kuyusuna 23 yeni gözlem kuyusunun eklenmesi önerilmektedir.

Wainganga havzası Hindistan'ın orta kesiminde bulunmaktadır. Chandan ve Yashwant (2017) söz konusu havzada yer alan 18 alt havzada mevcut gözlem kuyularını oluşturan izleme ağını optimize etmek için jeoistatistiksel yöntem uygulamıştır. Çalışma alanında bulunan 37 gözlem kuyusundan elde edilen ortalama yeraltı su seviyesi verileri, Wainganga alt havzasının çizgi yoğunluğu, yeniden doldurma, sulama kuyularının yoğunluğu, arazi kullanımı ve hidrojeolojisi gibi parametrelerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında basit, sıradan, ayrık ve evrensel kriging yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. En uygun yöntemin seçilmesi için uygulanan kriging yöntemlerine ayrı ayrı semivariogram analizleri yapılmıştır. Gauss,

küresel, üstel ve dairesel olmak üzere 4 modelden elde edilen sonuçlar, yeraltı su seviyesi verilerinden elde edilen deneysel modellerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, sıradan kriging yönteminden elde edilen üstel semivariogram modelinin en uygun model olduğunu ve çalışma alanında yeraltı suyu seviyesinin uygun şekilde izlenmesi için en az 82 kuyunun gerekli olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada önerilen yöntemin, gözlem kuyularının konumunun belirlenmesinde etkili bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Tunus'un güneydoğusunda bulunan Sfax yüzeysel akiferinde bulunan yeraltı suyu izleme ağı Triki vd.'nin (2013) çalışmasında çapraz doğrulama testi ile birleştirilmiş evrensel kriging varyansı kullanılarak optimize edilmiştir. Bölgede bulunan piyezometrik izleme ağı, 1983 yılından itibaren yerel su yönetimi yetkilileri tarafından aylık olarak denetlenmektedir. Toplam kuyu sayısı 2002 yılında 39 kuyu, 2005 yılında 85 kuyu olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan veriler 2004 yılının Aralık ayı (yağışlı mevsimde) ve 2005 yılının Eylül ayında (kurak mevsimde) 85 gözlem kuyusundan toplanmıştır. Verilerin analizinde kullanılan jeostatistiksel yaklaşım çapraz geçerlilik testi ile birleştirilmiş evrensel kriging varyansına dayanmaktadır. Mevcut izleme ağı için standart sapma analizi sonuçlarını jeostatistiksel yaklaşımdan elde edilen çapraz doğrulama testiyle birleştirmek, eklenmesi ve çıkarılması gereken izleme kuyuları için en iyi konumun belirlenmesini sağlamıştır. Çalışmada elde edilen bulgular sonucunda, izleme ağının mekânsal kapsamını iyileştirmek için kriging'in yüksek varyanslı alanlara 38 kuyu eklenmiştir. Ancak varyans değerleri incelenen 5 gözlem noktasının yeraltı su seviyesine ilişkin önemli bilgi sağlamaması nedeniyle izleme ağından çıkarılmıştır. Sonuç olarak 118 kuyudan oluşan yeraltı suyu izleme ağı tasarlanmıştır.

2.1.3. Mevcut kuyuların değerlendirilmesine yönelik çalışmalar

Yeni Zelanda'da yeraltı suyu izleme programı ülke genelinde 110 aktif izleme sahası içeren ve 15 bölgesel kurum tarafından işletilen birleştirilmiş bölgesel izleme ağlarından oluşmaktadır. Daughney vd. (2012) Yeni Zelanda'nın ulusal ve bölgesel izleme ağlarının optimizasyonu sağlamak ve temsil edilebilirliğini değerlendirmek amacıyla, hiyerarşik kümeleme analizi kullanmıştır. Çalışmada hiyerarşik kümeleme analizi yaklaşımına ek olarak temel bileşenler analizi ve kümülatif olasılık grafikleri gibi diğer istatistiksel yöntemler de kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ele alınan izleme alanlarının yaklaşık dörtte üçü oksik yeraltı suyu ile karakterize edilirken, kalan alanlar ise oksijensiz su olarak karakterize edilmiştir. Ayrıca çalışma sonucu olarak ulusal izleme ağından alınan verilerin Yeni Zelanda'daki yeraltı suyu kalitesinin durumunu özetlemek için kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Hosseini ve Kerachian (2017) çalışmasında Bayes Maksimum Entropi (BME) yöntemi ve Sıralı Ağırlıklı Ortalamaya (OWA) dayalı çok kriterli karar verme yaklaşımını kullanarak yeraltı suyu seviyesi izleme ağını (GLMN) yeniden tasarlamak için farklı bir metodoloji sunmuştur. Çalışma alanı 52 izleme kuyusunun bulunduğu İran'ın kuzeybatısındaki Dehgolan ovasında yer almaktadır. Çalışmada kullanılan yaklaşım, geçici örnekleme noktalarının tasarımında bilgi eksikliğinden kaynaklanan belirsizliği dikkate almaktadır. Bu yaklaşım ile sayısal bir yeraltı suyu akış modelinin simülasyon sonucu dikkate alınarak farklı gecikme değerleri test edilmektedir. Sonuçlardan elde edilen bilgilere göre numuneler arasındaki gecikme süresinin 5 haftaya eşit olduğu tespit edilmiş, kenar uzunluğu 3600 m olan düzenli bir altıgen ızgara için 33 kuyudan oluşan

izleme ağı önerilmiştir. BME yönteminin varyans tahmin hatalarının, yeniden tasarlanan izleme ağı ve mevcut izleme ağı için neredeyse aynı olduğu saptanmıştır. Sonuçlar, önerilen 33 kuyudan oluşan izleme ağının, aylık örnekleme yapılan 52 kuyudan oluşan mevcut izleme ağına göre daha uygun maliyette ve verimde olduğunu göstermiştir.

Hosseini ve Kerachian (2019) İran'da yer alan Dehgolan Ovası'nda yaptığı çalışmada, yeraltı su seviyesi tahminlerini iyileştirmek ve yeraltı su seviyesi izleme ağlarının etkinliğini artırmak için üç simülasyon modelinden oluşan metodoloji önermiştir. Çalışmada, su tablası seviyesinde oluşan değişimleri simüle etmek için sayısal yeraltı suyu akış modeli, yapay sinir ağı ve S-T (mekan-zaman) kriging yöntemi olmak üzere üç S-T simülasyon modeli uygulanmıştır. En uygun modelin seçimi aşamasında her model, model füzyon teknikleri kullanılarak birleştirilmektedir. Bireysel ve birleşik simülasyon modellerinin karşılaştırılması ile en uygun modele karar verilmiştir. Tahminlerin doğruluğunu test etmek amacıyla çapraz geçerlilik yönteminden elde edilen doğrulama sonuçları kullanılmıştır. Çapraz doğrulama, en iyi füzyon modelinin tahmin hatasının diğer üç modelden önemli ölçüde düşük olduğunu göstermiştir. Çalışma sonucunda en iyi izleme ağının oluşturulması için farklı senaryolar tanımlanmıştır. Elde edilen bulguların değerlendirilmesi ile 52 kuyudan oluşan mevcut izleme ağına alternatif olarak önerilen en iyi senaryo 37 kuyunun dahil edildiği izleme ağıdır. Varyans tahmin hataları incelendiğinde, senaryolardan elde edilen hataların mevcut ağına ait hatalara kıyasla önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

Tuan vd. (2022) tarafından yapılan çalışma ise Vietnam'da yer alan Mekong Deltası'nın kıyı bölgesinde yer alan Tra Vinh eyaletinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanını kapsayan bölgede tatlı su kaynağı olan iki önemli nehir bulunmaktadır. Alüvyon tortularını biriktiren bu iki nehir, Tra Vinh eyaletindeki limanları birbirine bağlamaktadır. Tra Vinh eyaleti için tasarlanan yeraltı suyu seviyesi izleme ağı, üç sığ akiferde bulunan 80 izleme kuyusundan oluşmaktadır. Çeşitli kaynaklardan elde edilen verilerle varsayımsal hidrojeolojik bir model oluşturulan çalışmada kullanılan yöntemler, Tra Vinh eyaleti için yeraltı suyu seviyesi ve tuzluluk izleme ağlarının tasarımına dayanmaktadır. Mevcut yeraltı suyu izleme kuyuları çok sınırlı olduğundan, yeraltı suyu modellemesi ve jeostatistik yöntemlerin bir kombinasyonu kullanılmıştır. 3D geçici yeraltı suyu akış modeli (tuzlu su) oluşturularak, 11 izleme kuyusundan alınan yeraltı suyu zaman serileri ile kalibre edilmiştir. 2017, 2018 ve 2019 yıllarında üç akiferde bulunan mevcut birçok kuyudan elektriksel iletkenlik (EC) ölçümleri yapılarak sudaki tuzluluk kontrol edilmiştir. Varsayımsal izleme kuyularının seçilmesi ile yeraltı suyu seviyeleri ve tuzluluk dağılımının bulunduğu haritalar elde edilmiştir. Seçilen izleme kuyuları kullanılarak yeraltı suyu seviyeleri ile tuzluluk ve enterpolasyon hatalarının standart sapmasına ilişkin haritaların oluşturulması için Kriging yöntemleri kullanılmıştır. Tüm aşamaların tamamlanması ile izlenmesi gereken öncelikli kuyular belirlenmiştir. Sonuçlar, yeraltı suyu seviyesinin izlenmesi durumunda varsayımsal kuyuların inşa edilmesini, tuzluluğun izlenmesi durumunda ise üç akiferde bulunan mevcut kuyulardan yapılabileceğini göstermiştir.

2.2. Antalya ilinde yapılan yeraltı suyu çalışmaları

Akdeniz Üniversitesi Kampüs sınırları içerisinde yeraltı suları ile ilgili yapılan herhangi bir çalışma bulunmadığından Antalya İli genelinde yeraltı suyu ile ilgili yapılmış çalışmalar derlenmiştir.

Ozden ve Muhammetoğlu (2008) tarafından yapılan çalışmada kanalizasyon sistemi bulunmayan alanların altında bulunan yeraltı sularında azot konsantrasyonunu tahmin etmek için bir yaklaşım geliştirilerek, Antalya ili Liman bölgesine uygulanmıştır. Ayrıca bu yaklaşım ile yeraltı suyu azot konsantrasyonları tahmin edilerek Türkiye’de içme suyu standartlarında izin verilen maksimum azot konsantrasyonu karşılaştırılmıştır. Çalışma alanında derinlikleri, foseptikler arasındaki mesafeleri, arazi kullanım faaliyetlerini ve farklı noktaları temsil eden 8 gözlem kuyusu seçilmiştir. Yaklaşımın hidrolik iletkenliğe, hidrolik eğime, kanalizasyondaki denitrifikasyon oranına, nüfus yoğunluğuna ve evsel su tüketimine duyarlı olduğu görülmüştür. Sonuçlar, Liman bölgesinin akifer yükseltisine giren yeraltı suyunun azot seviyeleri üzerindeki önemli etkisini göstermiştir. Geliştirilen ve test edilen yaklaşımın, benzer alanlarda planlamacılar ve karar vericiler için kullanışlı ve kolay olduğu vurgulanmıştır.

Amil vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, karstik ortamlarda yeraltı suyu duyarlılığının belirlenmesi için SINTACS yöntemi kullanılmıştır. Çalışma alanı Antalya Traverten Platosu’nda yer alan Altınova akiferidir. Çalışma alanı olarak seçilen bölgenin %23’ünde yaygın olarak örtü altı yetiştiricilik (yapay geliştirme ortamında kültür bitkilerinin yetiştirilmesi) yapılırken, sulama suyu yeraltı sularından karşılanmaktadır. Örtü altı tarım alanları dikkate alınarak SINTACS yöntemiyle hesaplamalar yapılmıştır. Bu yöntem kullanılarak yapılan hesaplamalarda etkin süzülme ve toprak sönümleme parametreleri değerlendirilmiştir. İki farklı derecelendirme (sönümleme kapasitesi ve akifer ortamı parametreleri) değeri için yapılan hesaplamalar sonucunda SINTACS-I ve SINTACS-II duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu haritalarda, yüksek ve çok yüksek duyarlılıklı alanlar sırası ile %85 ve %96 olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, yeraltı sularının kirlenme olasılığının geniş alanlara yayıldığını ve tarımsal kaynaklı kirleticilerin kullanımının kontrol altına alınması gerektiğini göstermiştir.

Kaya (2019) tez çalışmasında, Antalya Traverten Platosu (ATP) bölgesinde bulunan Altınova bölgesinde genellikle sulama amaçlı kullanılmak üzere açılan yeraltı suyu kuyularında akiferin beslenme bileşenlerinin tespit edilmesini amaçlamıştır. Çalışma alanında sulama amaçlı açılan kuyularda kimyasal ve çevresel gözlemler yapılmıştır. Gözlemler sonucunda seçilen örnekleme noktalarında 2016 yılının Mayıs ve Eylül aylarında yeraltı suyu seviyeleri gözlemlenmiş, kuyuların fiziksel ve kimyasal özellikleri ölçülmüş ve örnekleme yapılmıştır. Örnekleme yapılan kuyulardan alınan numunelere majör iyon, iz element, duraylı izotop ve trityum analizleri yapılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi ile örnekleme noktaları; Mesozoyik kireçtaşları, traverten akifer örnekleri ve Pliyosen yaşlı granüler akifer örneklerini temsil eden 3 gruba ayrılmıştır. Çalışmanın sonucunda akiferin beslenme kökeni hakkında en doğru bilginin duraylı izotop analizleri ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan hidrolik bütçe hesaplamaları ile traverten akiferinin yıllık beslenme kaynakları belirlenerek sonuçlar doğrulanmıştır.

Bingöl (2019) tarafından yapılan tez çalışmasında, Antalya ilinde bulunan Olimpos antik kentinin yeraltı sularının akım modellemesi yapılmıştır. Çalışmada yeraltı suyu akım modellemesinin yapılması amacıyla MODFLOW-2000 (Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model) yazılımının GMS arayüzü kullanılmıştır. Jeolojik ve hidrojeolojik kavramsal modellerin değerlendirilmesi ile oluşturulan kavramsal modeller, sayısal akım modelinin geliştirilmesi ve yeraltı suyu benzeşiminin yapılmasında kullanılmıştır. Parametre tahmin sürecinin otomatik olarak gerçekleşmesini sağlayan PEST analizinin (Politik, Ekonomik, Sosyal ve Teknolojik faktörler) kullanıldığı çalışma kalibrasyon ve doğrulama ile tamamlanmıştır. Sonuçlar son 2500 yıl içerisinde deniz seviyesinin yaklaşık olarak 1 m yeraltı sularının ise 3 m kadar yükseldiğini göstermiştir.

Wani (2019) tarafından yapılan tez çalışmasında, Antalya ilinin Altınova akiferinde bulunan yeraltı sularının hareketi Visual MODFLOW Flex kullanılarak simüle edilmiştir. Mekânsal çözünürlüğü 25600 m²'lik boyutta ve yaklaşık 75 km²'lik bir alan üzerinde tasarlanan modelin uygulama alanı 2 farklı bölgeye ayrılmıştır. Model kalibrasyonu ise modelden elde edilen sonuçların sahada ölçülen (Kasım 2015, Şubat 2016 ve Mayıs 2016) yeraltı suyu seviyeleri ile karşılaştırılması ile yapılmıştır. Üç farklı hidrolojik senaryo ile çalıştırılan model sonuçlarında yeraltı su seviyelerinde düşüşler saptanmıştır. Yeraltı su seviyelerinin ölçüm ve tahmin sonuçları korelasyon katsayısının 0.99 olarak hesaplandığı çalışmada, net beslemenin model sonuçları üzerinde büyük etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Model sonuçları ile yeraltı suyu akım yönü haritası oluşturulmuştur. Sonuçlar karstik travertenlerde bulunan yeraltı suyu hareketi yönünün kuzeyden güneybatıya, karstik olmayan akiferlerde ise güneye doğru olduğunu göstermiştir.

Çil vd. (2020) çalışmasında, karstik akiferlerde yeraltı suyu kirliliği riskini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada yeraltı suyu kirliliği riski hassasiyet değerlendirme indeksi yöntemiyle (COP ve PI) değerlendirilmiştir. PI yönteminde, koruyucu örtü (P) ve sızma koşulları (I) olmak üzere iki ana faktör dikkate alınmaktadır. En üstteki akiferin gerçek hassasiyeti ve doğal koruması π faktörü ile gösterilmektedir. Burada π faktörü, P ve I faktörlerinin puanları çarpılarak elde edilmiştir. COP yöntemi ise üç ana faktöre dayanmaktadır. Bunlar; akış Konsantrasyon (C), Üstteki katmanlar (O) ve Yağış (P)'tir. Toprak özellikleri ve yeraltı suyu derinliğine ek olarak birçok su kalitesi parametresi için 25 numune alma kuyusunda mevsimsel izleme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada, COP ve PI yöntemlerine göre pilot çalışma alanında düşük, orta ve yüksek düzeyde güvenlik açığı ve risk alanları belirlenmiştir. Risk analizi sonuçlarının doğrulanması için, nitrat konsantrasyonları risk yoğunluğu değerleri ile ilişkilendirilmiştir. Her iki yöntem de yüksek korelasyon ile yeraltı suyu kirliliğine karşı hassasiyeti ve riski değerlendirmede başarılı olduğu görülmüştür. Çalışma alanı olarak seçilen Antalya'nın Altınova bölgesi tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bir bölgedir. Bu bağlamda seraların neden olduğu kirleticilerin göreceli miktarındaki artışı temsil eden iki senaryo koşulu için tehlike indeksi değerlerinin yeraltı suyu kirlilik riski üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, acil kontrol önlemlerinin gerekli olduğu durumlarda, çalışma alanının karstik kısmının COP yöntemiyle yüksek yeraltı suyu kirlenmesi riski taşıdığı vurgulanmıştır.

Kaynarca vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada içme sularının temin edildiği alanlarda bulunan yeraltı sularının özellikleri belirlenmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen

Kırkgözler Antalya ilinde bulunan önemli içme suyu kaynaklarından biridir. Çalışmada bu bölgeye ait mekânsal veriler kullanılarak tematik haritalar çizilmiştir. Sentinel-2 uydu görüntüleri karar vektör makinaları yöntemi ile sınıflandırılmış olup, arazi kullanım özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada 1067 adet kuyu verisi ile kriging enterpolasyonu yapılarak statik ve dinamik seviye modelleri oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda düşük standart sapma değerleri ile yeraltı suyu modeli oluşturulmuştur. Bulgular kullanılan yöntem ile elde edilen arazi örtüsünün yüksek doğrulukta olduğunu göstermiştir. Bu bağlamda çalışmada kullanılan yöntemin Antalya’da bulunan havzalara uygulanabileceği vurgulanmıştır.

Ekmekçi ve Açık (2021) çalışmasında, eklenik sapma yaklaşımını kullanarak Yağış-Seviye ilişkisini türeterek yeraltı suyu beslenimi tahmin modeli oluşturmuştur. Eklenik sapma yönteminin kuramsal temellerinin açıklandığı bu çalışma Antalya ilinin Gazipaşa Ovası akiferine uygulanmıştır. Çalışmada Akiferde bulunan ve DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından izlenen iki gözlem kuyusundan alınan veriler kullanılmıştır. Gözlem kuyularından alınan veriler kullanılarak uygulanan eklenik sapma yaklaşımı ile %98’lik bir korelasyonla yeraltı suyu seviyesi değişimleri türetilmiştir. Sonuçlar Gazipaşa ovası akiferinin sızma ve pompajla çekim benzeri dış etkiler nedeniyle açık bir sistem oluşturduğunu göstermiştir. Ayrıca çalışmada ortalama yağış verileri kullanılarak yapılan uygulama ile beslenme miktarı tahminin yanı sıra akiferin ortalama özgül verimi, dış etkilere verilen tepkinin şiddeti ve zamanı ile ilgili önemli bilgiler edinilmiştir.

2.3. Su kalitesi örnekleme noktalarının seçiminde kullanılan istatistiksel yöntemler

Yeraltı sularında su kalitesi örnekleme noktalarının seçiminde kullanılan farklı istatistiksel ve jeoistatistiksel yöntemler bulunmaktadır. İstatistiksel analiz yöntemleri, verileri toplamak, düzenlemek ve yorumlamak için kullanılan tekniklerdir. Değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde kullanılan bazı istatistiksel analiz yöntemleri şunlardır:

- i. **Tanımlayıcı istatistikler:** Bu yöntemler, bir veri kümesinin ortalama, medyan ve standart sapma gibi ana özelliklerini özetlemek ve açıklamak için kullanılmaktadır. Verilere genel bir bakış sağlamak ve kalıpları ve eğilimleri belirlemek için kullanılırlar. Aritmetik ortalama, mod, medyan (ortanca), değişim aralığı, ortalama sapma ve varyans genel tanımlayıcı istatistikler arasında yer almaktadır (Miran 2021).
- ii. **Çıkarımsal istatistikler:** Bu yöntemler, bir veri örneğine dayalı olarak bir popülasyon hakkında tahminlerde bulunarak sonuç çıkarmak için kullanılmaktadır. Yöntem, örnek verilere dayanarak popülasyon hakkında tahminler yapmak ve hipotezleri test etmeyi içermektedir. Çıkarımsal istatistik örnekleri arasında t-testleri, ANOVA testleri ve regresyon analizi yer alır (Tekin 2017).
- iii. **Keşifsel veri analizi (EDA):** Bu yöntem verilerin temel özelliklerinin görselleştirilerek özetlenmesinden oluşan bir veri analizi yaklaşımıdır. Yöntemin temel amacı kalıpları, aykırı değerleri ve diğer önemli özellikleri belirlemektir. EDA yöntemleri arasında kutu grafikleri, histogramlar ve dağılım grafikleri bulunur (Hartwig 1979, Morgenthaler 2009).
- iv. **Zaman serisi analizi:** Bir zaman dilimi içerisinde toplanan verilerin analizi için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Verilerdeki eğilimleri, kalıpları,

mevsimselliği belirlemek ve gelecekteki değerler hakkında tahminler yapmak için kullanılırlar. Zaman serisi analizinde kullanılan yöntemler arasında hareketli ortalamalar ve üstel düzeltme yer almaktadır (Tekin 2017).

- v. **Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri:** Bu yöntemler birden fazla değişkenin birbiri ile ilişkilerini incelemek için kullanılan yöntemlerdir. Farklı amaçlar için kullanılan bu yöntemler verilerin özelliklerine göre seçilmektedir. Çalışmada kullanılan hiyerarşik kümeleme analizi sıklıkla tercih edilen çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri arasında yer almaktadır (Shiker 2012). Kümeleme analizi, benzer veri noktalarını bir arada gruplandırmak için veri madenciliği ve istatistikte kullanılan bir yöntemdir. Kümeleme yönteminin temel amacı verilerin anlamlı bir şekilde farklı gruplara ayrılmasını ve gruplar arası ilişkinin belirlenmesini sağlamaktır (Hossain vd 2013). Bu amaçla çeşitli istatistiksel yöntemler ve algoritmalar kullanılmaktadır (Çelik vd. 2005). Bu çalışmada kullanılan SPSS programı kümeleme analizi gibi birçok istatistiksel analizin yapılabildiği programlardan biridir. Kümeleme analizi verideki yapıları tanımlamak, sınıfları belirlemek veya benzer özelliklere sahip gözlemleri gruplandırmak gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Kümeleme analizi genel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama veri matrisinin hazırlanmasıdır. Bu aşamada veriler, kümelemeye uygun biçimde girilerek uzaklıklar matrisi elde edilir. İkinci aşamada kümeleme yöntemi belirlenerek uygulanır. Üçüncü aşamada ise analiz sonuçları değerlendirilir.

Uzaklık ölçümü, verilerin nicel veya karışık veriler olmasına göre farklılık göstermektedir (Dinçer 2006). Her biri p tane nicel değişken içeren x_i ve x_j gözlem çifti arasındaki uzaklığın hesaplanmasında farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanları, Minkowski Uzaklığı, Manhattan City-Block Uzaklığı, Kare-Öklid Uzaklığı (Dinçer 2006) ve Pearson Korelasyon Katsayısıdır (Emerson 2015).

i. Minkowski Uzaklığı

Minkowski uzaklığı, Öklit ve Manhattan uzaklığının genelleştirilen hali olarak ifade edilmektedir. Burada formülde verilen $i = (x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_p})$ ve $j = (x_{j_1}, x_{j_2}, \dots, x_{j_p})$ p boyutlu veri nesnelerini temsil etmektedir.

$$d(i, j) = \left(|x_{i_1} - x_{j_1}|^q + |x_{i_2} - x_{j_2}|^q + \dots + |x_{i_p} - x_{j_p}|^q \right)^{1/q} \quad (2.1)$$

Burada q pozitif bir tam sayıdır. q değerinin q=1 olduğu durumda bu ifade Manhattan uzaklığını ifade ederken, q=2 olduğu durumda ise Öklit uzaklığı ifade edilmektedir. Formülde yer alan q değeri arttırıldıkça daha hassas uzaklık ölçümleri elde edilmektedir.

ii. Manhattan City-Block Uzaklığı

Manhattan City-Block Uzaklığı, herhangi iki noktanın (x_i ve x_j) karşılıklı koordinat değerlerinin farkı alınarak hesaplanmaktadır. Burada $i = (x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_p})$ ve $j = (x_{j_1}, x_{j_2}, \dots, x_{j_p})$ p boyutlu veri nesnelerini temsil etmektedir.

$$d(i, j) = (|x_{i_1} - x_{j_1}| + |x_{i_2} - x_{j_2}| + \dots + |x_{i_p} - x_{j_p}|) \quad (2.2)$$

iii. Kare - Öklid Uzaklığı

Her biri p tane nicel değişken içeren x_i ve x_j nesneleri arasındaki Öklid uzaklığı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada $i = (x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_p})$ ve $j = (x_{j_1}, x_{j_2}, \dots, x_{j_p})$ p boyutlu veri nesnelerini temsil etmektedir.

$$d(i, j) = \left(\sqrt{|x_{i_1} - x_{j_1}|^2 + |x_{i_2} - x_{j_2}|^2 + \dots + |x_{i_p} - x_{j_p}|^2} \right) \quad (2.3)$$

Kare-Öklid Uzaklığı özellikle kümeleme ve sınıflandırma algoritmalarında kullanılan uzaklık ölçüm yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada iki nokta arasındaki doğrusal uzaklığın hesaplanmasında Kare - Öklid Uzaklığı (Squared Euclidean Distance) kullanılmıştır. Bu yöntem, gerçek bir üçgenin hipotenüs uzunluğunu ifade eden ve iki nokta arasındaki doğrusal uzaklığın hesaplanması için kullanılan yöntemdir. Diğer yöntemlere kıyasla daha kolay ve anlaşılabilir bir yöntem olması nedeniyle tercih edilmiştir.

iv. Pearson Korelasyon Katsayısı

Pearson korelasyon katsayısının veriye uygulanabilmesi için; değişkenlerin normal dağılımı, aralıklı ölçekle alınmış olması, değişkenlerin ana veriden tesadüfi olarak seçilmesi ve x ve y değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki olması varsayımlarının uygun olması gerekmektedir (Emerson 2015).

$$r = \left(\frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \right) \quad (2.4)$$

Burada r pearson korelasyon katsayısını, n ise eşleşen değişken çiftini ifade etmektedir.

2.3.1. Hiyerarşik kümeleme analizi

Bu çalışmada istatistiksel analizler için kullanılan SPSS programı içerisinde K-means Kümeleme, Hiyerarşik Kümeleme, İki Adımlı Kümeleme yöntemleri bulunmaktadır. Çalışmada bu yöntemlerden hiyerarşik kümeleme analizi kullanılmıştır.

Hiyerarşik kümeleme genel olarak örnekleme sayısının 250'den küçük olduğu durumlar için kullanılmaktadır. Bu yöntemin veri setinde grup bilgisinin bilinmediği durumlarda kullanılan en uygun algoritmalarından biri olduğu belirtilmektedir. Hiyerarşik yöntemler birleştirici ve ayırıcı yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Birleştirici yöntemler; Bağlantı yöntemleri, varyans teknikleri ve merkezileştirme teknikleri olarak üçe ayrılmaktadır. Ayırıcı yöntemler ise bölünmüş ortalamalar ve otomatik etkileşim belirleme algoritmalarından oluşmaktadır (Shiker 2012). Hiyerarşik kümeleme, benzer gözlemlerin birleştirilerek küme oluşturulmasını sağlamaktadır (Hossain vd. 2013). Bu amaçla tek bağlantı yöntemi, tam bağlantı yöntemi ve ortalama bağlantı yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

i. Tek Bağlantı Yöntemi

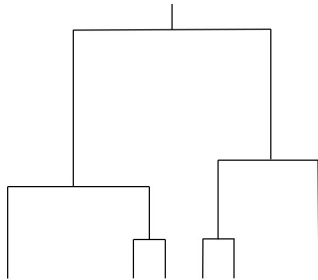
En yakın komşu yöntemi olarak adlandırılan tek bağlantılı kümeleme yöntemi, birbirine en yakın iki noktanın bulunması ve küme oluşturması ile başlamaktadır. Yöntem, uzaklığı belirlenen en yakın kümelerin birleştirilmesine dayanmaktadır. Bu yöntemde elde edilen sonuçların görsel gösteriminde ağaç yapıdaki dalların kümeleri gösterdiği ağaç diyagramı veya dendogramlar kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem birbiri arasında belirgin farklar bulunmayan veriler ile oluşan kümeleri ayırmada yetersiz kalmaktadır (Yalçın 2013). Tek Bağlantı Yöntemi ile oluşturulan kümeler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Tek bağlantı yöntemi ile oluşturulan kümeler

ii. Tam Bağlantı Yöntemi

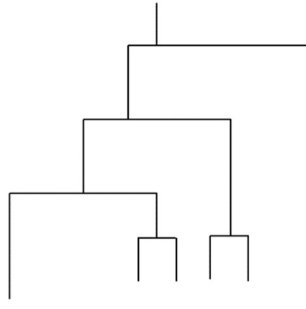
Maksimum uzaklık mesafesi yaklaşımına dayanan tam bağlantılı kümeleme yönteminde, tek bağlantı yönteminin aksine kümeleme, en uzak iki noktanın birleştirilmesi ile başlamaktadır. Aynı işlem tüm gözlemler kümeleneceğe devam etmektedir. Tam bağlantı yöntemi tek bağlantı yöntemine kıyasla daha toplu kümeleme yapmaktadır (Yalçın 2013). Tam Bağlantı Yöntemi ile oluşturulan kümeler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Tam bağlantı yöntemi ile oluşturulan kümeler

iii. Ortalama Bağlantı Yöntemi

A ve B şeklindeki iki kümede ortalama bağlantı yöntemi ile uzaklıklar, A kümesinde bulunan noktaların, B kümesinde bulunan noktalara olan uzaklıklarının ortalamasının alınması ile bulunmaktadır. Bu yöntemde tek ve tam bağlantı yönteminde kural olarak kullanılan en yakın ve en uzak komşu değerleri yani sınır değer etkisinin oluşturduğu dezavantaj bulunmamaktadır (Yalçın 2013). Ortalama Bağlantı Yöntemi ile oluşturulan kümeler Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ortalama bağlantı yöntemi ile oluşturulan kümeler

Kümeleme yöntemi bağlantı ölçüsünü ifade etmektedir. Çalışmada kullanılan bağlantı yöntemi, gruplar arasındaki ortalama bağlantıya eşdeğer olan gruplar arası bağlantı yöntemidir.

2.4. Su kalitesi örnekleme noktalarının seçiminde kullanılan jeoistatistiksel analiz yöntemleri

Mekânsal istatistik veya jeo-uzaysal istatistik olarak tanımlanan jeoistatistik, mekânsal verilerin analizi ve modellenmesi ile ilgilenen istatistik dalları arasında yer almaktadır. Coğrafi veya mekânsal bir bileşeni olan verilerin, mekânsal dağılımlarını ve bu verilerin birbirleri ile olan ilişkilerini analiz ederek anlamak için kullanılan istatistiksel yöntemlere dayanmaktadır (Goovaerts 1997). Jeoistatistik doğa kaynakları, çevre bilimi, tarım ve tıpta yer alan hastalık faktörünün görülme sıklığı, dağılımı gibi durumları inceleyen tıp bilimi olan epidemiyoloji gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Masimalai 2014). Sonuç olarak jeoistatistik, mekânsal bir bileşeni olan toprak özellikleri, yeraltı suyu seviyesi ve iklim verileri gibi birçok veri türünü analiz etmek için kullanılmaktadır (Diaz vd. 2019, Varouchakis vd. 2021). Bu çalışmada, hiyerarşik kümeleme analizi ile benzer özellik gösteren faal yeraltı suyu kuyularının bulunduğu ve referans izleme ağını oluşturan örnekleme noktaları, bir su kalite parametresi (nitrat) kullanılarak gruplandırılmış ve bu örnekleme noktaları kullanılarak nokta azaltımı yapılmıştır. Varsayımsal izleme ağları, hiyerarşik kümeleme analizi ile örnekleme noktalarında azaltma yapılarak oluşturulan ağlar ve kümelenen noktalar arasında rastgele noktalar seçilerek oluşturulan ağlarından oluşmaktadır. Bu aşamada varsayımsal izleme ağları kullanılarak Akdeniz Üniversitesi kampüsünde optimum yeraltı suyu örnekleme ağına oluşturulması için, jeoistatistiksel tekniklerden biri olan ordinary kriging yöntemi kullanılmıştır.

2.4.1. Variogram analizi

Variogram analizi, verilerin mekânsal korelasyonunu anlamak için kullanılan istatistiksel yöntemler arasında yer almaktadır. Variogramlar verilerden oluşan deneysel variogram ve verilere uyarlanan teorik variogram modelinden meydana gelmektedir. Deneysel variogram, veri noktaları arasındaki mekânsal korelasyonu uzaklık ve yön fonksiyonu olarak ölçmektedir. Eğer deneysel variogram rastgele dağılmış ya da belirli bir tipik variogram deseni göstermiyorsa, bu veri noktaları arasında mekânsal korelasyonun bulunmadığını göstermektedir. Deneysel variogram, belirli uzaklık ve yönlerdeki ölçülen değişkenin değerlerinin farklarının karelerinin yarısının ortalaması ile

oluşturulmaktadır. Kriging yöntemi ise değişkenler arasındaki ilişkinin boyutunun belirlemek ve örneklenmemiş noktaların değerini tahmin etmek için variogram modelini kullanan bir jeostatistik interpolasyon tekniğidir. Bu nedenle kriging enterpolasyon yönteminde variogram analizi dikkate alınmaktadır (Yenilmez 2014). Variogram ($\gamma(h)$), denklem 3.5'te verilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

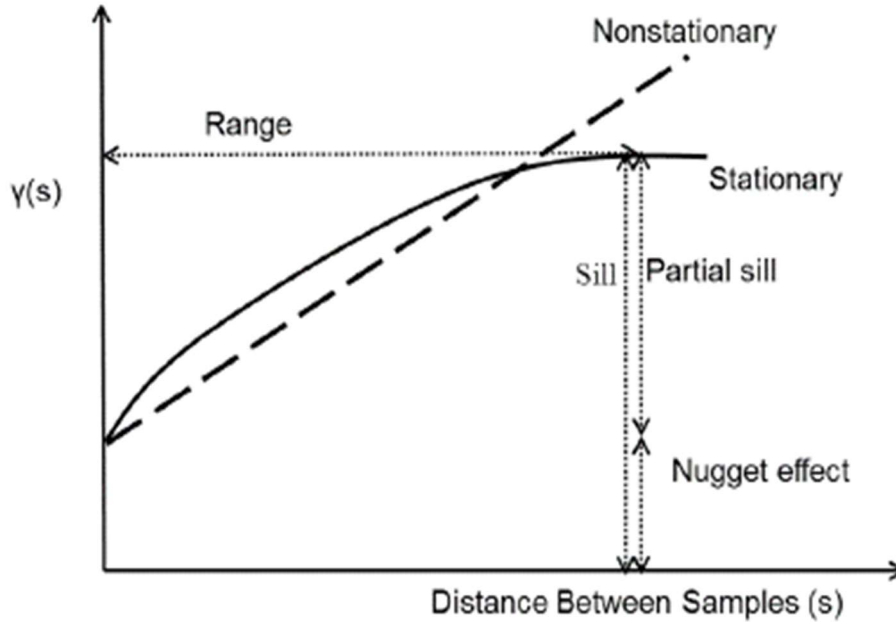
$$\gamma(h) = \left(\frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \right) \quad (2.5)$$

Burada, $\gamma(h)$, h uzaklığı için variogramı temsil eder. $N(h)$, h uzaklığı ile ayrılan çiftlerin sayısıdır. $Z(x_i)$ ve $Z(x_i+h)$ sırasıyla i ve $i+h$ uzamsal konumlarındaki ölçülen değişkenin değerleridir (Yenilmez 2014; Barnes 2006; He vd. 2010; Ouyang vd. 2003). Variogram, verilerin uzamsal korelasyonunun bir temsildir. Bu nedenle mekânsal bağımlılığı anlamak için variogram ile tahmin yapılmaktadır. Variogramlar iki örnek konum olarak, her iki nokta arasındaki mesafeyi h olarak adlandırmaktadır. Deneysel variogram ise çeşitli mesafelerdeki nokta çiftleri arasındaki değişkenlik ölçüsü kullanılarak hesaplanan ayrı bir fonksiyondur. Kullanılan değişkenlik ölçüsü, seçilen variogram türüne bağlıdır (Yenilmez 2014).

Uygun bir variogram modeli seçmek için deneysel variogram eğrisi ile matematiksel fonksiyon eğrisi arasında bir eşleştirme yapılması gerekmektedir. Bu seçim, fonksiyonun etki alanının boyutuna kıyasla benzer mesafelerdeki davranışı göz önünde bulundurarak yapılır. Eğer fonksiyon, etki alanının boyutuna göre küçük ölçekli dalgalanmalardan oluşuyorsa, durağan olarak kabul edilir ve variogram parametreleri arasında yer alan "Sill" değerine yakınsar. Bu değer, verilerin varyansına yaklaşık olarak eşittir. Böyle bir fonksiyonun, variogram parametreleri arasında yer alan ve "Sill" olarak adlandırılan bir değere yaklaşması gerekmektedir. Durağan bir fonksiyon için eşğin elde edildiği uzunluk ölçeği, değişkenin iki ölçümünün mekânsal olarak birbirinden bağımsız hale geldiği noktayı ifade eder. Bu uzunluk ölçeği, farklı şekillerde ifade edilebilmektedir. Örneğin aralık (Range), korelasyon uzunluğu veya komşuluk yarıçapı olarak bilinmektedir. Variogramın durağanlığı, uygun bir variogram modeli seçmek için önemli bir faktördür. (Yenilmez 2014; Mohamed ve Antia 1998). Nugget, deneysel variogramda orijine yakın yerlerde ölçüm hataları veya mikro ölçekli varyasyonların neden olduğu belirgin bir süreksizliktir. Teorik olarak, variogramın orijinde sıfır değerini alması beklenmektedir. Ancak, Nugget değeri varlığında, variogram modelinin sıfıra yaklaşmadığı ve pozitif değerlere sahip olduğu durumlar meydana gelmektedir. Bu durum variogramın orijine yakın noktalarda bir süreksizlik gösterdiğini ve variogram modelinin sıfır değerinde kalmadığını göstermektedir. Bu nedenle Nugget değeri, bu süreksizliği ve orijine yakın noktalardaki ölçüm hatalarını modellemek için kullanılmaktadır (Yenilmez 2014; Ouyang vd. 2003; Olea, 1991).

Nugget/Sill oranı değerleri gözlemlenen değerler arasındaki korelasyonun yani benzerliğin bir ölçüsüdür. Kısmi eşik (Partial Sill) değerleri ise Nugget etkisi olmaksızın gözlemlenen değerler arasındaki korelasyonun varyansını temsil eden kovaryans veya variogram modelinin bir parametresidir. Variogram modelinde kısmi eşik (Partial sill), külçe etkisi (Nugget) ile eşik değeri (Sill) arasındaki farktır. Nugget/Sill oranı, yeraltı suyu kalite parametrelerinin mekânsal korelasyonunu göstermektedir. Bu bağlamda mekânsal korelasyonu açıklamak için Nugget/Sill oranı değerlendirilen bu çalışmada üç sınıflandırma kullanılmıştır. Bunlar; değeri 0.25'ten küçük olan Nugget/Sill oranının

yüksek mekânsal bağımlılığı, 0.25 ile 0.75 arasında olan Nugget/Sill oranının orta derecede mekânsal bağımlılığı 0.75'ten büyük olan Nugget/Sill oranının ise yalnızca zayıf mekânsal bağımlılığı ifade ettiği sınıflardır (Shi vd. 2007; Chien vd. 1997; Chang vd.1998; Cambardella vd. 1994). Durağan ve durağan olmayan davranış sergileyen variogram modeli Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Durağan ve durağan olmayan davranış sergileyen örnek variogram modeli (Yenilmez 2014; Houlding 1994; Mohamed ve Antia 1998)

2.4.2. Kriging enterpolasyon yöntemi

İki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin ölçülmesine dayanan regresyon türlerinden biri olan Kriging, en küçük kareler ortalaması yöntemine dayanmaktadır. En küçük kareler yöntemi, bir denklemde bulunan teorik Y değerleri ve ölçümler ile elde edilen gerçek Y değerleri arasındaki farkların karelerinin toplamının küçültülmesine dayanmaktadır (Alma ve Vupa 2008). Kriging yöntemi temelde gözlenen veri noktaları ve deneysel gözlemlere dayanmaktadır. Özetle bu yöntem matematiksel formüller kullanılarak bilinen noktalardaki değerler ile bilinmeyen noktaların değerlerinin tahminini sağlayan güçlü bir mekânsal enterpolasyon türüdür. Bu nedenle Kriging en iyi doğrusal yansız tahmin edici olarak adlandırılmaktadır. Kriging analizinde kullanılan bir veri setindeki gözlemler arasındaki ilişki veri kümesindeki uzaklığa bağlı olarak oluşan değişkenlikler (variogram) ile açıklanmaktadır (Wackernagel 2003). Yöntem veri toplama ile başlayan beş adımlı bir süreçten oluşmaktadır. Kriging yönteminin uygulama adımları ve kullanılan temel eşitlik aşağıda verilmiştir (Webster 2007).

1. Veri toplama süreci: Bu aşamada ilgilenilen değişken için bilinen konumlardan bir dizi örnek veri toplanarak, mekânsal veriler oluşturulmaktadır.
2. Variogramın oluşturulması: Variogram, ilgilenilen değişkenlerin mekânsal sürekliliğinin bir ölçüsüdür. Gözlemler arasındaki ortalama farkı gösteren grafikler ve mekânsal korelasyonu modellemek için kullanılmaktadır.
3. Kriging ağırlıklarının tahmin edilmesi: Kriging ağırlıkları, örneklenmemiş noktalardaki değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılan katsayılarıdır. Variogram ve örnek veriler tarafından modellenen mekânsal korelasyon ile hesaplanmaktadır.
4. Örneklenmemiş konumlardaki değişkeni tahmin etme: Örneklenmemiş konumlardaki değişken, örnek verileri ve kriging ağırlıkları birleştirilerek tahmin edilir.
5. Kriging varyansının hesaplanması: Kriging tahminlerinin güvenilirliği için kriging varyansı hesaplanmaktadır.

Kriging yönteminde kullanılan temel eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\hat{Z}(X_0) = (\sum_{i=1}^N W_i Z(x_i)) \quad (2.6)$$

$\hat{Z}(X_0)$ = X_0 noktasına ilişkin Kriging değerini

$Z(X_i)$ = Değişkenlerin her bir X_i noktasında gözlenen değerleri

W_i = Her bir $Z(X_i)$ 'ye karşılık gelen ağırlık değerlerini

N = $\hat{Z}(X_0)$ 'ın Kriging tahmininde kullanılacak nokta sayısını ifade etmektedir.

Burada; $Z_i = Z(X_i)$ gözlemlenen değerlerin $W_i(X_i)$, $i=1, \dots, n$ olacak şekilde kriging varyansı veya kriging hatası olarak adlandırılmaktadır. Kriging varyansı aşağıdaki matematiksel formül ile ifade edilmektedir. Bu eşitlikte kullanılan γ variogram değeri λ ise Lagrange çarpanıdır (Wackernagel 2003).

$$\sigma_K^2 = 2 \sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_0 - X_i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_i W_j \gamma(X_i - X_j) = (\sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_0 - X_i) + \lambda) \quad (2.7)$$

Kriging yöntemi, veri setinde oluşan uzaklığa bağlı olarak tanımlanan variogram modeli ve mekânsal ilişkilere dayanarak belirlenen ağırlıkları kullanmaktadır. Varyans, veri setindeki noktaların yayılma miktarının ölçüsü olarak bilinmektedir. Kriging yönteminde varyans değeri en küçük olacak şekilde hesaplanır ve tahmin hatalarının ortalamaları sıfır olacak şekilde tahmin edilir (Aydın 2014). Kriging varyansı veri sayısı ve konumları arasındaki uzaklık ile ilgili bir fonksiyondur ve en elverişli noktaları belirlemek amacıyla da kullanılmaktadır (Aydın 2014). Kriging yöntemleri, sadece gözlemler arasındaki mesafeyi değil ayrı gözlemler arasındaki ilişkileri de anlamaya çalışmaktadır. Düşük varyans veriler arasındaki uyumun yüksek olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda kriging yöntemi, varyansı en aza indirmeyi amaçlayan diğer yöntemlere kıyasla daha iyi sonuç vermektedir (Wackernagel, 2003). Kriging türü zamana, mekâna ve verilerin özelliklerine göre seçilirken, ağırlıkları hesaplama yöntemi ise tercih edilen Kriging türüne göre belirlenmektedir (Webster 2007). Bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan kriging yöntemleri şunlardır:

- i. **Sıradan Kriging (Ordinary Kriging):** En sık kullanılan kriging yöntemidir. İlgili değişkenin normal olarak dağıldığını ve mekânsal korelasyonun her yönde aynı (izotropik) olduğunu varsayar. Örneklenmemiş konumlardaki değişkenin tahminini ve tahmin hatasının ölçüsünü sağlar (Webster 2007). Bu çalışmada Sıradan Kriging yöntemi kullanılmıştır.
- ii. **Evrensel Kriging (Universal Kriging):** Farklı yönlerde mekânsal korelasyon farkı (Anizotropi) ve gauss olmayan dağılımlara izin veren sıradan kriging'in bir uzantısıdır.
- iii. **Basit Kriging (Simple Kriging):** Mekânsal korelasyonun daha basit tahminini kullanan sıradan bir kriging çeşididir (Webster 2007).
- iv. **Gösterge Kriging (Indicator Kriging):** Belirli bir lokasyonda belirli bir durumun var olma olasılığının tahmini için kullanılmaktadır (Webster 2007).
- v. **Ko-Kriging (Co-Kriging):** Birden çok ilişkili değişken olduğunda kullanılan bir yöntemdir, örneklenmemiş konumlarda ilgilenilen değişkenin değerini tahmin etmek için birden çok değişken kullanır (Maiti ve Mitra 2022).

2.4.2.1. Sıradan kriging (ordinary kriging)

Sıradan Kriging (Ordinary Kriging) olarak adlandırılan ve sıklıkla tercih edilen kriging yöntemidir. İlgili değişkenin normal olarak dağıldığını ve mekânsal korelasyonun her yönde aynı olduğunu varsaymaktadır. Sıradan Kriging, örneklenmemiş konumlardaki değişkenin tahminini ve tahmin hatasının ölçüsünü sağlar. Bu yöntemde bilinmeyen değer tahmini durağan, değişken ve sabit ortalama olduğu varsayımı ile gerçekleştirilmektedir (Aydın 2014).

$$Z^*(x_o) = \left(\sum_{i=1}^{N(x_o)} w_i(x_o) z(x_i) \right) \quad (2.8)$$

$$\left(\sum_{i=1}^{N(x_o)} w_i(x_o) \right) = 1 \quad (2.9)$$

Burada $Z^*(X_o)$, X_o konumundaki OK tahminidir. $N(x_o)$ ise X_o konumunda tahmin için kullanılan veri sayısıdır. $Z^*(x_o)$ bilinen $Z(x_i)$ değerlerinin doğrusal bir kombinasyonu ile elde edilmektedir (Yenilmez 2014). ArcMap, Kriging Yöntemi de dahil olmak üzere mekânsal analiz yapmak için kullanılabilen bir coğrafi bilgi sistemi (GIS) yazılımıdır. ArcMap programı, kullanıcıların örneklenmiş konumlardaki değişken değerlerine dayalı olarak örneklenmemiş konumlardaki değişkenin değerini enterpolasyonuna veya tahmin etmesine izin veren çeşitli kriging araçları içermektedir. Çalışmada kullanılan verilere ArcMap 10.8 sürümü ile Sıradan Kriging yöntemi uygulanmıştır.

2.4.2.2. Çapraz doğrulama (cross validation)

Çapraz doğrulama, bir modelin performansını ve doğruluğunu değerlendirmek için makine öğrenimi ve istatistikte kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte veri kümesi birden fazla bölüme ayrılır, model bazı bölümlerde eğitilir ve geriye kalan bölümlerde test edilir (Webster 2007). Çapraz doğrulama, bir örnekleme noktasının veri seti dışında tutulması ve diğer noktalar kullanılarak kriging yöntemi ile nokta tahminine dayanmaktadır. Bu yöntemde dışarıda bırakılan nokta tahminlerinin hataları hesaplanmaktadır. Bu hatalar ve formülleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çapraz doğrulama hata formülleri (Yenilmez 2014)

Ortalama Hata-Mean Error (ME)	$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i))}{n}$
Ortalama Karekök Hata-Root Mean Square Errors (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i))^2}{n}}$
Ortalama Kriging Standart Hatası-Average Standard Errors (ASE)	$ASE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \hat{\sigma}(s_i)}{n}}$
Ortalama Standartlaştırılmış Hata-Mean Standardized Errors (MSE)	$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i)) / \hat{\sigma}(s_i)}{n}$
Ortalama Karekök Standartlaştırılmış Hata-Root Mean Square Standardized Errors (RMSSE)	$RMSSE = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i)) / \hat{\sigma}(s_i)]^2}{n}}$

Burada $\hat{Z}(s_i)$ kriging'de tahmin edilen değer, $Z(s_i)$ gözlemlenen değer, $\sigma(s_i)$ s_i konumu için tahmin edilen standart hata ve n gözlem sayısıdır. En iyi kriging tahmini ME, MSE, RMSE, RMSSE ve ASE kriterlerine bağlıdır. ME ve MSE sıfıra yakın, RMSE ve ASE daha küçük ve RMSSE 1'e yakın olduğunda kriging yönteminin daha doğru sonuçlar verdiği kabul edilmektedir (Doza vd. 2016; Adhikary vd. 2010).

3. MATERYAL VE METOT

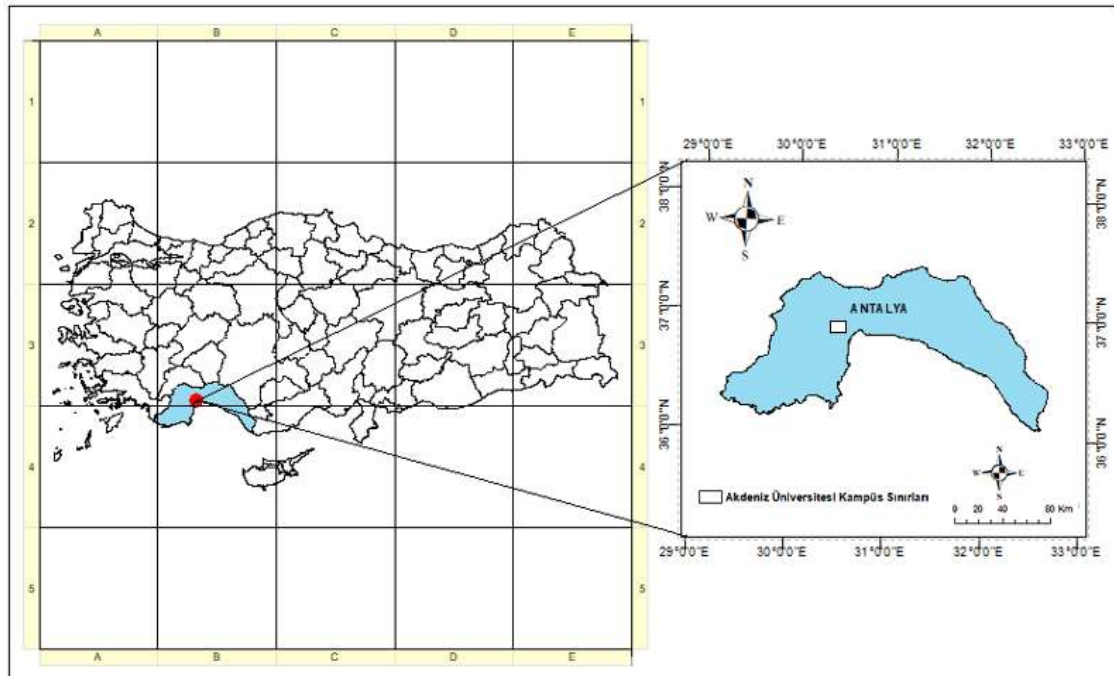
3.1. Çalışma Alanı

3.1.1. Coğrafi Konum ve Özellikler

Çalışma alanı olan Akdeniz Üniversitesi kampüsü, 2 688 004 kişilik nüfusa sahip olan Antalya ilinde bulunmaktadır (TÜİK 2023). Antalya ilinin Konyaaltı ilçesine bağlı 36.897717 enlem ve 30.660975 boylamları arasında yer alan Akdeniz Üniversitesi Kampüsü (Şekil 3.1), 3 483 589 m² arazi yüz ölçümü ve 615 105 m² yapı alanına sahiptir. Üniversite bünyesinde 24 fakülte, 7 enstitü, 1 yüksekokul, 1 konservatuvar, 12 meslek yüksekokulu ve 60'dan fazla araştırma ve uygulama merkezinin yanı sıra yaklaşık olarak 67.000 öğrenci bulunmaktadır (Anonim 1).

Kampüs sınırı içerisinde yeraltı suyunun kalitesini etkileyebilecek potansiyel binalar ve faaliyetler Şekil 3.2'de verilen vaziyet planında gösterilmiştir. Bu faaliyetler arasında özellikle Ziraat Fakültesi bünyesinde bulunan hayvan barınakları, tarım alanları, kuluçka merkezi, seralar ve kampüs sınırlarında devam eden inşaat faaliyetleri bulunmaktadır.

Çalışma alanında, sulama suyu ihtiyacı yeraltı suyu kuyularından karşılanırken, içme ve kullanma suyu ihtiyacı ise içme suyu şebekesinden temin edilmektedir. Üniversite sınırları içindeki Ziraat Fakültesi bünyesinde bulunan artezyen kuyular, tarım ve gerektiğinde hayvancılık için kullanılmaktadır. Su kesintisi gibi beklenmedik durumlar dışında kuyu suları sadece sulamada kullanılmakta olup hayvanlara verilmemektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanını gösteren harita



Şekil 3.2. Akdeniz Üniversitesi kampüsü ve vaziyet planı (Akdeniz Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı 2022)

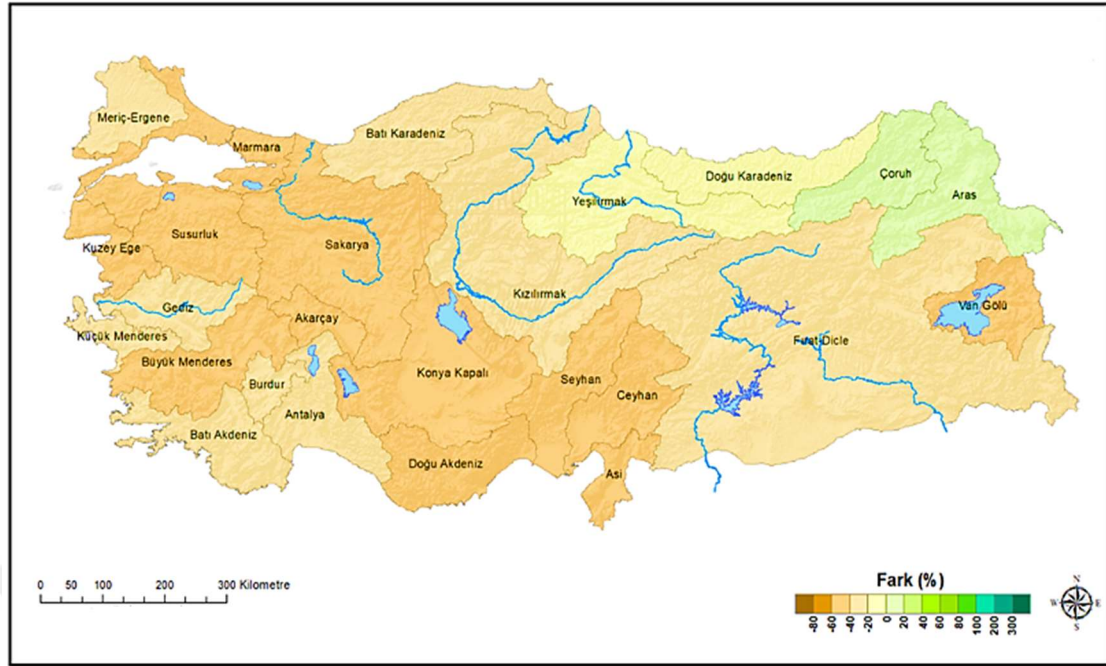
3.1.2. İklim

Çalışma alanının içerisinde yer aldığı Antalya ilinde Akdeniz iklimi hakimdir. Akdeniz iklimi; Ege Bölgesi'nin büyük bir bölümünü kapsayan, iç Anadolu'nun batı kesiminin hâkim olduğu ve Akdeniz Bölgesinde Toros dağlarının güney kesimlerinde etkili olan iklimdir. Bu iklimde genellikle yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ılık ve yağışlıdır. Ayrıca yüksek bölgelerde kış aylarında karlı ve soğuk hava hakimdir (Sensoy vd. 2008). Antalya İli 2001-2023 ölçüm periyoduna ait genel meteorolojik veriler incelendiğinde (Çizelge 3.1.), ortalama en yüksek sıcaklık Temmuz ayında ölçülen 45.4 °C iken en düşük sıcaklık ise Şubat ayında ölçülen -2.2 °C'dir. 2005-2023 periyoduna ait aylık toplam yağış miktarı ortalaması incelendiğinde en yüksek değer 205.2 mm ile Aralık ayında ölçüldüğü görülmektedir. Ortalama yağışlı günün en yüksek olduğu ay ise yaklaşık 13 gün yağışlı geçen Ocak ayıdır. Antalya ilinde günlük toplam en yüksek yağış ise Aralık 2009 tarihinde 454.6 mm olarak ölçülmüştür (MGM 2023). Çizelge 3.1'de kullanılan veriler Antalya Bölge 17302 numaralı istasyondan alınmıştır. Çizelge 3.2'de meteorolojik verilerin kullanıldığı yıllar verilmiştir. Burada renkli işaretlenen yıllara ait ölçüm verileri bulunmamaktadır.

Çizelge 3.2. Antalya bölge 17302 numaralı istasyondan alınan 2001 – 2023 ölçüm periyoduna ait genel meteorolojik veriler (MGM 2023)

ANTALYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık °C	11.5	12.4	14.6	17.4	21.5	25.7	29.2	29.5	26.4	22.3	17.3	13.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık °C	18.6	19.4	21.1	24.0	28.0	32.1	36.5	36.1	33.3	28.2	23.9	19.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık °C	7.0	6.4	7.8	12.5	16.9	20.7	24.2	24.6	20.9	16.4	11.6	8.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	104.5	101.7	126.3	129.7	129.3	152.0	140.1	133.2	134.8	127.3	98.9	83.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.6	10.3	8.9	6.9	6.3	3.7	0.8	0.9	2.8	6.0	6.9	9.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	205.1	113.2	73.8	37.3	39.6	10.3	2.5	6.3	25.8	66.8	75.3	176.4
En Yüksek Sıcaklık °C	22.1	26.2	30.7	35.7	40.2	44.8	45.4	44.2	41.8	40.4	32.0	26.1
En Düşük Sıcaklık °C	-0.4	-2.2	0.0	7.4	12.7	15.8	20.2	20.9	16.2	0.9	5.0	2.1

Türkiye genelinde kuraklık tehdidi söz konusudur. Normalleri ile karşılaştırıldığında yağışların azaldığı görülmektedir. Bu durumun en temel nedeninin iklim değişikliği olduğu T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 2022 Yılı İklim Değerlendirmesi Raporu'nda belirtilmiştir. Şekil 3.3'de verilen 2023 yılına ait Türkiye'de havza bazlı alansal yağışların normalleri ile karşılaştırıldığı haritada, Antalya'da yağışların normali ile arasındaki farkın -%20 civarında olduğu ve normalin altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.3. Ekim 2022 – 28 Şubat 2023 periyoduna ait havzalara göre alansal yağışların normalleri ile karşılaştırıldığı harita (MGM 2023)

3.1.3. Antalya ili mevcut yeraltı suyu ve kuraklık durumu

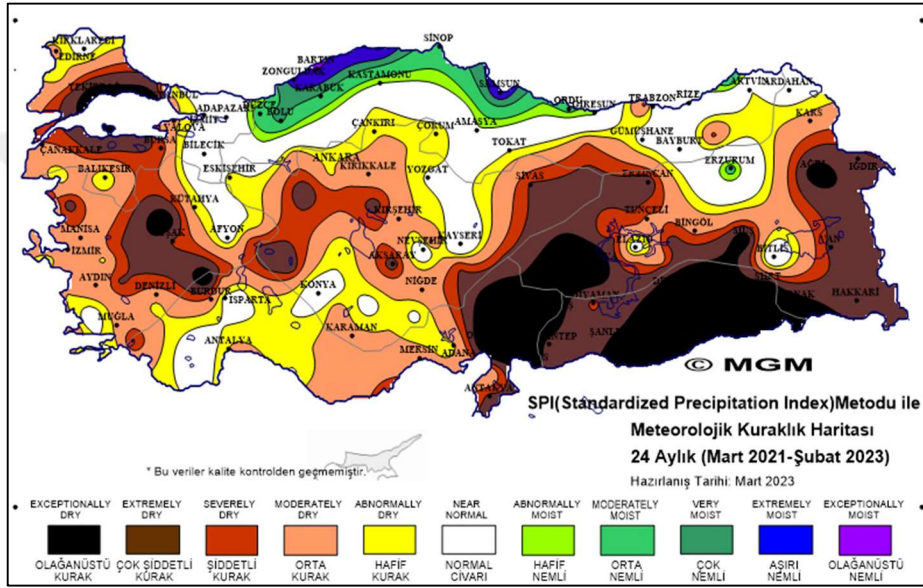
Antalya Havzası yüzey suyu bakımından 10 alt havzaya, yeraltı suyu bakımından ise 18 alt havzaya ayrılmaktadır. Yeraltı sularının beslenimi yağışlarla gelen suların süzülmesi, yüzeydeki suların sızması ve komşu havzalardan gelen yeraltı suları ile gerçekleşmektedir (SYGM 2018). Antalya İli merkezinde bulunan Aksu, Döşemealtı, Kepez, Konyaaltı, Muratpaşa ilçeleri içme ve kullanma suyu ihtiyacının %99'unu yeraltı sularından %1'ini ise kaynak sularından temin etmektedir. Kuyulardan suların temini ve şebekeye iletiminin kontrolü SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition - Merkezi Denetim ve Veri Toplama) sistemiyle sağlanmaktadır (ASAT 2018). Antalya İli'nde içme suyu sağlanan yerlerde kullanılan yeraltı suyu kaynakları ve YAS miktarları ile ilgili bilgiler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Akiferler yeraltı suyunun tutulması ve iletilmesinden sorumlu jeolojik birimlerdir. Yeraltı suyunun hareketi ve depolanmasını belirleyen akifer yapısının geçirgenliği, jeolojik bileşimi, suyun akış hızını ve çıkarılma hızını etkilemektedir (Lachassagne 2021). Bu nedenle akiferlerin yapısını ve işleyişini anlamak yeraltı su kaynaklarını yönetmek ve korumak için önemlidir (Charlier vd. 2011). Çalışma alanı akifer yapısı değerlendirilmiş olup, akifer yapısının Şekil 3.5'te gösterilen Kuvartener Traverten akifer özelliği taşıdığı görülmüştür (MTA 2023). Antalya İli içme suyu ihtiyacının %99 'u yeraltı suyundan karşılanmaktadır.

Çizelge 3.2. Antalya iline ait yeraltı suyu verileri (ASAT 2018)

YAS Kaynağı	Kaynak Türü/Sayısı	İçme Suyu Sağlanan Yerler	İçme ve Kullanma Suyu İhtiyacı	YAS Miktarı
Duraliler Pompa İstasyonu	53 derin kuyu	Aksu, Döşemealtı, Kepez, Konyaaltı, Muratpaşa	%99	98 112 000 m ³ /yıl
Boğaçay Pompa İstasyonu	3 keson kuyu, 13 derin kuyu	Konyaaltı İlçesi	% 90	23 652 000 m ³ /yıl
Termessos Pompa İstasyonu	40 derin kuyu	Aksu, Döşemealtı, Kepez, Konyaaltı, Muratpaşa	%37	70 080 000 m ³ /yıl
Gürkavak Kaynağı	Doğal Kaynak	Gülveren, Ünsal, Şafak, Ahatlı, Yeni Doğan Mahalleleri	Depolama ve şebekeye iletim	Ortalama debi 120 lt/sn
Yemişpınarı Kaynağı	Doğal Kaynak	Hacısekiler ve Çakırlar Mahalleleri	Hacısekiler ve Çakırlar Mahalleleri	2 628 000 m ³ /yıl
Diğer	Lokal Derin Kuyular	Aksu İlçe Merkezi ve Boztepe Mahallesi, Aksu ve Döşemealtı İlçelerindeki diğer mahalleler	Aksu İlçe Merkezi ve Boztepe Mahallesi, Aksu ve Döşemealtı İlçelerindeki diğer Mahalleler, Konyaaltı İlçesinde Bulunan Yaylalar Bölgesindeki Mahalleler	50 lt/sn

**Şekil 3.4.** Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı genel jeolojik formasyonu (MTA 2023)

Son yıllarda artan endüstriyel, tarımsal ve sanayi faaliyetleri küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin hızlanmasına neden olmuştur. İklim değişikliğinin başlıca etkileri arasında kuraklık bulunmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından Standart Yağış İndeksi yöntemi kullanılarak Türkiye'nin kuraklık durumunun değerlendirildiği harita Şekil 3.4'de verilmiştir. Standart Yağış İndeksi yöntemi kullanılarak oluşturulan haritaya göre Antalya ilinin (24 aylık) kuraklık durumunun normal ve hafif kurak olduğu görülmüştür. Ancak hızla artan su talebi ve azalan kaynaklar dikkate alındığında yakın gelecekte su kısıtının da yaşanması olasıdır. Gelecek yıllarda su ihtiyacının artması ve kaynak yetersizliği durumunda Akdeniz Üniversitesi kampüs yeraltı sularının ihtiyacı karşılamak için iyi bir alternatif olabileceği söylenebilir. Bu nedenle kampüs yeraltı su kalitesinin korunması ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması önemlidir.



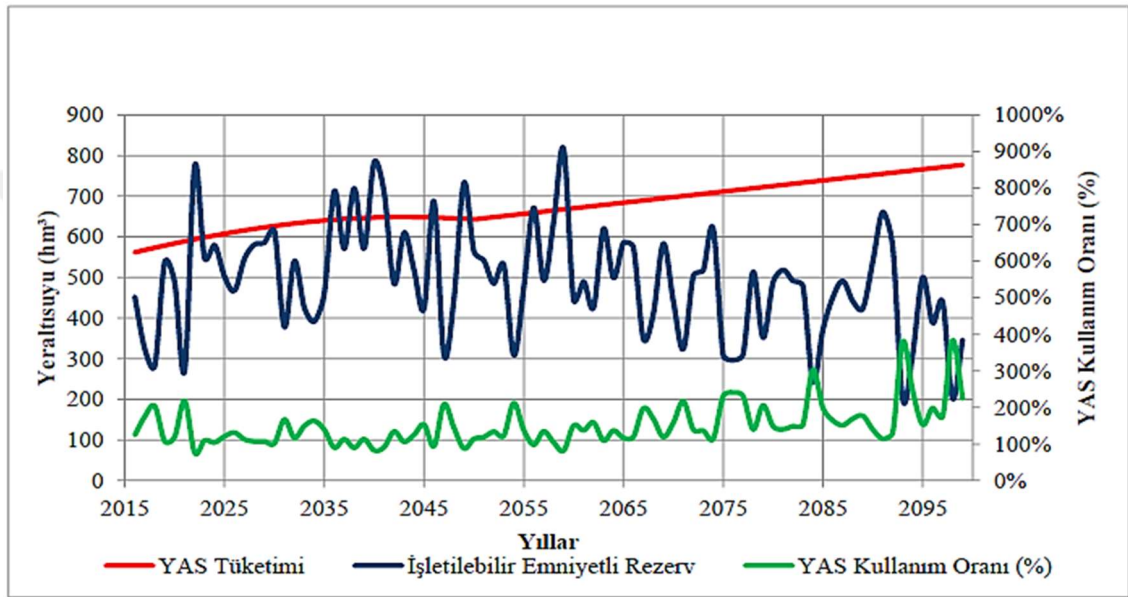
Şekil 3.5. Standart yağış indeksi (SPI - Standardized Precipitation Index) metoduna göre meteorolojik kuraklık durumu (MGM 2023)

3.1.4. İklim senaryoları ve yeraltı sularında beklenen değişimler

IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) tarafından 5-7 yılda bir Dünya'nın iklim sistemi ile ilgili durumun değerlendirildiği raporlar yayınlamaktadır. 2022 yılında yayınlanan IPCC 6 teknik raporuna göre sulama için yeraltı suyunun aşırı çekilmesi, yeraltı suyu deposunun tükenmesine neden olmaktadır. Ayrıca bu raporda, insan kaynaklı etkenlerle birleşen yağış değişikliklerinin çölleşmeye neden olacağı ve iklim değişikliği nedeniyle su kaynaklı toprak erozyonunun artacağı öngörülmüştür. Diğer taraftan küresel ısınma nedeniyle sıcaklığın kademeli olarak 1.5°C, 2°C ve 3°C artacağı da öngörüler arasında yer almaktadır. Ayrıca sürdürülebilir bir dünya için küresel ısınmanın 1.5°C ile sınırlandırılmasının önemi vurgulanmıştır (IPCC6 2022).

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi yürütülmüştür. Proje ile iklim değişikliği havza bazında değerlendirilerek, yüzeysel sular ve yeraltı sularına etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Uygulama alanı tüm Türkiye'yi kapsayan 25 nehir havzasının bulunduğu projede projeksiyon dönemi 2015 ve 2100 yılları arasında seçilmiştir (SYGM

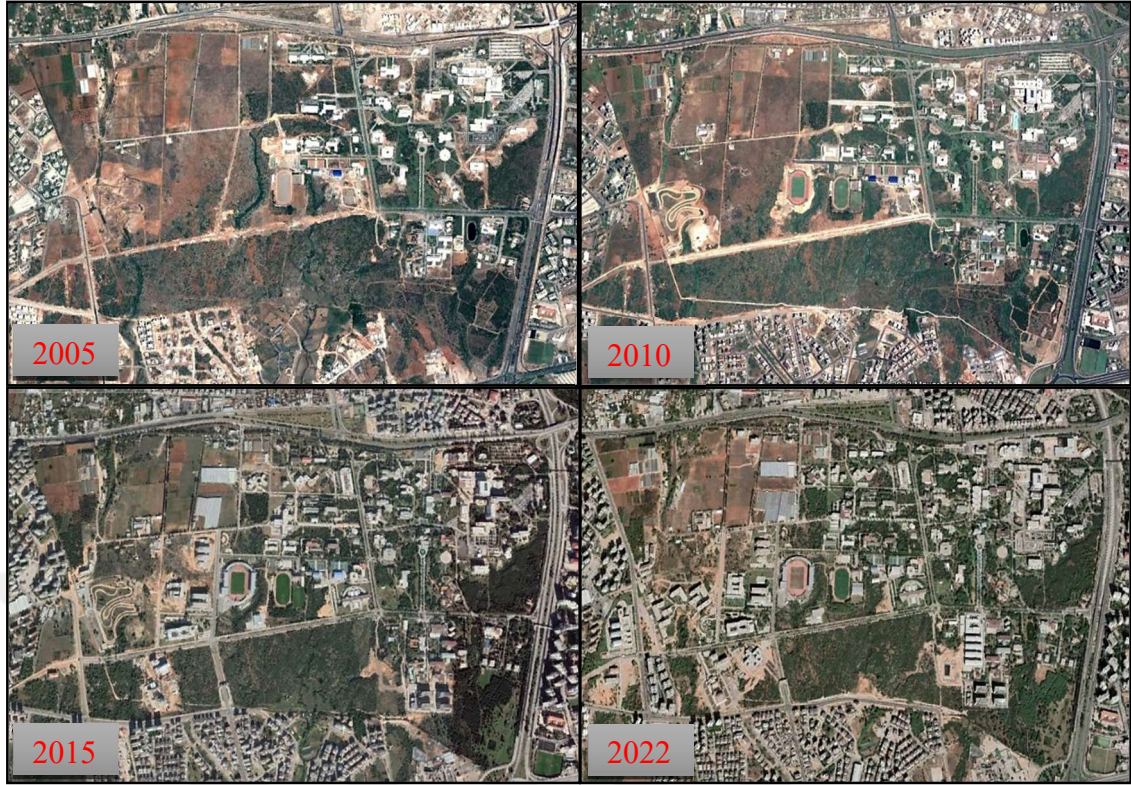
2016). Antalya Havzası Kuraklık Yönetim Planı kapsamında ise bu iklim senaryoları kullanılarak yüzeysel ve yeraltı sularında 2016-2100 yılları arası muhtemel değişimler değerlendirilmiştir. Işınimsal zorlama ve konsantrasyon rotasını temsil eden RCP (Temsili Konsantrasyon Yolu) 8.5 senaryosu, 8.5 W/m^2 ısıtım zorlama ve 1370 ppm CO_2 miktarına sahiptir. Değerlendirmede RCP 8.5 ve MPI-ESM-MR küresel dolaşım modeli iklim senaryosu kullanılmıştır. Bu senaryo en kötümser sonuçları vermektedir. Senaryo sonuçlarına göre, havzanın yüzeysel sularında mevcut ve gelecek dönemde su sıkıntısı bulunmamaktadır. Ancak emniyetli yeraltı suyu rezervinden yaşanabileceği vurgulanmıştır. İklim senaryosuna göre Antalya ilinde özellikle 2060 yılı itibariyle yeraltı suları rezervlerinde belirgin azalma (Şekil 3.6) görülmüştür.



Şekil 3.6. 2016-2100 yılları arasında Antalya havzası işletilebilir emniyetli yeraltı suyu rezervinin muhtemel değişimi (SYGM 2018)

3.1.5. Bitki örtüsü

Akdeniz Üniversitesi kampüsü genel olarak yeşil bir alana sahiptir. Kampüs sınırları içerisinde çeşitli bitki florası bulunmaktadır. Ünal ve Gökçeoğlu (2003) Akdeniz Üniversitesi kampüsünde 78 familya ve 326 cinse ait 452 bitki taksonu tespit etmiştir. Ancak Şekil 3.7’de gösterilen kampüs alanının 2005, 2010, 2015 ve 2022 yılı uydu görüntülerinin incelenmesi ve karşılaştırılması sonucunda biyoçeşitliliğinin azaldığı görülmüştür. Yeşil alan ve biyoçeşitlilikteki azalmayı, günümüze kadar yapımı tamamlanan veya devam eden yapılaşmanın artışı ve benzeri faktörler etkilemektedir. Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı yeşil bodur maki bitki örtüsüne sahiptir. Toprak yapısı ise Terra Rossa adı verilen demir bakımından zengin kırmızı topraktan oluşmaktadır. Ayrıca kayaç yapısından kaynaklı olarak kampüs alanında kireç içeren toprak tipide görülmüştür (Ünal ve Gökçeoğlu 2003).



Şekil 3.7. Akdeniz Üniversitesi kampüs alanının sırasıyla 2005, 2010, 2015 ve 2022 yıllarına ait uydu görüntüleri

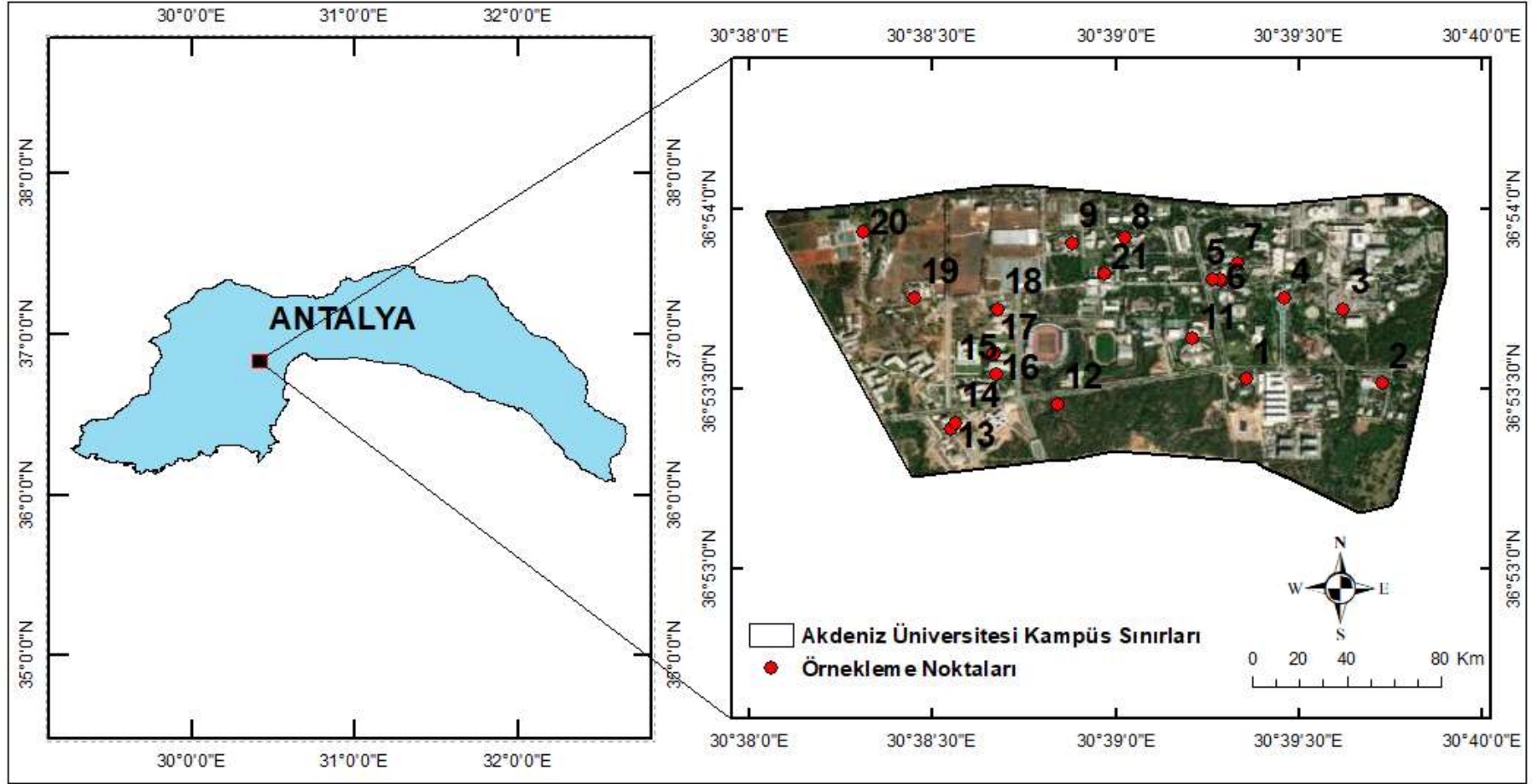
3.1.6. Jeolojik yapı

Antalya ili yaklaşık 251 milyon yıl öncesine kadar uzanan Paleozoik döneme ait en eski kayalara ev sahipliği yapmaktadır. Antalya ilinin jeolojik formasyonu Paleozoik, Mezozoik, Tersiyer ve Kuvaterner Dönem olmak üzere 4 farklı zamanda oluşmuştur. Kentin en eski kaya birimlerinden olan Devoniyen kireçtaşları Paleozoik dönemde oluşmuştur. Devoniyen kireçtaşları, Antalya ilinin kuzey doğusunda bulunan Toros Dağları'nın altında bulunmaktadır. Paleozoik dönemin ardından gelen Mezozoik dönemde Antalya ili ve çevresinde deniz seviyesinin yükselmesi ile sıcak ve nemli bir iklim oluşmuştur. Kentte yaygın olarak görülen formasyonlar Mezozoik döneme aittir. Bu formasyonları genellikle kalker, marn, fiş ve serpantinler oluşturmaktadır. Mezozoik dönemin en belirgin özelliği deniz tabanında kalker ve kumtaşı birikintilerinin oluşmasıdır. Antalya ilinin merkezinde bulunan Kaleiçi ve Konyaaltı sahillerindeki kayalıklarda söz konusu kalkerler görülmektedir (Sarı ve Koçak 2012).

Mezozoik dönemin ardından yaşanan Tersiyer Dönem ile Antalya ilinin de bulunduğu bölgede birçok volkanik patlama meydana gelerek bazalt ve andezit lavlarını oluşturmuştur. Antalya ilinin batısında yer alan Saklıkent Kanyonu'nda ve Düden Şelalesi'nde bu lavlar görülmektedir. Antalya Ovası'nın zeminini oluşturan Tersiyer alanlar, genellikle kalker, konglomera ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Son olarak yaşanan Kuvaterner dönemde ise yer kabuğunun hareketleri çöküntü alanları ve vadilerin oluşmasına neden olmuştur. Antalya Ovası'nın büyük bir bölümü Kuvaterner döneme ait konglomera, alüvyon ve travertenlerle kaplıdır. Aksu Çayı'nın batısında bulunan ve geniş bir alanı kaplayan travertenler bu formasyonların en önemlisidir. Bu travertenler, Antalya

Çizelge 3.3. Örneklem noktalarının lokasyonları ve numune alınan kuyulara ait bilgiler

Örneklem Noktası	Akdeniz Üniversitesi Kuyu Lokasyonları	Enlem (N)	Boylam (E)
1	Park Bahçe Müdürlüğü	36.892095	30.655932
2	Güzel Sanatlar Fakültesi	36.891928	30.662118
3	Tıp Fakültesi	36.895334	30.660367
4	Merkezi Kütüphane	36.895829	30.657670
5	Merkezi Yemekhane	36.896668	30.654803
6	Enstitüler Binası	36.896739	30.654711
7	Merkezi Derslikler	36.897432	30.655533
8	Ziraat Fakültesi 5. Blok	36.898639	30.650393
9	Su Ürünleri Fakültesi	36.898400	30.648024
10	Öğrenci Lokali	36.896749	30.654437
11	Kapalı Spor Salonu	36.894007	30.653472
12	İlahiyat Fakültesi	36.890952	30.647323
13	Mimarlık Fakültesi	36.889809	30.642486
14	Edebiyat Fakültesi	36.890082	30.642694
15	Yabancı Diller Fakültesi	36.892296	30.644535
16	Eğitim Fakültesi	36.893325	30.644494
17	İletişim Fakültesi	36.893255	30.644410
18	Ziraat Fakültesi - Tavuk Barınağı	36.895333	30.644602
19	Ziraat Fakültesi Sera Alanı	36.895820	30.640826
20	Ziraat Fakültesi Uygulama Alanı	36.898900	30.638500
21	Ziraat Fakültesi Uygulama Alanı - İş Makineleri Transit Giriş Kapısı	36.896981	30.649456



Şekil 3.9. Akdeniz Üniversitesi kampüs alanında belirlenen örnekleme noktalarını gösteren harita (Orijinal)



Şekil 3.10. Çok parametrelili sondanın kullanımı (Orijinal)



Şekil 3.11. Akdeniz Üniversitesi kampüsünde bulunan yeraltı suyu kuyuları örnekleme noktalarından görüntüler ve noktalara ait numaralar (Orijinal)

3.3. Laboratuvar çalışması

Arazi çalışması esnasında kampüs sınırları içerisinde belirlenen 21 yeraltı suyu örnekleme noktasından laboratuvar analizlerinde kullanılmak üzere su örnekleri alınmıştır. Ardından Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarında bulanıklık ve nitrat parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Laboratuvar çalışması için alınan su örnekleri Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Yeraltı suyu kuyularından alınan su örnekleri (orijinal)

3.4. Ölçümlerde kullanılan cihazlar

Arazi çalışmasında yapılan ölçümlerde, YSI 6600 EDS model Çok Parametrelili Su Kalitesi Ölçüm Sondası kullanılmıştır (Şekil 3.13). Laboratuvarında yapılan su analizlerinde ise Hach 2100Q Portatif Türbidimetre ve HQ40D Taşınabilir Multimetre (Şekil 3.14) kullanılarak Intellical Problar (Şekil 3.15) ile ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.13. Çok parametrelili su kalitesi ölçüm sondası

YSI 6600 EDS çok parametrelili su kalitesi ölçüm sondası: YSI 6600, Sıcaklık, pH, Elektriksel İletkenlik, Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS), Tuzluluk, Çözünmüş Oksijen ve Oksidasyon İndirgeme Potansiyeli (ORP) gibi su kalite parametrelerinin ölçümünü sağlayan portatif su kalitesi sondasıdır (Myers vd. 2003).

Hach 2100Q portatif türbidimetre ölçer ve HQ40D taşınabilir multimetre: Hach 2100Q Portatif türbidimetre, USEPA Metodu 180.1 tasarım kriterleri ile uyumludur. Belirli koşullar altında numune tarafından saçılan ışığın yoğunluğunun, standart bir referans süspansiyonu tarafından saçılan ışığın yoğunluğu ile karşılaştırılmasına dayanır. Dağınık ışığın yoğunluğu arttıkça, bulanıklık da artar. Ölçüm NTU olarak okuma yapan, birincil standart süspansiyonda verilen özelliklere göre tasarlanmış bir nefelometre de yapılır ve cihazı kalibre etmek için kullanılır (Anonim 2).

İletkenlik, pH, TDS, tuzluluk, çözünmüş oksijen (DO), nitrat ve ORP ölçen su kalitesi uygulamaları için tasarlanan HACH HQ40D portatif multimetre (Şekil 3.14), ölçümlerin tahminini alan iki kanallı gelişmiş bir el tipi dijital sayaçtır. HQD portatif sayaçları, su kalitesi, çevre ve arıtma işlemleri için farklı parametrelere, örnek tiplerine ve çalışma ortamlarına yönelik geniş bir akıllı elektrot yelpazesine bağlanır. Akıllı prob, test parametresini otomatik olarak tanır, kalibrasyon geçmişini saklar ve hataları ve kurulum süresini en aza indirmek için metot ayarlarını yapmaktadır (Anonim 3).



Şekil 3.14. HQ40D portatif multimetre & Hach 2100Q portatif türbidimetre

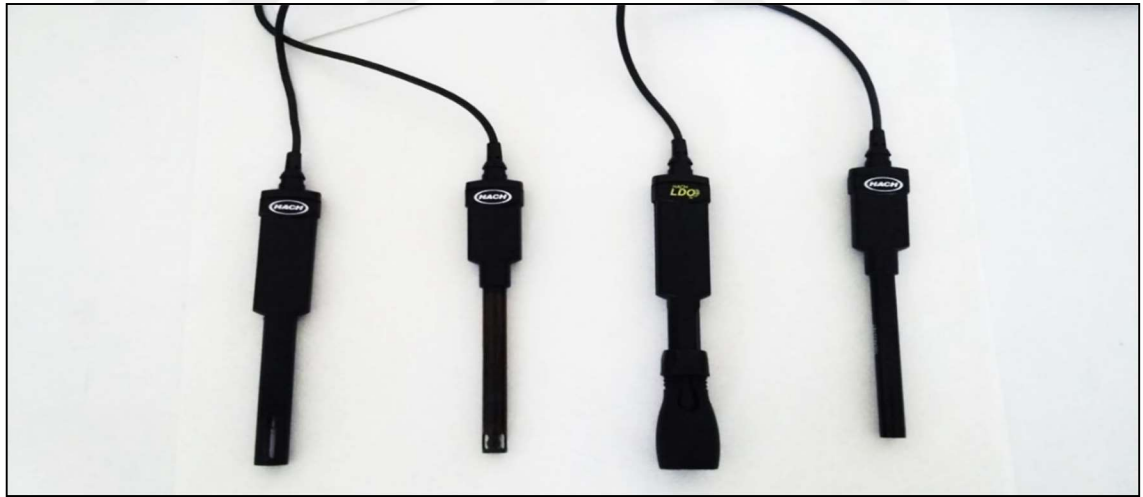
Intellical probalar: Intellical probalar pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik, toplam çözünmüş katı madde (TDS), ORP, amonyak, amonyum, klorür, florür ve nitrat parametrelerini ölçmektedir. Tüm Intellical problemleri HQD sayaçları tarafından otomatik olarak tanınır ve problemler arasında ölçüm yaparken, yeniden kalibrasyon ihtiyacını ortadan kaldırarak probun kendisinde kalibrasyon verilerini tutar (Anonim 4). Intellical Problemler;

LDO101 çözünmüş oksijen (DO) sensörü: LDO101 dijital, optik çözünmüş oksijen (LDO) probudur. Otomatik basınç sensörü modülü ve sıcaklık sensörü ile donatılan prob, içme suyu ve genel su kalitesi parametrelerini ölçmek için idealdir (Anonim 4).

PHC301 pH elektrodu: PHC301, yerleşik sıcaklık sensörlü dijital kombinasyonlu bir pH elektrotudur. Kombinasyon pH elektrotu, cam/sıvı arayüzünde potansiyel oluşturur. Sabit bir sıcaklıkta, bu potansiyel çözeltinin pH'sına göre doğrusal olarak değişir. pH, bir çözeltideki hidrojen iyonu aktivitesidir ve $-\log_{10} a(H^+)$ olarak tanımlanmaktadır. Burada $a(H^+)$ hidrojen iyonu aktivitesidir. Numune pH'ı, karbondioksit atmosferden emildiğinde değişebilir. İletkenlik değeri yüksek olan sularda tampon kapasitesi tipik olarak yüksektir ve pH fazla değişmemektedir (Anonim 4).

ISENO 3181 nitrat (NO_3^-) iyon seçici elektrot: ISENO 3181 dijital kombinasyonlu nitrat iyon seçici elektrottur. Bu elektrot su örneklerinde nitrat konsantrasyonunu ölçmek için kullanılmaktadır (Anonim 4).

CDC401 4 kutuplu grafit iletkenlik hücresi: Prob, 4 kutuplu grafit iletkenlik probudur. Prob, elektriksel iletkenliği, tuzluluk ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) parametrelerinin ölçümünü yapmaktadır. İletkenlik için kullanılan ölçü birimi ohm'un karşılığı olan Siemens veya mho'dur. Sulu çözeltiler için kullanılan birimler ise miliSiemens/cm (10^{-3} S veya mS/cm) ve microSiemens/cm (10^{-6} S veya μ S/m) 'dir (Anonim 4). Su kalite parametrelerinin tayininde kullanılan probalar Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Su kalite parametrelerinin tayininde kullanılan probalar (ÇO sensörü, pH elektrodu, nitrat (NO_3^-) elektrodu, 4 kutuplu grafit iletkenlik hücresi)

Arazide yapılan ölçümler ve laboratuvarında yapılan analiz sonuçları dijital ortama aktarılarak çalışmada kullanılmak üzere veri seti oluşturulmuştur.

3.5. Metodoloji

Yeraltı suyu kaynakları, su ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ancak su kaynaklarının yanlış kullanımı veya kirletilmesi,

sürdürülebilirliği tehlikeye sokmaktadır. Yeraltı suyu izleme ağları, yeraltı suyu kaynaklarının yönetimi, korunması ve sürdürülebilirliğini sağlamak için oldukça önemlidir. İzleme kuyularının optimal seçimi, mekânsal dağılımı veya izleme değişkenlerinin varyasyonlarını belirlemek için izleme değişkenlerine ilişkin bilgileri sağlayabilen, bilgi açısından etkili bir yeraltı suyu kalitesi izleme ağının tasarlanmasında önemli bir aşamadır. Bir izleme planının temel unsurları şunlardır;

- Hedeflerin açık bir şekilde belirtilmesi,
- Mevcut ve planlanan kullanımların tanımı,
- Çalışma alanının tanımlanması (çalışma alanının genişliği, mevcut ve planlanan kirlilik kaynakları vb. bilgileri içeren),
- Numune alım noktalarının yerleri,
- Ölçülecek su kalitesi değişkenleri,
- Numune alma sıklığının ve zamanlamasının belirlenmesi,
- Önerilen izleme ağını uygulamak için mevcut su kaynakların tahmini (Yenilmez 2014).

Yeraltı sularının temel beslenme kaynağı yağıştır. Beslenme şekli nedeniyle toprak yüzeyinde bulunan kirlletici maddelerin yeraltı sularına taşınması mümkündür. Bu durum özellikle içme ve kullanma amaçlı olarak kullanılan yeraltı sularında izleme çalışmalarını önemli kılmaktadır. Ancak izleme çalışmalarında çok sayıda istasyondan alınan numunelerde pek çok su kalitesi parametresinin izlenmesi, çalışmayı yapan kurum için yüksek maliyetle sonuçlanmaktadır. Bununla birlikte, su kaynaklarının dinamik yapısı göz önünde bulundurulduğunda izleme noktalarının belirlenmesinde de zorluklar yaşanmaktadır (Triki vd. 2013). Bu nedenle, izlenmesi gereken ilgili parametrelerin ve istasyonların tanımlanması gibi izleme ağının optimizasyonuna rehberlik edecek stratejilerin uygulanması gerekmektedir.

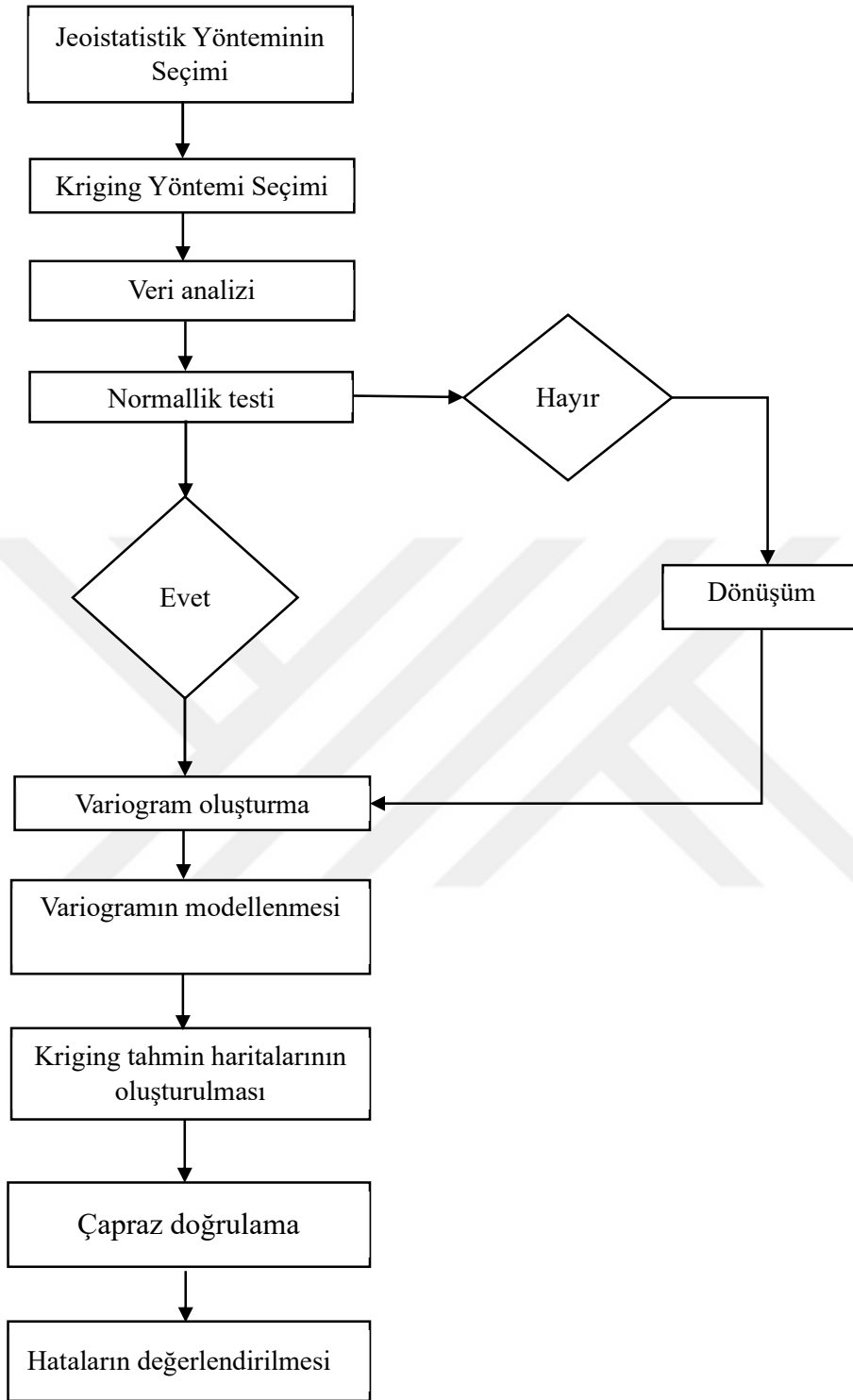
Bu çalışmada da, yeraltı sularında bir su kalitesi parametresinin dağılımındaki gerçek mekânsal korelasyon yapısını koruyan temsili bir su kalitesi izleme ağını tasarlamak ve örnekleme noktalarını belirlemek için önerilen adımlar istatistiksel (Kümeleme Analizi) ve jeostatistiksel (Sıradan Kriging) yöntemler kullanılarak sunulmaktadır. Çalışmanın ilk bölümü örnekleme noktalarının belirlenmesi ile arazide ve laboratuvarında yapılan su kalite parametrelerinin analizini kapsamaktadır. Çalışmada kullanılan su kalite parametrelerinden oluşan veriler arazide ve laboratuvarında ölçümler yapılarak elde edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen su kalite verileri SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programına aktarılmıştır. Ardından hiyerarşik kümeleme yöntemi uygulanarak sınıflar oluşturulmuştur. Ağaç yapısındaki dalların kümeleri gösterdiği ağaç diyagramı ve dendogramlar kullanılarak benzer özellik gösteren noktalar belirlenmiştir. Örnekleme noktalarından azaltmaya benzer özellik gösteren aynı grup içinde yer alan noktalardan başlanmıştır ve aynı grup içerisinde en az bir nokta kalana dek devam edilerek varsayımsal izleme ağları oluşturulmuştur.

Mekânsal verilerin oluşturulmasının ardından her bir izleme ağına ait deneysel variogram oluşturulmuş ve mekânsal korelasyonu göstermesi için deneysel variogram teorik variograma uydurularak modellenmiştir. Daha sonra modellenen variogram kriging tahminlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır. Mekânsal korelasyonun orjinal izleme ağındaki korelasyonu yansıtır yansıtmadığını belirlemek amacıyla variogram

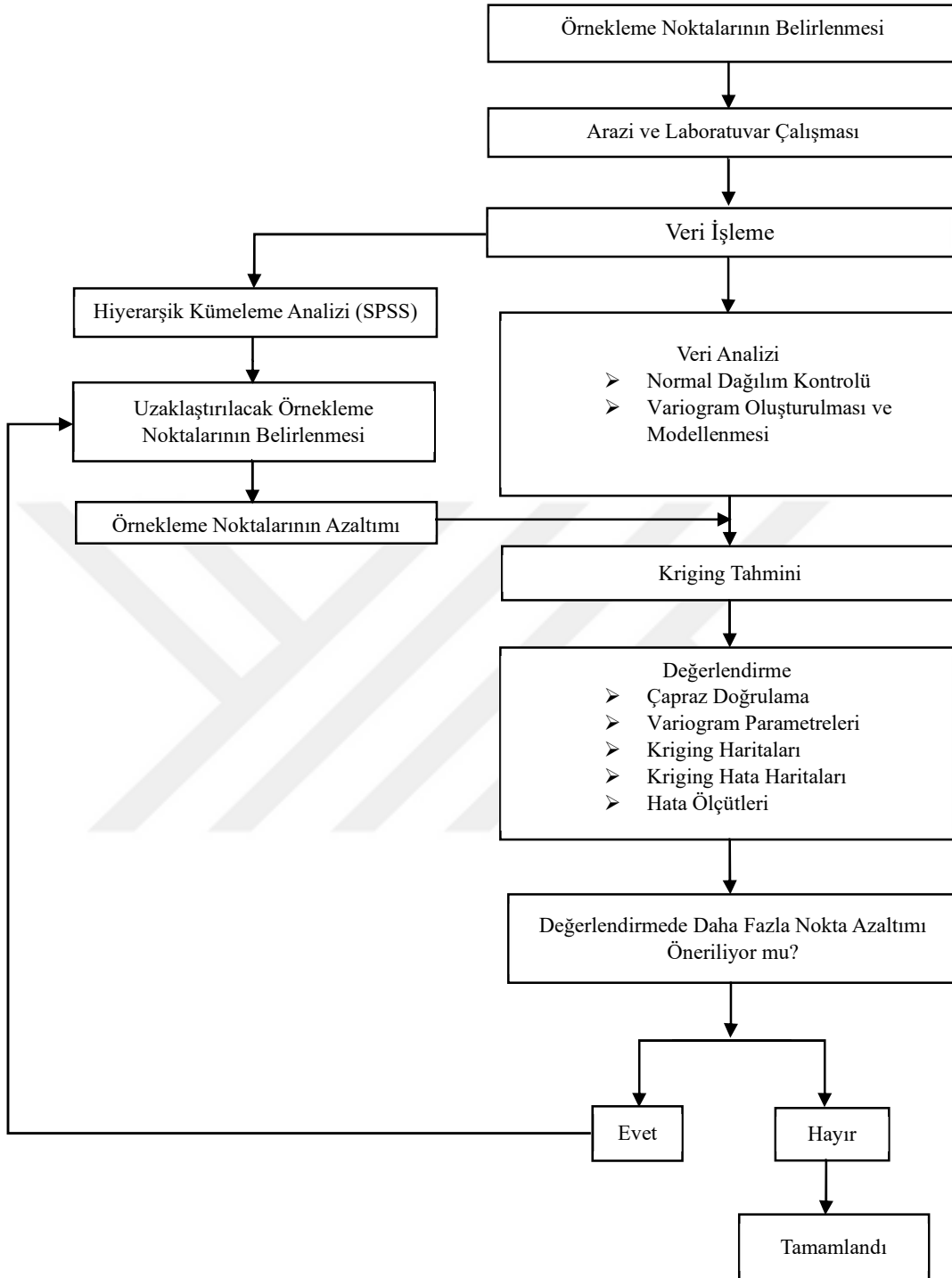
parametreleri olan külçe etkisi (Nugget), kısmi eşik değeri (Partial Sill) ve aralık değerleri (Major Range) kullanılarak, eşik değeri (Sill) ve mekânsal kolerasyonu tanımlayan Nugget/Sill oranı hesaplanmıştır.

Variogram analizinin ardından jeostatistiksel analiz yöntemleri arasında yer alan Sıradan Kriging yöntemi ile verilerin mekânsal analizi gerçekleştirilmiştir. Kriging yöntemiyle belirli noktalardan alınan değerler ile tahmin yüzeyi oluşturularak bilinmeyen noktalardaki değerler tahmin edilmektedir. Kriging yöntemi, verilerin normal dağılımına bakılmaksızın kullanılabilen bir tahmin yöntemidir. Sıradan, basit ve evrensel kriging yöntemi ile quantile ve olasılık haritaları elde etmek için verilerde normallik şartı aranmaktadır. Yalnızca ağırlıklı ortalamalardan oluşan tahmin ediciler dikkate alındığında, kriging yöntemi verilerinizin normal dağılıp dağılmadığına bakılmaksızın en iyi tarafsız tahmincidir. Bununla birlikte veriler normal dağılım gösteriyorsa, kriging yöntemi yalnızca ağırlıklı ortalamalarda değil tüm tarafsız tahminciler arasında en iyi tahmin edicidir (Anonim 5). Bir veri setinin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için farklı ölçütler bulunmaktadır. Bu ölçütlerden bazıları varyans katsayısı, Histogram ve Q-Q plot gibi grafik çizimleridir (Bursal 2019). Varyans katsayısı standart sapmanın ortalamaya oranı ile belirlenmektedir (Barhate ve Mudhalwadkar 2021). Hesaplanan varyans katsayısının %20-%30 aralığında çıkması ile veri setinin normal olduğu varsayılmaktadır.

Kriging sonucunda elde edilen tahminlerin doğruluğunu değerlendirmek için ise çapraz doğrulama testi kullanılmıştır. Değerlendirme aşamasında verilen ağın temsili olup olmadığına ve daha fazla nokta azaltımının mümkün olup olmadığına karar vermek için kriging haritaları, kriging hata haritaları ve hata ölçümleri dikkate alınmıştır. Şekil 3.16'da kriging enterpolasyon yöntemi uygulama aşamaları, Şekil 3.17'de ise optimum yeraltı suyu izleme ağının oluşturulması için kullanılan yöntemin uygulama adımları verilmiştir.



Şekil 3.16. Kriging enterpolasyon yöntemi uygulama aşamaları



Şekil 3.17. Optimum yeraltı suyu izleme ağının oluşturulması için kullanılan yöntemin uygulama adımları

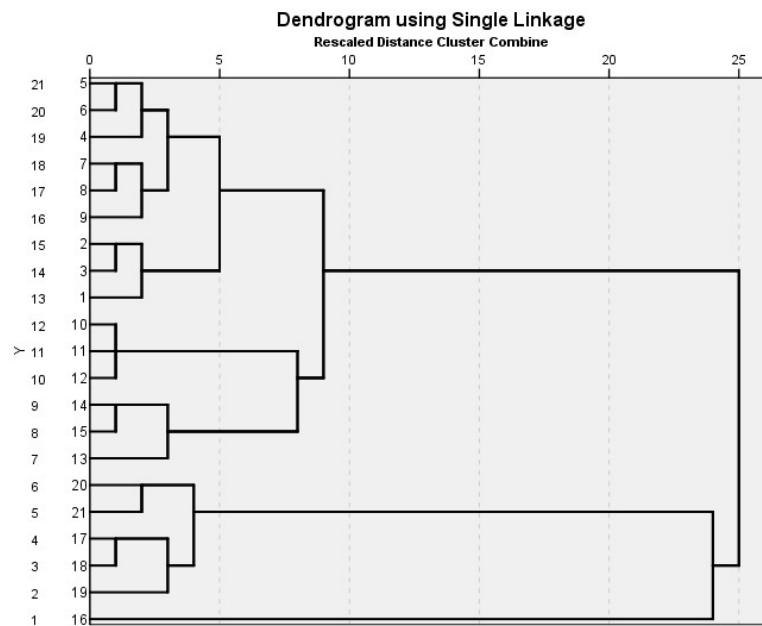
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kümeleme analizi

4.1.1. Hiyerarşik kümeleme analizi

Çalışmada su kalite parametreleri arasında yer alan temel değişken nitrat parametresi olarak belirlenmiştir. Nitrat verileri arazi çalışmasında alınan su numunelerinin laboratuvar ölçümlerinden elde edilmiştir. Verilerin analizinde ise IBM SPSS Statistics 26.0 programı kullanılmıştır. 21 örnekleme noktasına ait 12 parametrenin ölçüldüğü çalışmada kümeleme yöntemi olarak sıklıkla tercih edilen hiyerarşik kümeleme yöntemi seçilmiştir. Hiyerarşik kümeleme yöntemi verileri benzer özelliklerine göre gruplandırarak, kümeler arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Yöntemde kullanılan temel ölçüt kümeler arasındaki benzerlik ve kümeler arasındaki mesafeyi ifade eden kümeler arasındaki uzaklıktır. Benzer özellik gösteren değişkenlerin mesafe ölçümünde kare-Öklid uzaklığı (Squared Euclidean Distance) kullanılmıştır.

Kümeleme analizi sonuçlarının gösteriminde dendogramlar kullanılmıştır. Soldan sağa 0-25 birim arasında ölçeklendirilen dendogramda birimler arasındaki mesafeler eşit olup kümelemede kullanılan nitrat parametresi gruplandırılmıştır. Nitrat parametresinin ölçüm sonuçları birbirine en çok benzeyen örnekleme noktaları en çok 3 ve 4 birimlik mesafede, en az benzeyen örnekleme noktaları ise 25 birim mesafe küme oluşturmuştur. Dendogramda görülen tüm kümeler ve mesafeleri incelendiğinde; 1 birimlik mesafede 6 küme oluşurken, 3 birimlik mesafede 4 küme, 4 birimlik mesafede 3 küme, 5 birimlik mesafede 1 küme, 8 birimlik mesafede 1 küme, 9 birimlik mesafede 1 küme, 24 birimlik mesafede 1 küme ve 25 birimlik mesafede de 1 küme olduğu görülmüştür (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Hiyerarşik kümeleme yöntemi ile nitrat parametresinin kümelenmesini gösteren dendogram

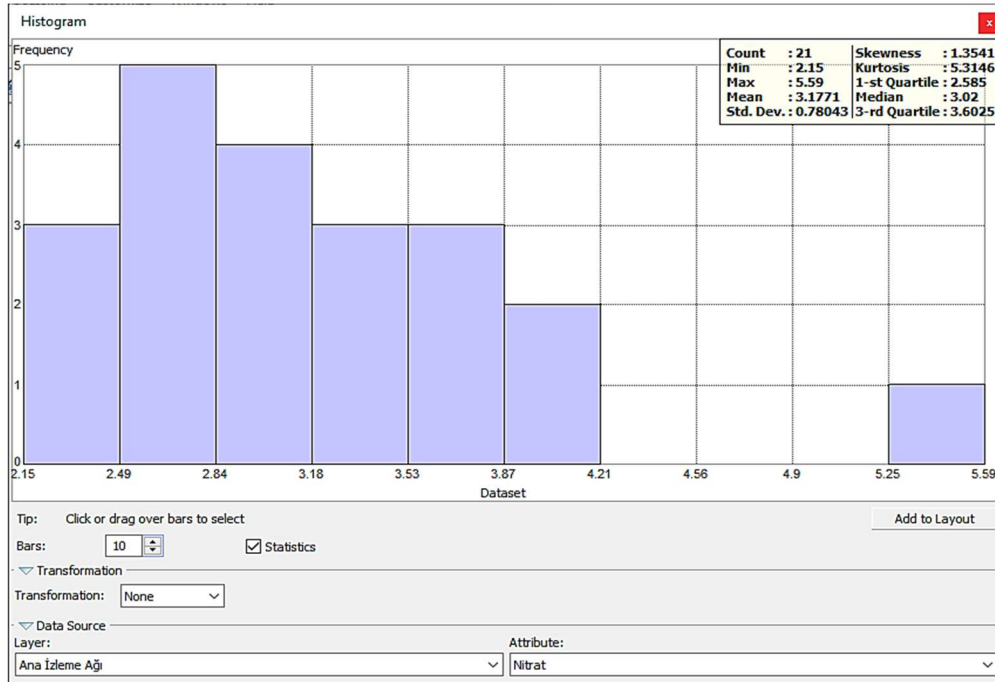
Nitrat parametresinin benzer özellik göstererek küme oluşturduğu (2 ve 3), (5 ve 6), (7 ve 8), (10, 11 ve 12), (17 ve 18), (4 ve 5), (7 ve 9), (1 ve 2), (20 ve 21), (13 ve 14), (17 ve 19) örnekleme noktaları birleşerek 2 ana küme oluşturmuştur. Örnekleme noktaları arasındaki benzerliklerden faydalanılarak oluşturulan kümeler kullanılarak varsayımsal izleme ağları oluşturulmuştur. 38 İzleme ağını oluşturan kuyular ve kullanılan örnekleme noktaları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ana ağ dahil oluşturulan 38 adet izleme ağı için ArcMap programında kullanıma uygun olacak şekilde mekânsal veriler oluşturulmuştur. Ardından ArcMap programının 10.8 sürümü kullanılarak variogram analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Varsayımsal izleme ağlarını oluşturan kuyular

İzleme Ağı	İzleme Ağlarını Oluşturan Kuyular
Ana ağ	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
2	1,3,4,6,8,9,11,12,13,15,16,18,19,21
3	1,2,4,5,7,9,10,11,13,14,16,17,19,20
4	2,3,5,6,7,8,10,12,14,15,17,18,21
5	1,3,4,6,8,9,10,12,13,15,17,18,19,21
6	1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
7	1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
8	1,2,3,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
9	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
11	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
12	1,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
13	1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
14	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
15	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
16	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21
17	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,14,15,16,17,18,19,20,21
18	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,15,16,17,18,19,20,21
19	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,16,17,18,19,20,21
20	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,14,15,16,17,18,19,20,21
21	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,21
22	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20
23	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,18,19,20,21
24	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,19,20,21
25	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,20,21
26	1,2,4,5,7,8,9,10,11,12,14,17,18,20,21
27	2,3,6,7,8,10,11,12,13,17,18,20
28	1,5,8,11,12,14,15,17,18,19
29	2,3,4,5,7,9,10,11,16,17,18
30	1,5,8,11,14,15,18,19
31	2,3,9,10,11,16,18
32	1,4,9,13,17,18
33	7,8,9,13,20,21
34	3,5,7,9,13,20,21
35	2,3,4,5,6,8,10,12,13,14,15,17,19
36	2,4,5,9,11,13,14,15,16,17
37	1,4,6,9,11,15,17,18,19,21,
38	3,5,7,10, 11,14,16,18,20,21,

4.1.2. Normallik kontrolü

Verilere uygulanan normal dağılım testleri kestirimden kaynaklanan hataların azaltılmasını sağlamaktadır. Bir veri setinde normallik ölçütü farklı yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir. Normal dağılım kontrolü için varyans katsayısı, histogramlar, Normal QQ plot grafikleri, vb. araçlar kullanılabilir (Bursal 2019). Sıradan Kriging yöntemi kullanılarak tahmin haritaları üretilen bu çalışmada daha önceden de belirtildiği gibi tahmin haritalarının üretiminde normallik şartı aranmamaktadır. Ancak, ağırlıklı ortalamalardan oluşan tahmin ediciler arasında genellikle tercih edilen Sıradan Kriging yöntemi, normal dağılan verilerin kullanılması ile tüm tarafsız tahminciler arasında en iyi tahmin edici olmaktadır (Johnston 2001). Bu nedenle analizin normal dağılım gösteren veriler kullanılarak yapılması avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada normallik dağılımının kontrolü amacıyla histogram ve varyans katsayısı kullanılmıştır. Şekil 4.2’de ana izleme ağına ait histogram grafiği verilmiştir. Akdeniz Üniversitesi yeraltı suyu kuyularından oluşan 21 örnekleme noktasından ölçülen nitrat konsantrasyonu 2.15 mg/L ve 5.59 mg/L arasında değişmektedir. Ortalama nitrat konsantrasyonu 3.18 mg/L’dir. Standart sapma verilerin dağılımını özetleyen bir ölçüdür. Ana izleme ağına standart sapma değerinin 0.78 mg/L olduğu görülmüştür. Ana izleme ağı için oluşturulan nitrat histogram grafiğinde verilerin simetrik dağılım gösterdiği ve normal dağılıma benzerlik gösterdiği görülmüştür (Şekil 4.2). Normallik ölçütü olarak kullanılan varyans katsayısı standart sapmanın ortalamaya oranı ile belirlenmektedir (Barhate ve Mudhalwadkar 2021). Varyans katsayısı %20-%30 aralığında çıkıyorsa, veri setinin normal dağıldığı varsayılmaktadır. Nitrat parametresinin varyans katsayısı 0.24 olarak hesaplanmış olup veri setinin normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Tüm parametrelere ait istatistiksel veriler Çizelge 4.2’de verilmiştir.



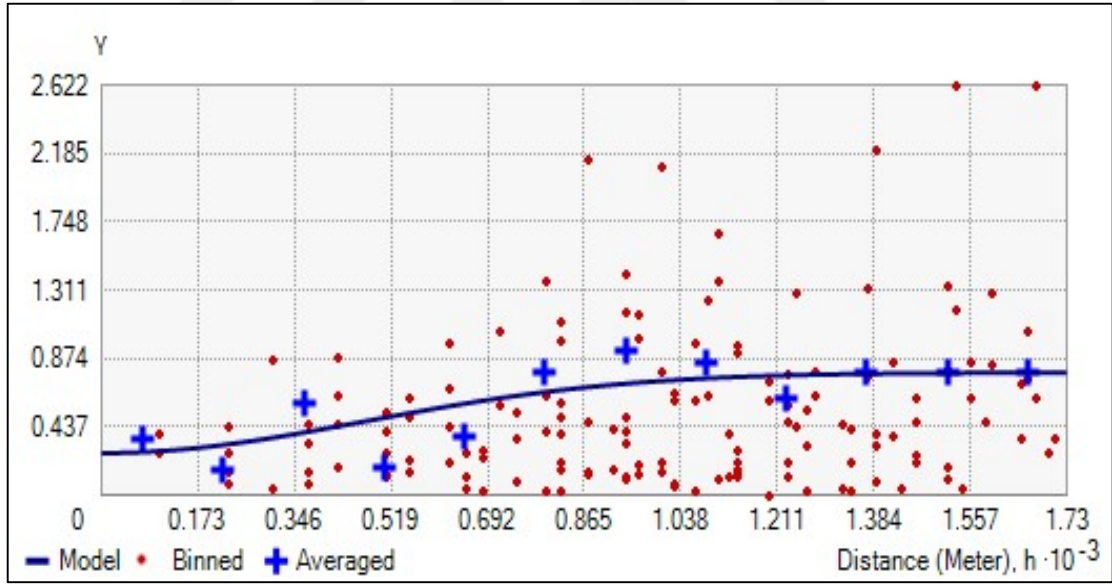
Şekil 4.2. Ana izleme ağı için nitrat konsantrasyonuna ait histogram grafiği

Çizelge 4.2. Ana izleme ağı için tüm parametrelere ait istatistiksel veriler

	Sıcaklık (°C)	pH	Elektriksel İletkenlik (mS/cm)	Özgül İletkenlik (µS/cm)	TDS (g/L)	Tuzluluk (ppt)	ÇO doygunluğu (%)	ODO (mg/L)	ORP (mV)	Bulanıklık (NTU)	Nitrat (NO ₃ ⁻ mg/L)
Minimum	18.44	6.29	641	724	0.471	0.35	85.10	7.92	16.6	0.23	2.15
Ortalama	19.88	6.50	677.38	748.05	0.49	0.37	92.95	8.46	16.74	0.68	3.18
Maksimum	23.98	6.86	788	812	0.528	0.4	96.8	8.88	16.9	6.03	5.59
Standart sapma	1.45	0.22	35.54	22.85	0.015	0.012	3.68	0.30	0.087	1.24	0.78
Skewness (Çarpıklık)	1.58	0.45	1.64	1.72	1.74	1.717	-0.76	-0.070	-0.01	4.14	1.35
Kurtosis (Basıklık)	4.67	1.63	5.63	5.45	5.52	5.60	2.19	1.82	2.36	18.47	5.32
1. Çeyrek	18.89	6.29	652	733.75	0.48	0.36	89.73	8.19	16.7	0.31	2.59
Medyan	19.51	6.45	666	744	0.48	0.36	94.5	8.43	16.7	0.36	3.02
3. Çeyrek	20.20	6.70	695	752	0.49	0.37	96	8.77	16.8	0.54	3.60

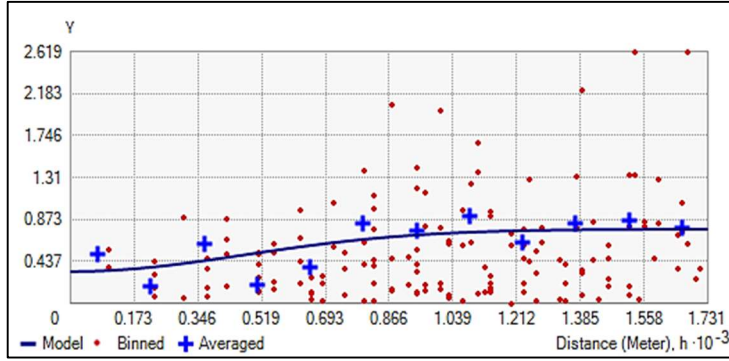
4.2. Variogram analizi

Çalışmada kullanılan Ordinary Kriging yöntemi ArcGIS (10.8) programında bulunan Geoistatistiksel Analiz (Geostatistical Analyst) aracı kullanılarak yapılmıştır. Kriging tahmin haritalarını oluşturmak ve ortalama hatayı en aza indirmek amacı ile variogram analizi gerçekleştirilmiştir. Variogram analizi deneysel variogramın teorik variograma uydurulması ile yapılmaktadır. Mekânsal korelasyonun derecesini gösteren variogramlar jeoistatistiksel analizlerde önem taşımaktadır. Variogram analizleri sonucunda elde edilen model kriging tahminlerinde kullanılmaktadır. ArcGIS programındaki Geoistatistiksel Analiz içinde Circular, Spherical, Tetraspherical, Pentaspherical, Exponential, Gaussian, Rational Quadratic, Hole Effect, K-Bessel, J-Bessel ve Stable olmak üzere 11 farklı variogram modeli bulunmaktadır. Tüm variogram modelleri denenerek optimum variogram modeli elde edilir. Her model için optimizasyon sürecinde en önemli aşama Nugget, Partial Sill, Sill ve Range gibi variogram model parametrelerinin belirlenmesidir (Anonim 6). Ana izleme ağı ve varsayımsal izleme ağlarının tamamı için variogramlar oluşturulmuştur. Böylece varsayımsal izleme ağlarının nitrat için ana izleme ağındaki mekânsal korelasyon yapısını sürdürüp sürdürmediği tespit edilmiştir. Ana izleme ağı için variogram analizi ile elde edilen variogram incelendiğinde çalışma alanındaki örnekleme noktaları arasında nitrat parametresi için mekânsal ilişkinin bulunduğu görülmüştür (Şekil 4.3).

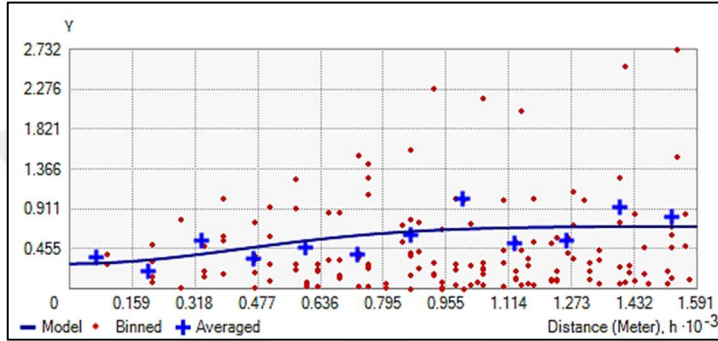


Şekil 4.3. Ana izleme ağı için oluşturulan variogram

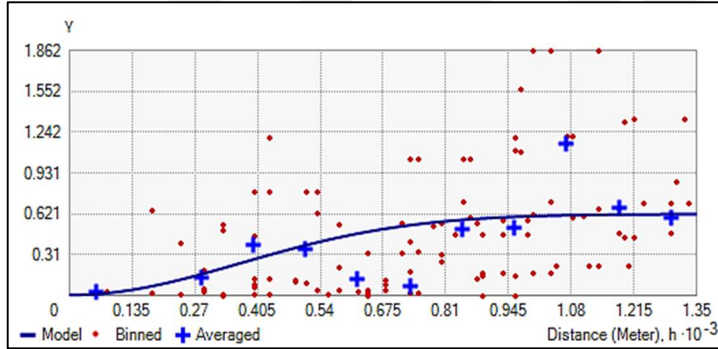
a) İA6



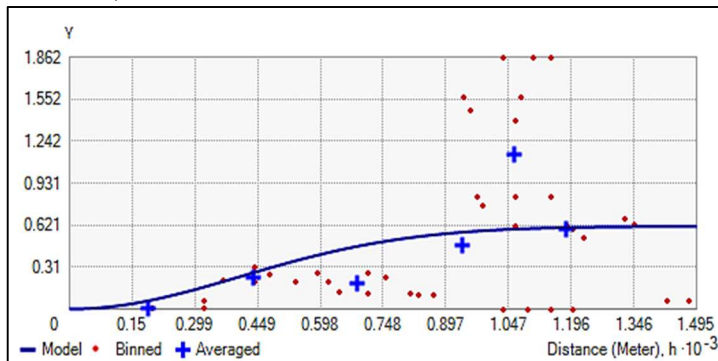
b) İA14



c) İA28



d) İA32



Şekil 4.4. 6, 14, 28 ve 32 numaralı varsayımsal izleme ağları için variogram analizi sonuçları

Çalışma alanından elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan 38 izleme ağına ait variogramlar incelenerek mekânsal ilişkinin ana izleme ağına benzer özellikler gösterdiği izleme ağları belirlenmiştir (Şekil 4.3). Ana izleme ağı dahil olmak üzere 38 izleme ağına ait Nugget, Partial Sill, Range ve Nugget/Sill oranı değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Sill ve Nugget değerleri ana izleme ağına ait değerlerle karşılaştırıldığında Nugget için en yüksek değişim oranı %212 olup 29 numaralı izleme ağında görülmüştür. Sill için hesaplanan değişim oranı %15.1 olup daha düşüktür. Diğer ağlarla kıyaslandığında hem Nugget hemde Sill değeri için nispeten yüksek değişim oranlarının 33’üncü izleme ağında olduğu görülmüştür. Bu ağda Nugget değeri için değişim oranı %96 Sill için değişim oranı ise %96.4’tür. Hem Nugget hemde Sill değeri için en düşük değişim oranı 11 ve 18 numaralı izleme ağlarında görülmüştür. Bu ağda Nugget değeri için değişim oranı %5 Sill için değişim oranı ise %0.1’dir. Teorik olarak variogramların orijinde sıfır değerini alması beklenmektedir. Ancak variogramlarda Nugget etkisi (külçe etkisi) bu değer pozitif değerler aldığı durumları da meydana getirmektedir. Ölçüm hataları ve veri noktaları arasındaki mesafenin azalması sonucunda oluşan mikro ölçekli varyasyonların neden olduğu bu durumda Nugget değeri oluşmaktadır. Ana izleme ağı için Nugget 0.27 değerini alırken 4, 5, 26, 37 ve 38 numaralı izleme ağları sıfır değerini almıştır.

Variogramdan elde edilen nugget ve sill değerleri kullanılarak hesaplanan Nugget/Sill oranı mekânsal korelasyonun derecesini belirlemek için kullanılır. Bu oran 0.25’ten küçük olduğu durumda yüksek, 0.25 ile 0.75 arasında orta, 0.75’ten büyük olduğu durumda ise zayıf mekânsal bağımlılığı ifade etmektedir (Shi vd. 2007; Chien vd. 1997; Chang vd.1998; Cambardella vd. 1994). Ana izleme ağında bu oran 0.34 değerini alarak orta derece mekânsal bağımlılığı gösterirken, 29 numaralı izleme ağında Nugget/Sill oranı 1.00 değeri ile zayıf mekânsal bağımlılığa işaret etmektedir. Çizelge 4.3’te bütün izleme ağları için Nugget/Sill oranları verilmiştir. 4,5,17,23,26,28,30,32,34,35,37 ve 38 numaralı izleme ağlarında Nugget/Sill oranı 0.25’in altında değerler alarak yüksek mekânsal ilişkiye sahip oldukları görülmüştür. 2, 3, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 19, 20, 21, 31 ve 36 numaralı izleme ağlarında oran 0.25-0.75 aralığındadır. 6, 7, 8, 9, 14 ve 15 numaralı varsayımsal izleme ağlarının Nugget/Sill oranları ana izleme ağı ile benzer ve orta dereceli mekânsal ilişki sergilemiştir. 29 numaralı izleme ağı ise Nugget /Sill oranı 0.75’ten büyük olan tek ağıdır.

Variogram değerlendirilmesinde bir diğer önemli parametre mekânsal ilişkinin durağan olduğu bölgeyi temsil eden Aralık (Range) değeridir. Ana izleme ağı için aralık (Range) değeri 1153.5 m’dir. Bu değer ana izleme ağında noktalar arası mesafe 1153.5 m’yi geçtiğinde mekânsal korelasyonun çok zayıfladığı anlamına gelmektedir. 6,7 ve 15 numaralı izleme ağlarına ait aralık (range) değeri 1154.3 m ile ana izleme ağı aralık değerine en yakın sonuçları vermiştir. Variogram parametreleri kullanılarak mekânsal ilişki açısından 38 izleme ağı değerlendirilmiş ve 6, 7, 8, 9, 14, 15, 17, 23, 28, 32 ve 34 numaralı izleme ağları alternatif olabilecek ağlar olarak belirlenmiştir. Alternatif ağlardan biri olan 28 numaralı varsayımsal izleme ağına ait sill değeri 0.839 ile ana izleme ağından yalnızca %7.1 sapma göstermiştir. Range değeri ise 899.8 m olup ana izleme ağından %21.99 azalma göstermiştir. Aralık değerinin daha düşük olması daha kısa mesafelerde örnekleme yapılmasının gerektiğini göstermektedir. Aynı ağ için Nugget/Sill oranının ise

0.007 olduğu görülmüştür. Ana izleme ağı ve 28 numaralı varsayımsal izleme ağı Nugget/Sill oranına göre kıyaslandığında, ana izleme ağı 0.344 Nugget/Sill oranı ile orta dereceli mekânsal ilişkiyi 28 numaralı izleme ağı ise 0.007 Nugget/Sill oranı ile yüksek mekânsal ilişkiyi göstermektedir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilen sırasıyla ana izleme ağı ve 28 numaralı varsayımsal izleme ağına ait variogramlar karşılaştırıldığında, ana izleme ağına kıyasla 28 numaralı ağın Nugget, Sill, Nugget/Sill oranının azaldığı, partial sill değerinin ise arttığı görülmüştür. Bu da, bu ağda ana izleme ağına kıyasla ölçümlerden ve lokal farklılıklardan gelen hataların azaldığı anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.3. Bütün izleme ağlarına ait variogram parametreleri

İzleme Ağı	Model	Nugget (C ₀)	Partial Sill (C)	Sill (C ₀ +C)	Range	Nugget/Sill (C ₀ / (C ₀ +C))
Ana ağ	Stable	0.269	0.514	0.784	1153.477	0.344
2	Stable	0.505	0.278	0.783	796.181	0.645
3	Stable	0.249	0.740	0.988	1206.797	0.251
4	Stable	0.000	0.520	0.520	1305.676	0.000
5	Stable	0.000	0.333	0.333	655.489	0.001
6	Stable	0.331	0.440	0.771	1154.275	0.429
7	Stable	0.330	0.441	0.771	1154.275	0.429
8	Stable	0.297	0.502	0.799	1106.094	0.372
9	Stable	0.311	0.498	0.809	1154.275	0.385
10	Stable	0.291	0.531	0.822	1148.253	0.354
11	Stable	0.284	0.501	0.785	1060.657	0.362
12	Stable	0.299	0.575	0.873	1459.819	0.342
13	Stable	0.299	0.521	0.820	1539.047	0.365
14	Stable	0.286	0.425	0.710	1060.657	0.402
15	Stable	0.328	0.438	0.766	1154.275	0.428
16	Stable	0.297	0.490	0.787	1123.630	0.377
17	Stable	0.220	0.682	0.902	1445.194	0.244
18	Stable	0.282	0.501	0.783	1111.938	0.360
19	Stable	0.231	0.682	0.913	1547.138	0.253
20	Stable	0.272	0.653	0.925	1451.787	0.294

Çizelge 4.3.'ün devamı

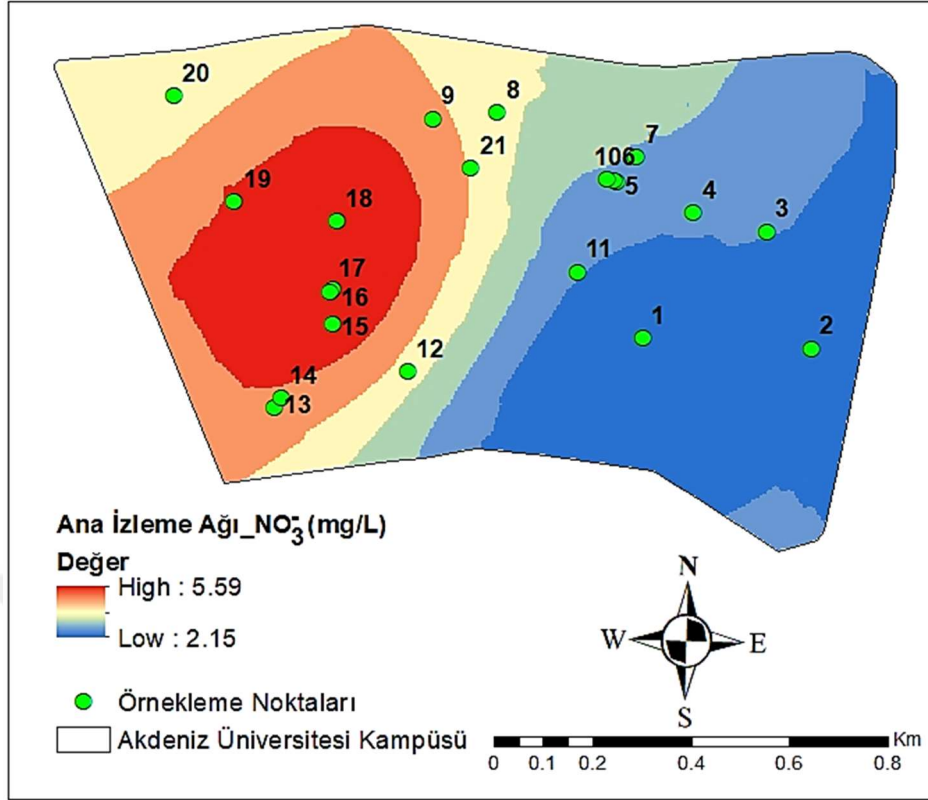
İzleme Ağı	Model	Nugget (C_0)	Partial Sill (C)	Sill (C_0+C)	Range	Nugget/Sill ($C_0 / (C_0+C)$)
21	Stable	0.286	0.351	0.637	705.527	0.449
22	Stable	0.288	0.515	0.803	1103.694	0.359
23	Stable	0.136	0.678	0.814	1483.730	0.167
24	Stable	0.287	0.540	0.827	1445.194	0.347
25	Stable	0.269	0.575	0.844	1241.335	0.318
26	Stable	0.000	0.507	0.507	1473.181	0.000
27	Stable	0.026	0.509	0.536	1635.977	0.049
28	Stable	0.004	0.615	0.619	899.782	0.007
29	Stable	0.839	0.000	0.839	919.155	1.000
30	Stable	0.001	0.517	0.518	924.478	0.001
31	Stable	0.649	0.787	1.437	1104.969	0.452
32	Stable	0.001	0.611	0.612	996.933	0.001
33	Stable	0.011	0.025	0.036	2019.662	0.311
34	Stable	0.079	0.582	0.662	1997.955	0.120
35	Stable	0.020	0.353	0.373	792.811	0.054
36	Stable	0.543	0.464	1.007	1268.286	0.540
37	Stable	0.000	0.318	0.318	681.855	0.001
38	Stable	0.000	1.847	1.847	2691.122	0.000

4.3. Kriging

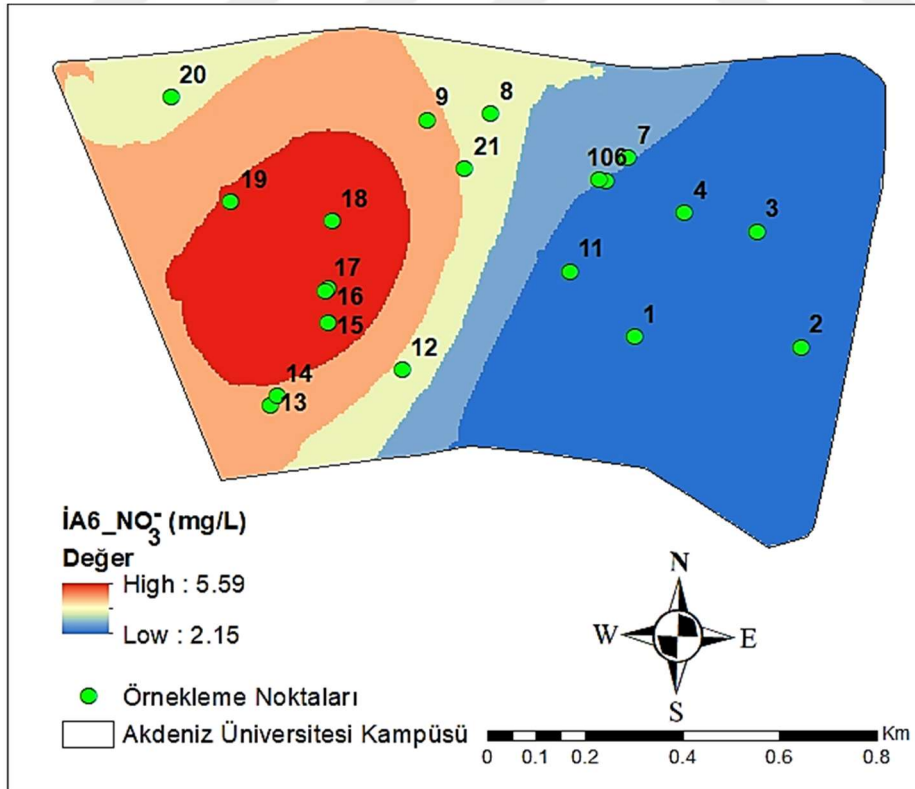
4.3.1 Ordinary kriging (sıradan kriging)

Bu çalışmada önerilen metodolojiye dayalı olarak, ordinary kriging yöntemi kümeleme analizi ile birlikte örnekleme noktalarının azaltılması ve temsili örnekleme kuyularının belirlenmesi için kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılması için seçilen su kalitesi parametresi nitrattır. Saha çalışmasında örnekleme yapılan 21 faal kuyuya ait veriler alınarak ana izleme ağı oluşturulmuştur. Çalışmada, temsili örnekleme kuyularını belirleyebilmek için kümeleme analizi sonuçları kullanılarak nokta azaltımı yapılmış ve farklı izleme ağları oluşturulmuştur. Bununla birlikte kıyaslama yapabilmek için rastgele seçilen kuyulardan oluşan izleme ağları da oluşturulmuştur. Oluşturulan izleme ağlarından çalışma alanını en iyi temsil eden izleme ağını seçebilmek için variogram modelleri, kriging haritaları ve kriging hata değerleri kullanılmıştır. Seçilen varsayımsal izleme ağı ana izleme ağını temsil etmeye devam ediyor ve variogram modellerine, kriging haritalarına, kriging hatalarına göre daha fazla nokta azaltımına imkân veriyorsa, nokta sayısının azaltımına devam edilerek yeni varsayımsal temsili izleme ağları oluşturulmaya devam edilmiştir.

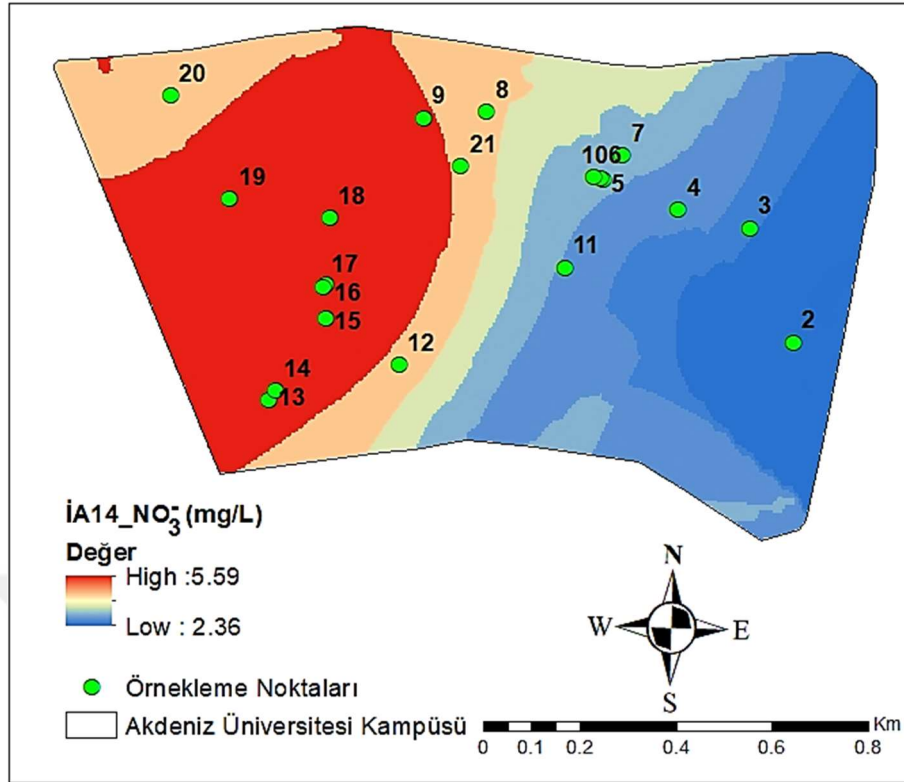
Öncelikle ana izleme ağı için nitrat parametresi tahmin haritası oluşturulmuştur. Şekil 4.5’de verilen nitrat için kriging tahmin haritası incelendiğinde çalışma alanı içindeki daha düşük nitrat konsantrasyonlu örnekleme noktalarının kampüsün orta kesiminden doğu kesimine doğru yer aldığı, daha yüksek konsantrasyonlu noktaların ise kampüsün orta kesiminden batı kesimine doğru konumlandığı görülmektedir. Daha yüksek nitrat konsantrasyonuna sahip örnekleme noktalarının Ziraat Fakültesi bünyesinde işletilen büyükbaş hayvancılığın yapıldığı hayvan barınağı, tavukhane, seracılık ve tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bölgelerde yer aldığı görülmüştür. Ana izleme ağı için elde edilen sıradan kriging haritasına ait genel değerlendirmenin ardından örnekleme noktaları azaltılan İA2, İA3, İA4, İA5, İA6, İA7, İA8, İA9, İA10, İA11, İA12, İA13, İA14, İA15, İA16, İA17, İA18, İA19, İA20, İA21, İA22, İA23, İA24, İA25, İA26, İA27, İA28, İA29, İA30, İA31, İA32, İA33, İA34, İA35, İA36, İA37 ve İA38 varsayımsal izleme ağları için kriging haritaları oluşturulmuştur. Ana izleme ağından yalnızca bir örnekleme noktası uzaklaştırılarak farklı varsayımsal izleme ağları oluşturulmuş ve böylece hangi örnekleme noktasının tahminler üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu ağlara ait nitrat tahmin haritaları karşılaştırıldığında genellikle ana izleme ağına benzer sıcak noktaların (düşük ve yüksek nitrat konsantrasyonlu kümeler) elde edildiği görülmüştür. Ancak bazı noktaların uzaklaştırılması ile ana izleme ağında görülen bazı lokal detayların kaybolduğu fark edilmiştir. Bu ağlardan Şekil 4.6’da 5 numaralı örnekleme noktası uzaklaştırılarak elde edilen İA6 ve Şekil 4.7’de 1 numaralı örnekleme noktası uzaklaştırılarak elde edilen İA14 varsayımsal izleme ağına ait tahmin haritaları verilmiştir. Şekil 4.7’de mavi ile gösterilen alanda bazı kümelerin lokal detayları kaybederek daha düzleştiği görülmüştür.



Şekil 4.5. Ana izleme ağında nitrat için oluşturulan kriging haritası

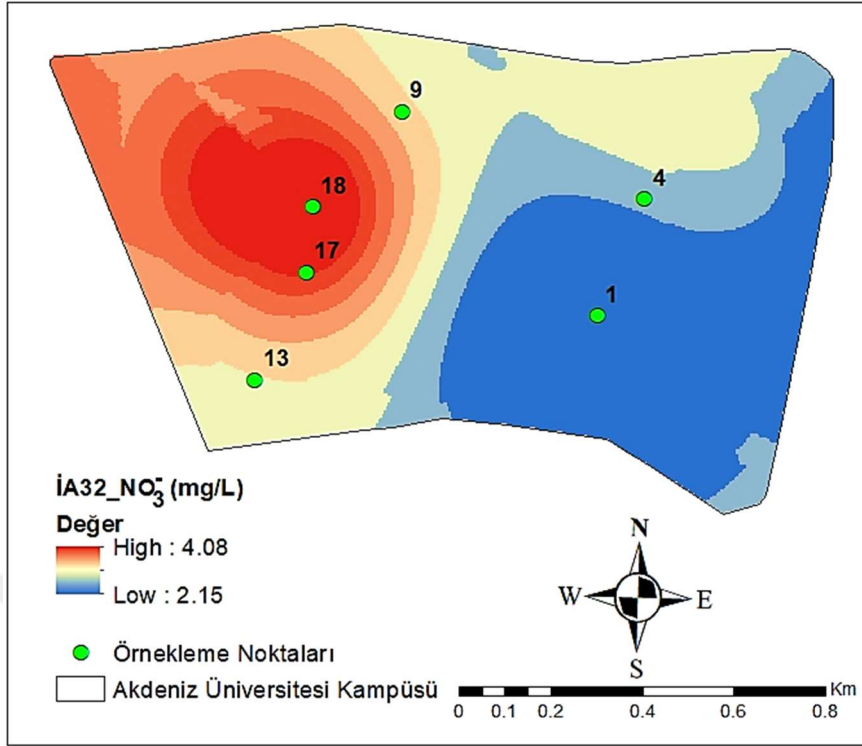


Şekil 4.6. 6 numaralı izleme ağında nitrat için oluşturulan kriging haritası

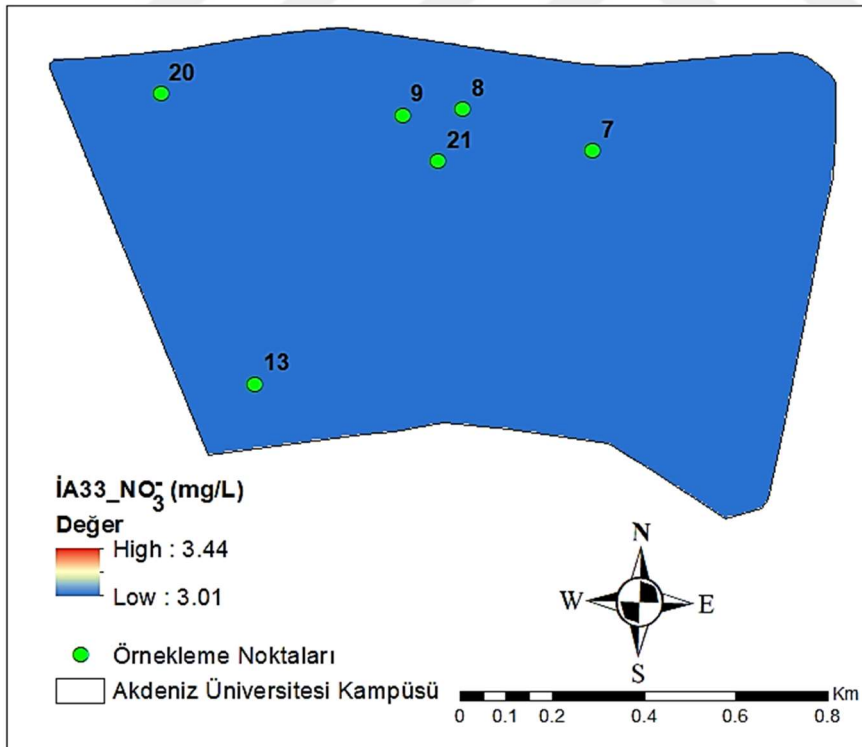


Şekil 4.7. 14 numaralı izleme ağında nitrat için oluşturulan kriging haritası

Çalışmada, kümeleme yönteminden elde edilen sonuçlar kullanılarak her bir kümeyi temsil edecek şekilde aynı küme içerisinde en az bir nokta bırakılarak ana izleme ağından örnekleme noktaları azaltımı yapılmış ve farklı varsayımsal izleme ağları oluşturulmuştur. Oluşturulan ağlardan temsili izleme ağı olma potansiyeline sahip 6 örnekleme noktasından oluşan 32 numaralı varsayımsal izleme ağına ait kriging nitrat tahmin haritası Şekil 4.8’de verilmiştir. İA32 gibi altı örnekleme noktasından oluşan İA33 izleme ağı için oluşturulan kriging tahmin haritası ise Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekilde ana izleme ağında görülen düşük ve yüksek nitrat bölgelerinin 33 numaralı izleme ağında görülmediği belirlenmiştir. Bu izleme ağını oluşturan numune noktalarındaki nitrat değerleri daha dar bir aralıkta (3.01-3.44 mg/L) olup, tüm tahmin yüzeyinin bu nedenle tek bir küme gibi gözükmesine neden olmuştur.



Şekil 4.8. 32 numaralı izleme ağında nitrat için oluşturulan kriging haritası

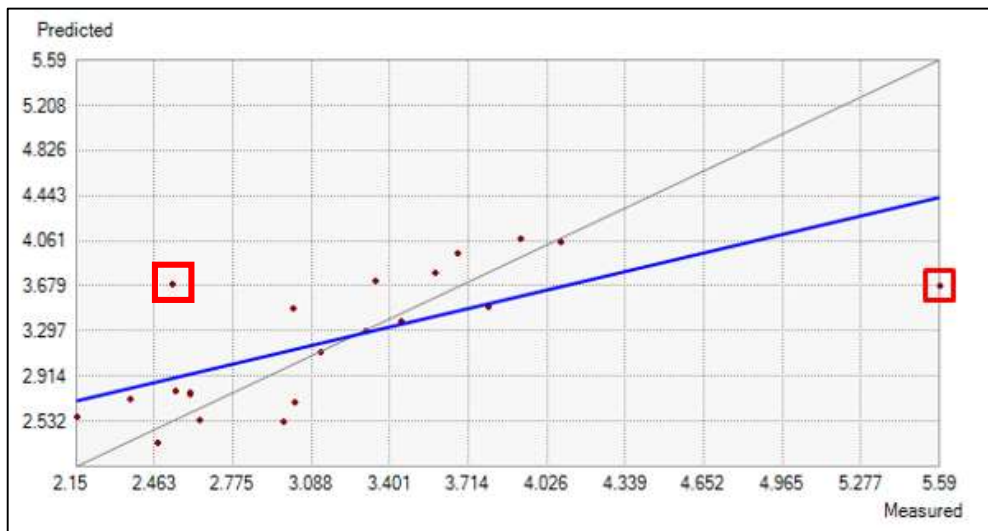


Şekil 4.9. 33 numaralı izleme ağı nitrat için oluşturulan kriging haritası

Kriging yöntemi ile üretilen tahmin haritalarının kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan diğer yaklaşım çapraz doğrulama yöntemi vasıtasıyla tahmin

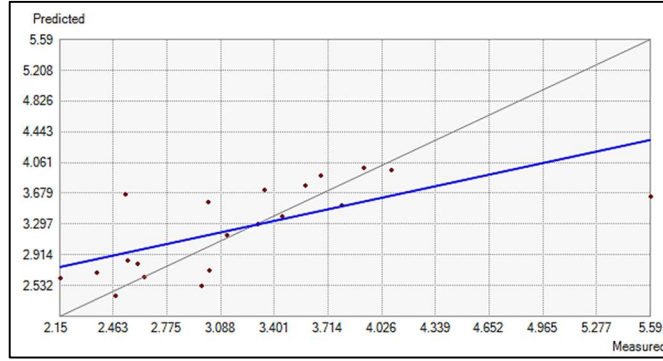
değerleri ve ölçüm değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Bu bağlamda örnekleme noktalarından alınan ölçüm sonuçları ile Sıradan Kriging yöntemi kullanılarak tahmin yüzeyi oluşturulmuş ve ölçülmeyen noktalardaki değerler tahmin edilmiştir. Ardından tahmin edilen değerler ile ölçülen değerler karşılaştırılmıştır. Şekil 4.10'da gösterilen çapraz doğrulama sonucunda elde edilen grafikte, gözlenen ve tahmin edilen değerler birbirine yaklaştıkça, kesikli gri çizgi ile mavi çizginin de birbirine yaklaşması ve değerlerin bu çizgilerin etrafına yakın olması beklenmektedir. Şekilde gösterilen kırmızı daire içerisine alınan 15. ve 16. örnekleme noktaları dışındaki diğer noktalar gri çizgiye yakındır. 15. örnekleme noktası Yabancı Diller ve 16. örnekleme noktası ise Eğitim Fakültesi'nde yer almaktadır. Her iki nokta da Ziraat Fakültesi bünyesinde işletilen tavukhane ve hayvan barınaklarına yakındır.

Şekil 4.5'de verilen ana izleme ağı için oluşturulan kriging haritası ve Şekil 4.10'da verilen çapraz doğrulama sonucunda elde edilen ölçülen ve tahmin edilen nitrat konsantrasyonu grafiği incelendiğinde çalışma alanı içindeki daha düşük nitrat konsantrasyonlu örnekleme noktalarının kampüsün orta kesiminden doğu kesimine doğru yer aldığı, daha yüksek konsantrasyonlu noktaların ise kampüsün orta kesiminden batı kesimine doğru konumlandığı görülmektedir. Daha yüksek nitrat konsantrasyonuna sahip örnekleme noktalarının Ziraat Fakültesi bünyesinde işletilen büyükbaş hayvancılığın yapıldığı hayvan barınağı, tavukhane, seracılık ve tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bölgelerde yer aldığı görülmüştür. Bu tür faaliyetler yeraltı suyunda nitrat konsantrasyonunu yükseltme potansiyeli olan faaliyetlerdendir. Şekil 4.11'de ana izleme ağından birer örnekleme noktası azaltılarak oluşturulan İA6 ve İA14, ana izleme ağından 15'er tane örnekleme noktası azaltılarak oluşturulan İA32 ve İA33 varsayımsal izleme ağları için oluşturulan ölçülen ve tahmin edilen nitrat konsantrasyonları için çapraz doğrulama grafikleri verilmiştir. İA33 numaralı çapraz doğrulama grafiği incelendiğinde ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında ciddi farklılıklar olduğu, grafikteki kesikli gri çizgi ile mavi çizginin ters yönde olduğu görülmektedir.

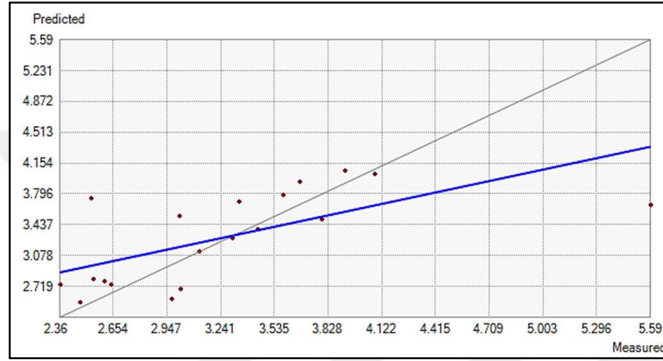


Şekil 4.10. Ana izleme ağında ölçülen ve tahmin edilen nitrat konsantrasyonları için çapraz doğrulama grafiği

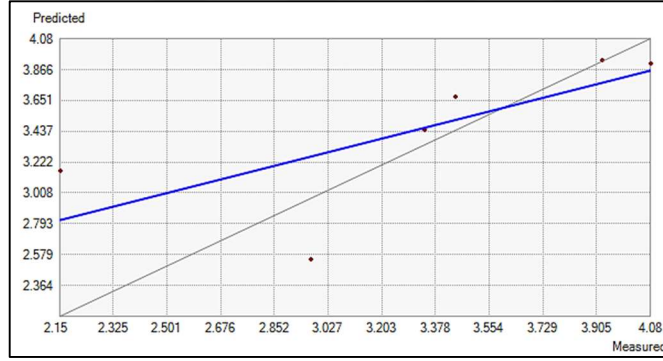
a)



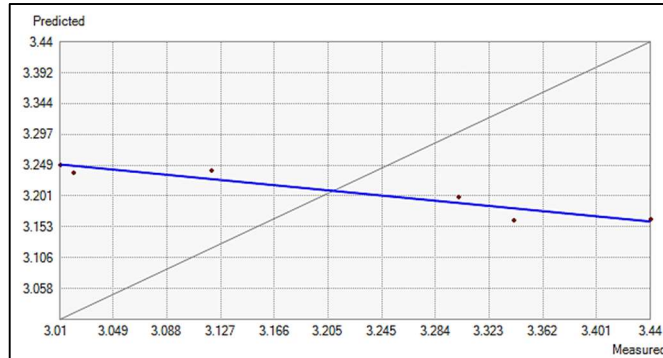
b)



c)

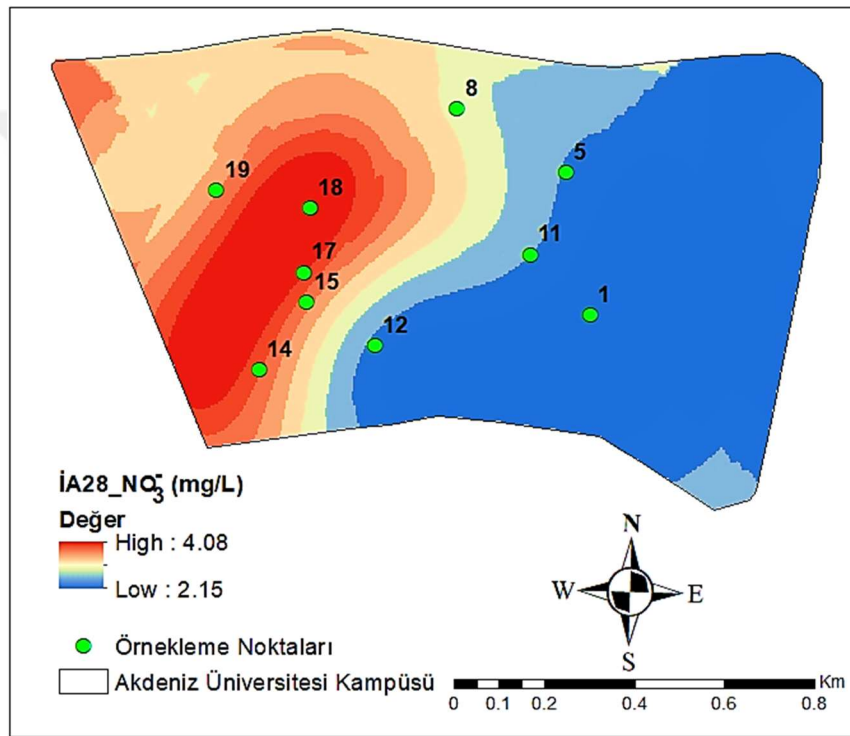


d)

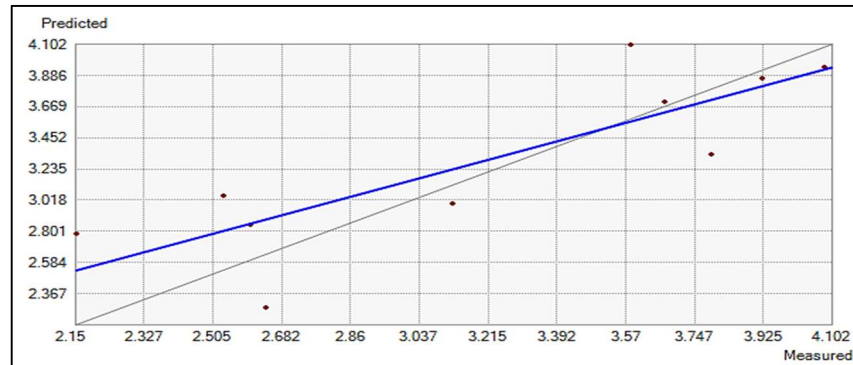


Şekil 4.11. Ölçülen ve tahmin edilen nitrat konsantrasyonları için çapraz doğrulama grafikleri a) İA6 b) İA14 c) İA32 d) İA33

Çalışmanın amacı mekânsal korelasyonun ana izleme ağına benzediği, ana izleme ağından elde edilen kriging haritaları ile benzer sıcak noktaları gösteren, tahminlerdeki hataların kabul edilebilir düzeyde olduğu ve minimum örnekleme noktası seçilerek en uygun izleme ağını belirlemektir. Variogram analizi neticesinde örnekleme noktaları arasında 0.007 Nugget/Sill oranı ile yüksek mekânsal korelasyona sahip olan temsili izleme ağı olabileceği düşünülen İA28 için oluşturulan kriging haritası, Şekil 4.12’de verilmiştir. Bu harita Şekil 4.5’de ana izleme ağı için oluşturulan tahmin haritası ile karşılaştırıldığında nitrat konsantrasyonu açısından benzer kümeler sergilediği görülmüştür. İA28 için çapraz doğrulama sonucunda elde edilen ölçüm ve tahmin sonuçlarına ait grafik (Şekil 4.13) incelendiğinde ise, 28 numaralı varsayımsal izleme ağına ait ölçüm ve tahmin sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

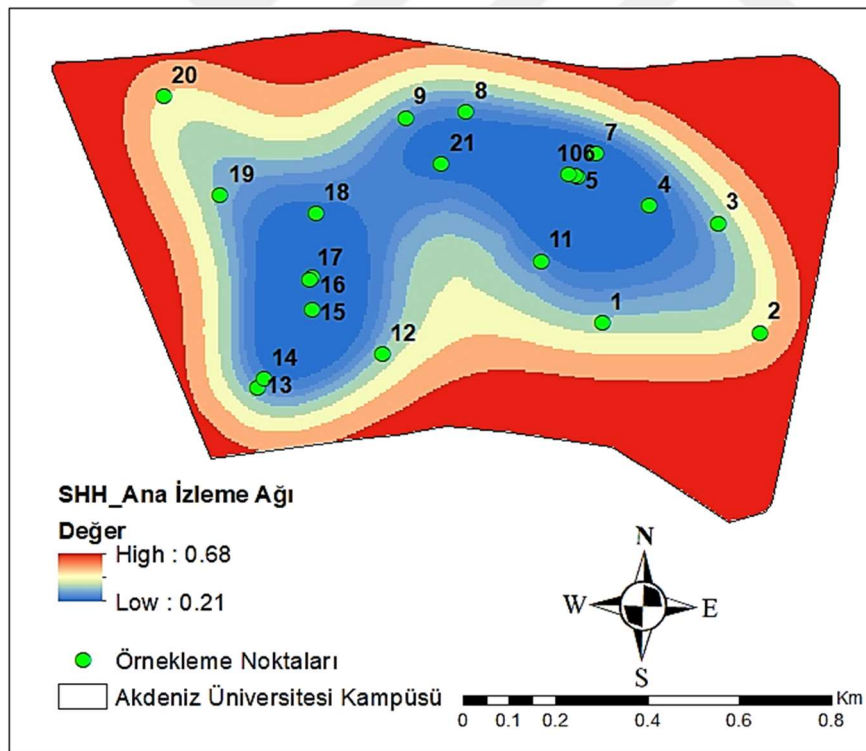


Şekil 4.12. 28 numaralı izleme ağına nitrat için oluşturulan kriging haritası

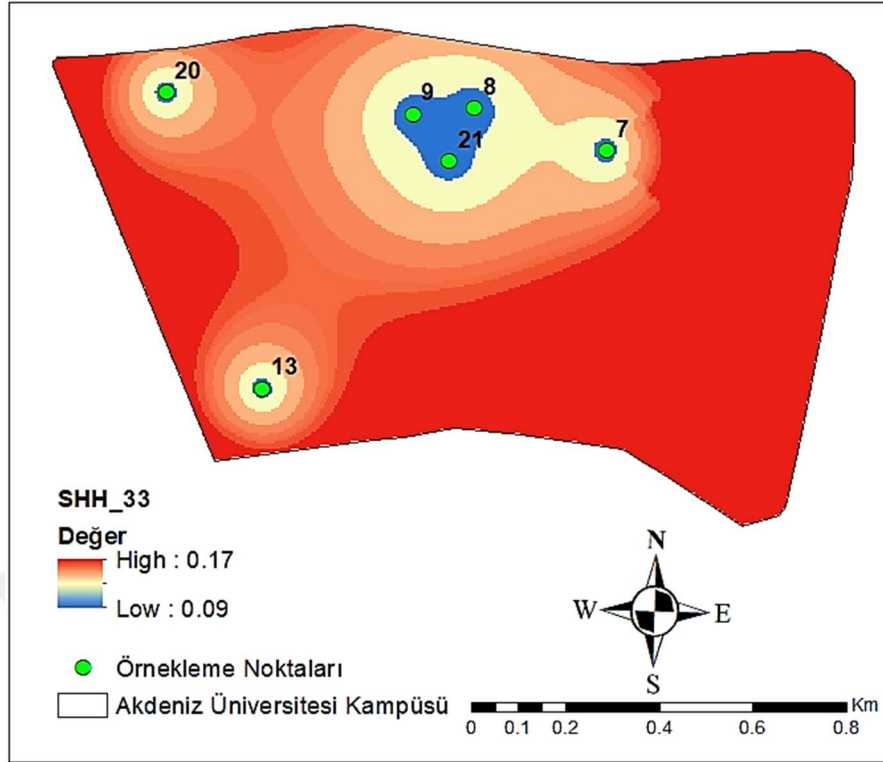


Şekil 4.13. 28 numaralı izleme ağına ölçülen ve tahmin edilen nitrat konsantrasyonları için çapraz doğrulama grafiği

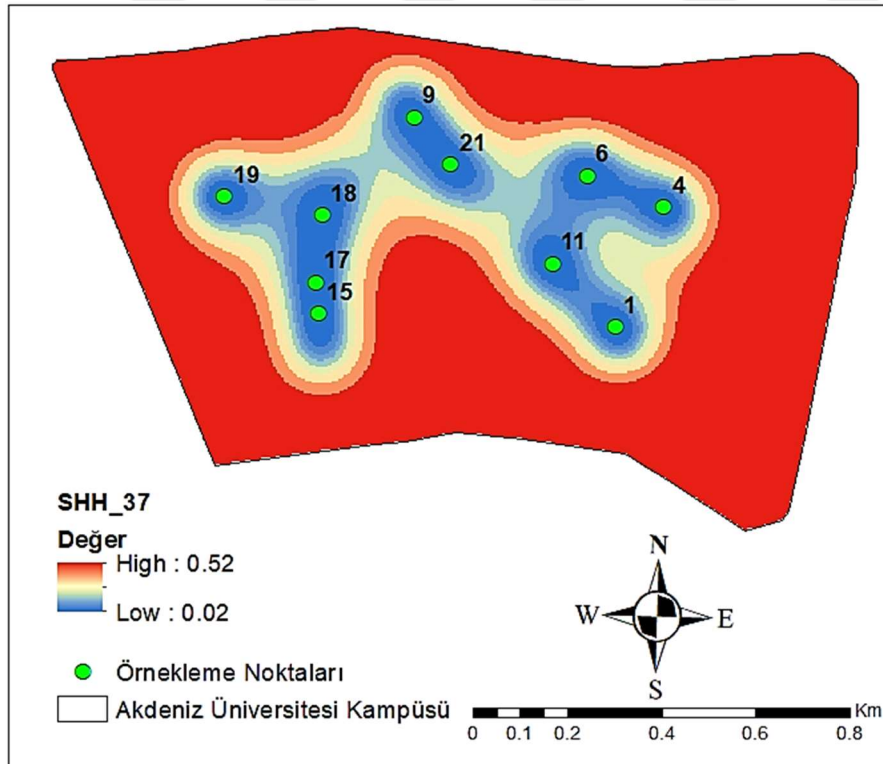
Sıradan Kriging tahmininin uygulanmasının ardından tahminler ile ilişkili hataların görülmesi amacıyla tüm ağlar için standart hata haritaları oluşturulmuştur. Ana izleme ağında nitrat konsantrasyonundaki standart hata değerinin 0.21-0.68 aralığında olduğu görülmüştür (Şekil 4.14). İA33 için kriging tahmin hata haritası Şekil 4.15’de verilmiştir. İA33 için hataların 0.09-0.17 aralığında değiştiği ve oldukça düşük olduğu görülmektedir. Yalnızca hata haritasına bakılarak temsili izleme ağını seçmenin doğru olmadığı aynı ağ için Şekil 4.11’de verilen çapraz doğrulama sonuçlarına bakıldığında anlaşılmaktadır. Bu nedenle temsili izleme ağının seçiminde hem variogram parametreleri hem kriging haritaları, hem çapraz doğrulama sonuçları hem de kriging hataları dikkate alınmalıdır. Seçilen varsayımsal izleme ağları arasında nitrat tahminlerindeki standart hata haritalarında en düşük standart hata değerinin yaklaşık 0.02 ile 37 numaralı izleme ağında (Şekil 4.16), en yüksek standart hata değerinin ise 1.09 ile 38 numaralı izleme ağında (Şekil 4.17) olduğu görülmüştür. Ana izleme ağından birer örnekleme noktası azaltılarak oluşturulan 6 ve 14 numaralı izleme ağlarına ait hataların 0.22-0.66 olduğu görülmüştür (Şekil 4.18,4.19). Ana izleme ağından 15’er tane örnekleme noktası azaltılarak oluşturulan 32 numaralı izleme ağları için hataların 0.02-0.68 olduğu görülmüştür (Şekil 4.20). Ana izleme ağına alternatif ağ olarak seçilen 28 numaralı izleme ağına ait hataların 0.05 – 0.51 aralığında olduğu ve hataların ana izleme ağına kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 4.21).



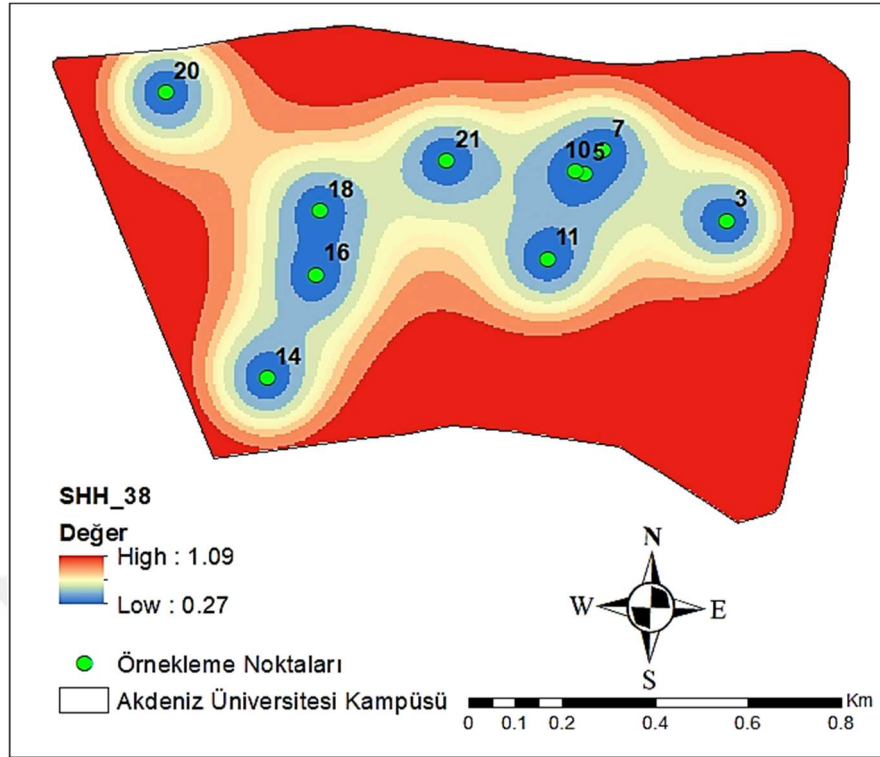
Şekil 4.14. Ana izleme ağı nitrat için sıradan kriging hata haritası



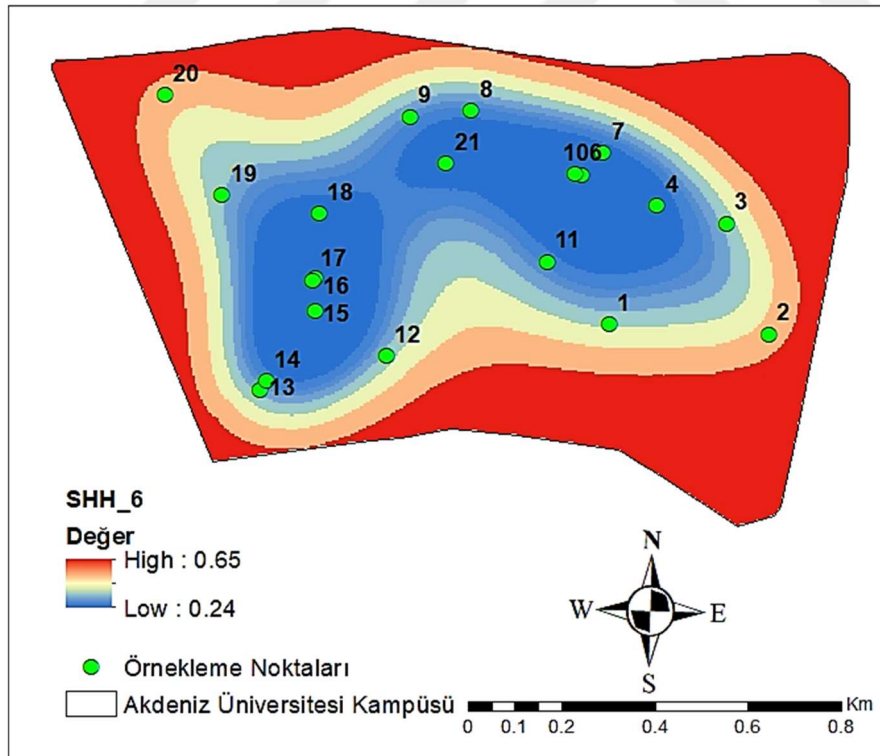
Şekil 4.15. 33. izleme ağı nitrat için sıradan kriging hata haritası



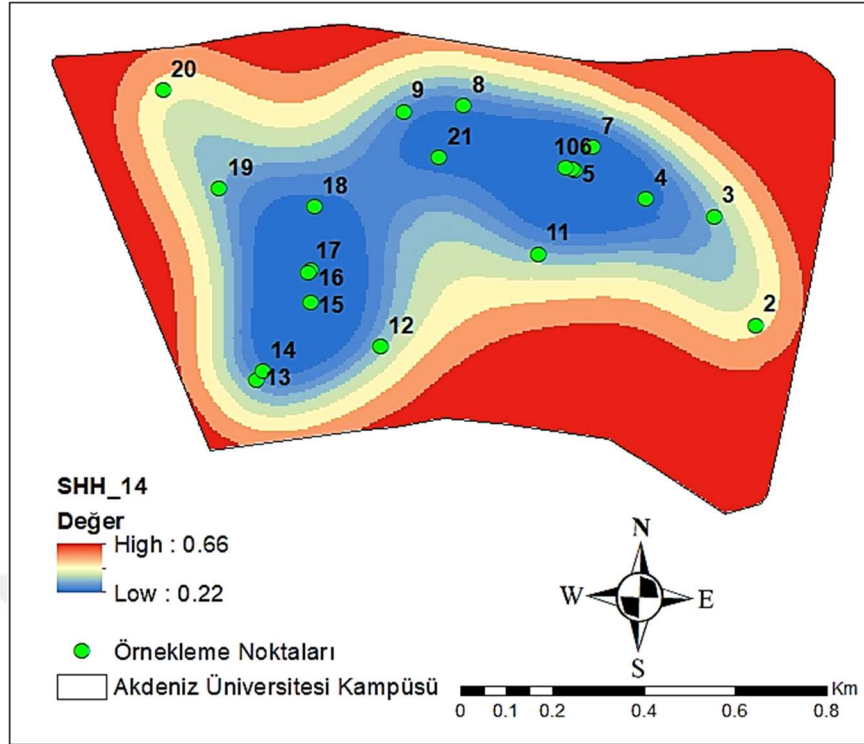
Şekil 4.16. 37. izleme ağı nitrat için sıradan kriging hata haritası



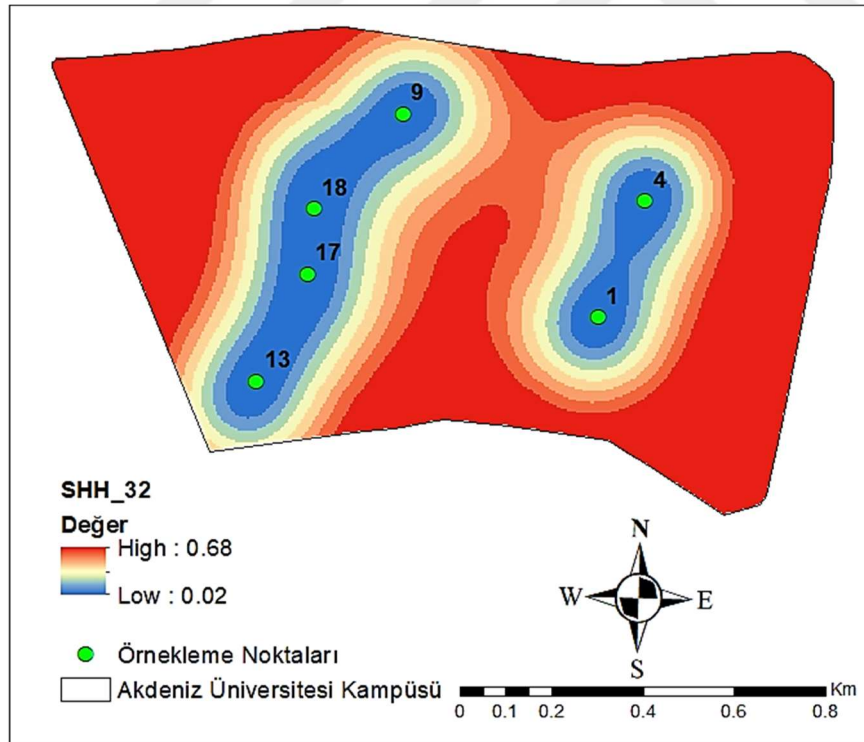
Şekil 4.17. 38. izleme ağı nitrat için sıradan kriging haritası



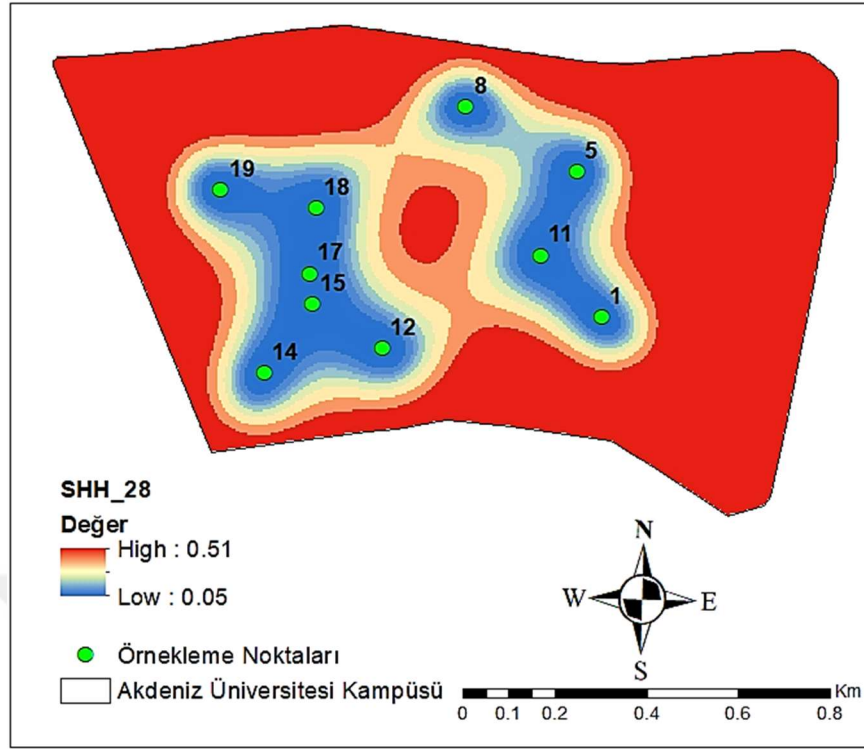
Şekil 4.18. 6. izleme ağı nitrat için sıradan kriging haritası



Şekil 4.19. 14. izleme ağı nitrat için sıradan kriging hata haritası



Şekil 4.20. 32. izleme ağı nitrat için sıradan kriging hata haritası



Şekil 4.21. 28. izleme ağı nitrat için sıradan kriging hata haritası

Metodoloji bölümünde (Bölüm 3.2.3) bahsedildiği gibi tahminlerin doğruluğunu test etmek için dikkate alınan ortalama hata (ME) ve ortalama standartlaştırılmış hata (MSE) değerlerinin sıfıra yakın olması gerekmektedir. Bu değerler tahminlerin model tahminlerinde sapma derecesini göstermektedir. Tahminlerin doğruluğunun kontrol edilmesi için ise ortalama karekök hata (RMSE), ortalama karekök standart hata (RMSSE) ve ortalama kriging standart hatası (ASE) değerleri dikkate alınmaktadır. Tahminlerin kesinliği hakkında bilgi veren RMSE ve ASE değerlerinin olabildiğince küçük olması gerekirken, hataların varyansının kriging varyansları ile karşılaştıran ortalama karekök standart hata (RMSSE) değerlerinin ise 1'e yakın olması gerekmektedir (Houlong vd. 2016). Tahmin doğruluğu değerlendirmek için kullanılan istatistiksel hatalar Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelge 4.4 incelendiğinde, ME değeri yaklaşık 0.1 olan İA5, İA22, İA28, İA30, İA32, İA34, İA37, İA38 izleme ağları ve ME değerleri yaklaşık -0.1 olan İA29 ve İA31 izleme ağları dışındaki tüm ağlarda 0-0.08 aralığında düşük değerler aldığı görülmüştür. En yüksek ASE değeri yaklaşık 1.12 ile İA31 izleme ağında en düşük hata değeri ise yaklaşık 0.2 ile İA33 izleme ağında görülmüştür. Ana ağ ve varsayımsal izleme ağı da dahil olmak üzere oluşturulan 38 ağın RMSSE değerlerinin 0.798-1.056 aralığında olduğu görülmüştür. En yüksek RMSSE değeri 1.056 ile İA35 izleme ağında, en düşük RMSSE 0.719 değeri ile İA32 izleme ağında görülmüştür. Ana izleme ağının RMSSE değeri 0.901 olup bu değer 1'e yakındır. Ana izleme ağına benzer özellik gösteren İA6, İA7, İA8 ve İA9 numaralı varsayımsal izleme ağlarının ME değerleri benzer değeri alırken MSE değerlerinin azalarak sıfırdan uzaklaştığı, RMSE değerlerinin olabildiğince küçük olması gerekirken arttığı, RMSSE değerleri azalarak 1'den uzaklaştığı, ASE değerlerinin ise ana izleme ağından yüksek değerler aldığı

görülmüştür. Ana ağa alternatif ağ olarak seçilen İA28 varsayımsal izleme ağına ait ME değeri 0.09 ve MSE değeri yaklaşık 0.1, RMSE değeri 0.374, RMSSE değeri 0.753 olup ASE değeri ise 0.467'dir. ME, MSE, RMSE ve ASE değeri ana ağa kıyasla daha iyi sonuçlar veren bu ağda RMSSE değeri 1'e yakındır.

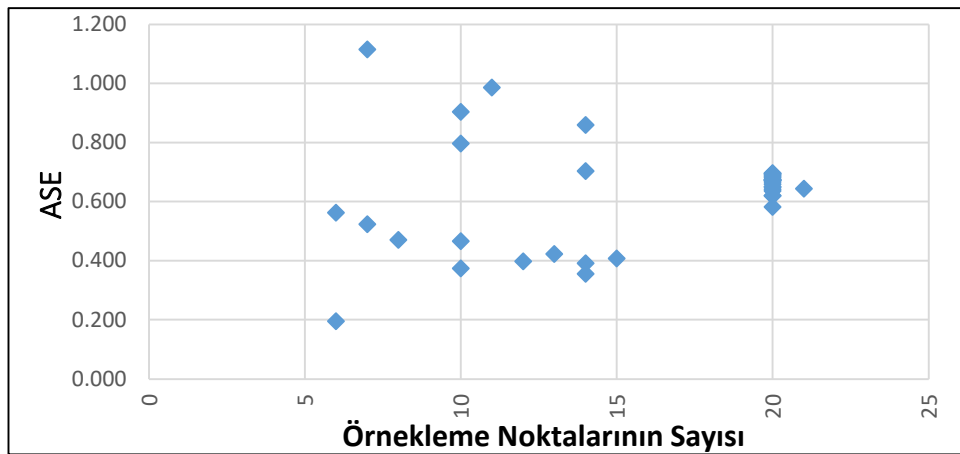
Çizelge 4.4. Model doğruluğunu gösteren hatalar

İA	Örnekleme Noktaları	ME	RMSE	MSE	RMSSE	ASE
Ana Ağ	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.042	0.552	0.036	0.901	0.645
2	1,3,4,6,8,9,11,12,13,15,16,18,19,21	0.034	0.687	0.021	0.829	0.861
3	1,2,4,5,7,9,10,11,13,14,16,17,19,20	0.029	0.599	0.022	0.963	0.704
4	2,3,5,6,7,8,10,12,14,15,17,18,21	0.002	0.347	-0.028	0.72	0.424
5	1,3,4,6,8,9,10,12,13,15,17,18,19,21	0.09	0.291	0.102	0.722	0.357
6	1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.042	0.57	0.034	0.857	0.697
7	1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.042	0.571	0.035	0.858	0.696
8	1,2,3,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.042	0.553	0.034	0.861	0.681
9	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.041	0.564	0.033	0.864	0.686
10	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.045	0.567	0.038	0.892	0.673
11	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.054	0.569	0.05	0.895	0.673
12	1,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.037	0.568	0.027	0.907	0.65
13	1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.032	0.557	0.023	0.869	0.675
14	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.047	0.565	0.042	0.898	0.660
15	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.042	0.568	0.035	0.857	0.694
16	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.045	0.569	0.035	0.885	0.675
17	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0.028	0.494	0.026	0.916	0.582
18	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,15,16,17,18,19,20,21	0.046	0.557	0.038	0.889	0.667
19	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,16,17,18,19,20,21	0.033	0.569	0.022	0.965	0.62
20	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,14,15,16,17,18,19,20,21	0.022	0.559	0.011	0.93	0.637
21	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,21	0.037	0.553	0.026	0.849	0.69
22	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20	0.054	0.569	0.051	0.894	0.674
23	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,18,19,20,21	0.044	0.572	0.034	0.987	0.621
24	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,19,20,21	0.029	0.579	0.022	0.942	0.642
25	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,20,21	0.049	0.571	0.038	0.916	0.651
26	1,2,4,5,7,8,9,10,11,12,14,17,18,20,21	0.018	0.399	-0.04	0.896	0.408
27	2,3,6,7,8,10,11,12,13,17,18,20	0.008	0.336	-0.005	0.897	0.398
28	1,5,8,11,12,14,15,17,18,19	0.086	0.374	0.098	0.753	0.467
29	2,3,4,5,7,9,10,11,16,17,18	-0.133	0.756	-0.129	0.758	0.987
30	1,5,8,11,14,15,18,19	0.066	0.442	0.082	1.012	0.471
31	2,3,9,10,11,16,18	-0.076	0.798	-0.064	0.727	1.116
32	1,4,9,13,17,18	0.131	0.466	0.145	0.719	0.563
33	7,8,9,13,20,21	0.005	0.198	0.013	1.006	0.197
34	3,5,7,9,14,18,20	0.099	0.472	0.104	0.958	0.524
35	2,3,4,5,6,8,10,12,13,14,15,17,19	0.041	0.368	0.048	1.056	0.392
36	2,4,5,9,11,13,14,15,16,17	0.028	0.716	0.013	0.848	0.905
37	1,4,6,9,11,15,17,18,19,21	0.066	0.361	0.100	0.825	0.375
38	3,5,7,10,11,14,16,18,20,21	0.132	0.745	0.056	1.022	0.798

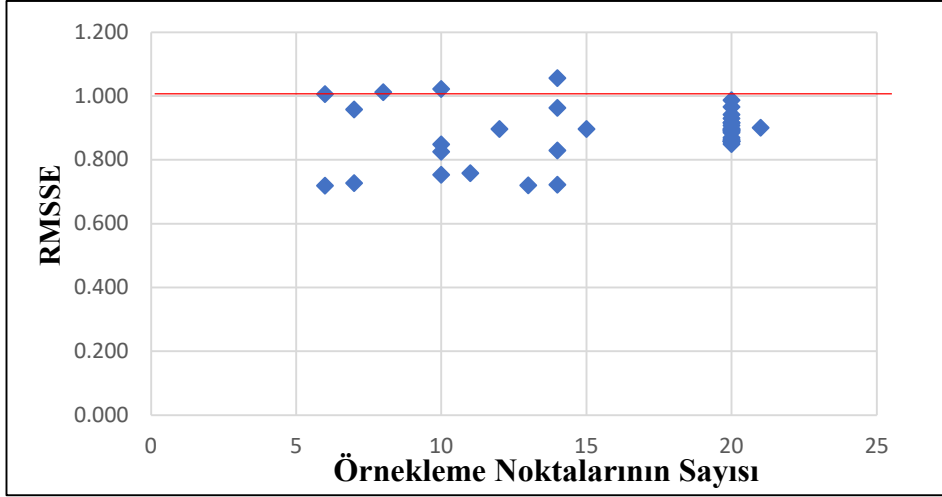
Komasi ve Goudarzi (2021) kriging yöntemi kullanarak 29 kuyudan oluşan ana izleme ağında kuyu azaltımı için iki senaryo oluşturmuştur. Çalışmada ilk senaryoda ana ağdan 17 kuyu azaltılmış olup RMSE değerinin %13 arttığı görülmüştür. İkinci senaryoda ise 18 kuyu azaltılmış ve RMSE değerinin %44 arttığı görülmüştür. Sadece RMSE değerleri dikkate alınan bu çalışmada ilk senaryoda %60, ikinci senaryoda ise %62 kuyu azaltımı sağlanmıştır (Komasi ve Goudarzi 2021). Kavusi vd. (2020) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise 110 örnekleme kuyusundan oluşan ana izleme ağı kriging yöntemi kullanılarak azaltılmaya çalışılmıştır. Söz konusu çalışmalarda ana izleme ağındaki mekânsal korelasyon yapısının korunup korunmadığı kontrol edilmemiş, variogram parametreleri, kriging haritaları, hata haritaları, ME, MSE ve ASE gibi hatalar değerlendirilmemiştir. Bu tez çalışmasında ana izleme ağına ait RMSE değeri 0.552 , alternatif ağ olarak seçilen İA28 varsayımsal izleme ağına ait RMSE değeri ise 0.374 olarak belirlenmiştir. Ana ağa alternatif ağ olarak seçilen İA28 varsayımsal izleme ağına ait RMSE değeri ana ağa kıyasla %32 azalarak daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca Komasi ve Goudarzi (2021) Kavusi vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada ana ağa alternatif ağ olarak seçilen İA28 varsayımsal izleme ağı variogramlar, kriging haritaları, hata haritaları ve kriging hataları değerlendirilerek seçilmiştir.

Ana izleme ağı dahil 38 ağ için oluşturulan nokta sayısı ve hata değerlerinin gösterildiği grafikler Şekil 4.22,4.23, 4.24, 4.25 ve 4.26'da verilmiştir. Tüm izleme ağlarının hata grafiği incelendiğinde örnekleme nokta sayısının azaltılmasıyla birlikte;

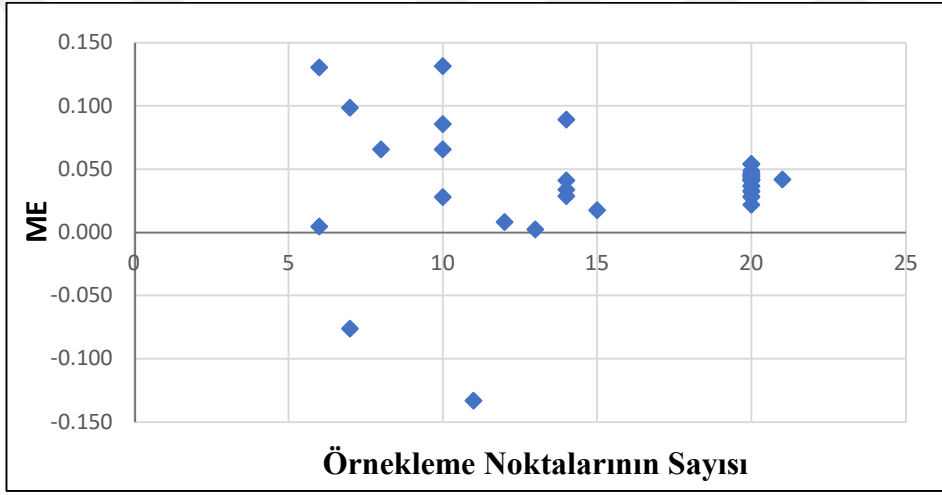
- Genellikle ASE değerlerinin artma eğiliminde olduğu görülmüştür.
- RMSSE değerlerinin genel olarak artma eğiliminde olduğu, ancak aynı sayıda nokta azaltımı yapılan bazı ağlarda RMSSE değerinin artarak 1'in üzerine çıktığı bazılarında ise RMSSE'nin daha düşük değer aldığı görülmüştür. Örneğin 32 ve 33 numaralı izleme ağları ana izleme ağından 15 nokta uzaklaştırılarak oluşturulmuştur. 32 numaralı varsayımsal izleme ağına ait RMSSE değeri 0.719, 33 numaralı izleme ağına ait RMSSE değeri ise 1.006'dır. ASE, ME, MSE ve RMSE değerlerinde de hataların aynı şekilde arttığı veya azaldığı görülmüştür.
- ME, MSE, RMSE değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.



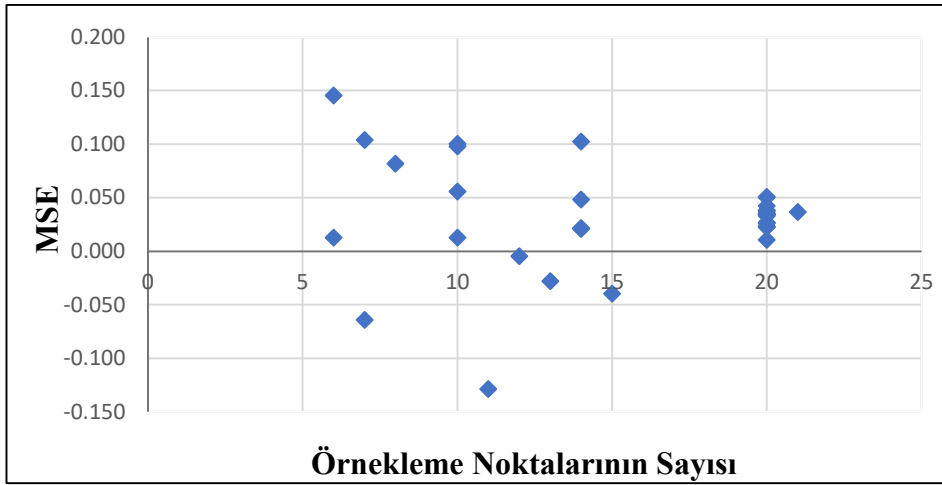
Şekil 4.22. Ortalama Kriging Standart Hatası (ASE) grafiği



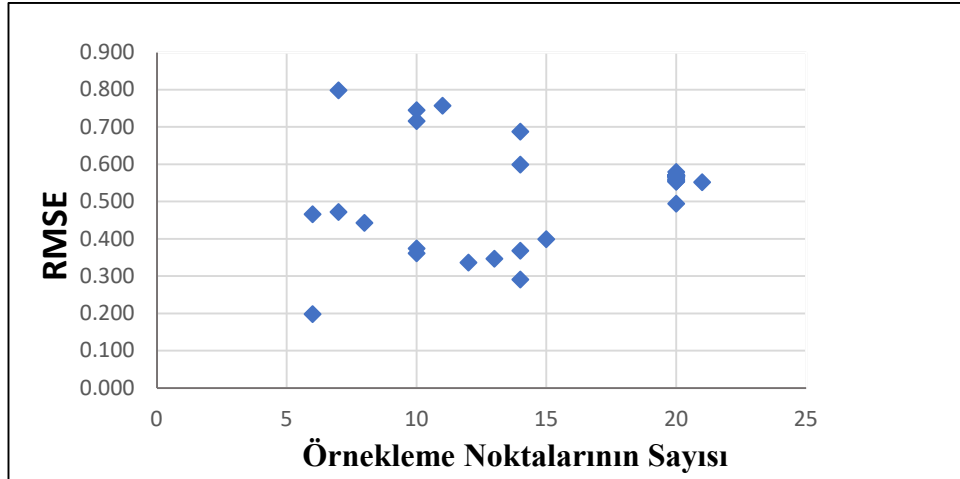
Şekil 4.23. Ortalama Karekök Standart Hata (RMSSE) grafiği



Şekil 4.24. Ortalama Hata (ME) grafiği



Şekil 4.25. Ortalama Standartlaştırılmış Hata (MSE) grafiği



Şekil 4.26. Ortalama Karekök Hata (RMSE) grafiği

4.4. Genel su kalitesinin değerlendirilmesi

Akdeniz Üniversitesi kampüsünde bulunan 21 adet yeraltı suyu kuyusundan alınan su numunelerine laboratuvar ortamında çözünmüş oksijen, oksijen doygunluğu, sıcaklık, pH, iletkenlik, bulanıklık ve nitrat analizleri yapılmıştır. Ülkemizde yeraltı sularının kalitesi, Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmeliğin Ek-2'sinde bulunan yeraltı suyu kalite standartları ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğin Ek-1'inde bulunan parametreler ve sınır değerleri ile değerlendirilmektedir. Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik'e göre yeraltı sularında izlenmesi gereken asgari izleme parametreleri; çözünmüş oksijen, pH, elektriksel iletkenlik, nitrat ve amonyumdur. Çalışma kapsamında alınan örneklerde amonyum dışındaki asgari izleme parametreleri incelenmiştir. Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te bulunan parametreler ve sınır değerler Çizelge 4.5, 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Yeraltı sularının kirlenmeye ve bozulmaya karşı korunması hakkında yönetmelik, yeraltı suyu kalite standartları ek-2

Kirletici	Kalite Standartları (mg/L)
Nitratlar	50

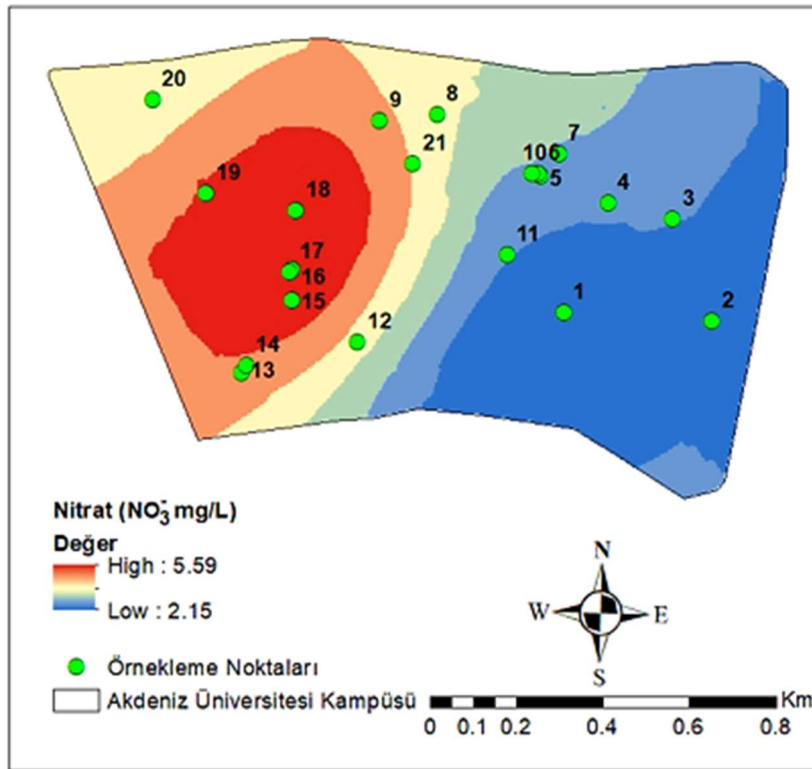
Çizelge 4.6. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, ek-1, kimyasal parametreler

Parametre	Parametrik değer	Birim
Nitrat	50	mg/L
Nitrit	0.50	mg/L

Çizelge 4.7. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, ek-1, gösterge parametreler

Parametre	Parametrik Değer	Birim	Notlar
İletkenlik	2500	20 °C’de $\mu\text{S}/\text{cm}$	Su aşındırıcı olmamalıdır.
pH	$\leq 9,5-6,5 \leq$	pH birimleri	Şişelere ya da kaplara konulan sular için minimum pH değeri 4.5 olarak belirlenebilir.
Bulanıklık	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok		Yüzeysel suyun arıtılması durumunda arıtılmış sudaki bulanıklığın 1.0 NTU (Nephelometrik bulanıklık ünitesi) değerini aşmaması gerekmektedir.

Akdeniz Üniversitesi kampüsünde bulunan 21 kuyudan alınan numunelerin analizinden elde edilen sonuçlar, nitrat konsantrasyonlarının 2.15–5.59 mg/L aralığında olduğunu ve ilgili yönetmeliklerde belirtilen 50 mg/L sınır değeri aşmadığını göstermiştir. Ana izleme ağı için oluşturulan nitrat tahmin haritası Şekil 4.27’de verilmiştir.

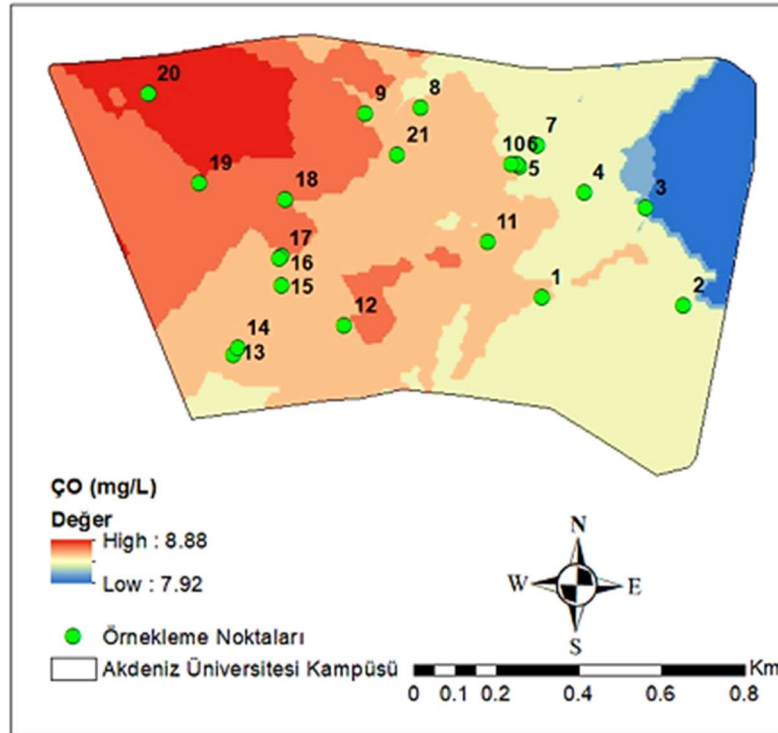


Şekil 4.27. Ana izleme ağı için oluşturulan nitrat tahmin haritası

Nitrat değerleri bütün kuyular arasında farklılık göstermektedir. En yüksek nitrat içeriğine sahip kuyu Eğitim Fakültesi’nde konumlanan 16 numaralı kuyudur. Bu noktada yeşillendirme çalışmalarında gübre kullanımına bağlı olarak veya nitrat içeriği yüksek olan bölgelerden yeraltı suyu akışı ile bu kuyuya taşınım sebebiyle nitrat yüksekliğine sebep olabileceği düşünülmektedir. Aynı durum 17. nokta olan İletişim Fakültesi ve 18. nokta olan Ziraat Fakültesi-Tavukhane kuyularında da mevcuttur. Her ne kadar

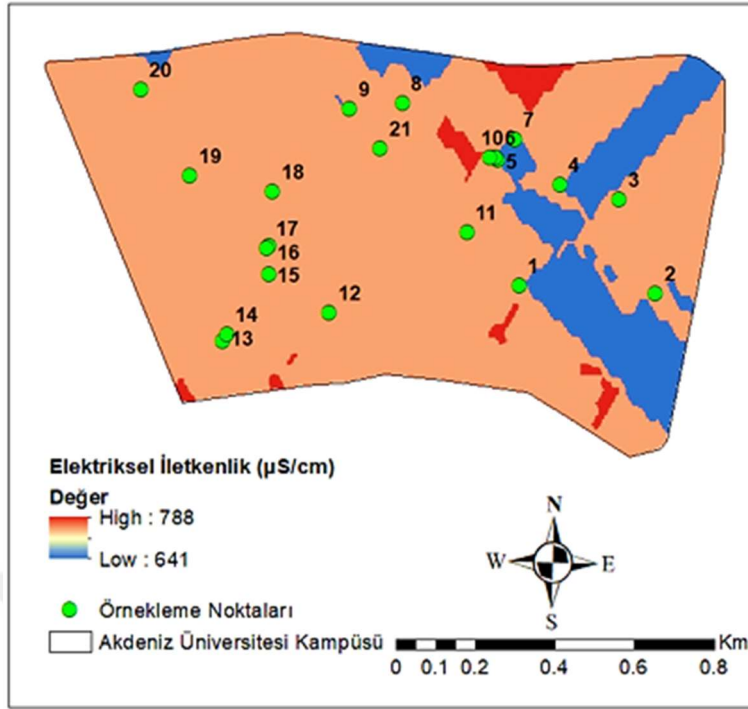
yönetmeliklerde belirtilen limit değerin altında olsa da çalışma alanı içerisinde nispeten daha yüksek nitrat konsantrasyonuna sahip örnekleme noktalarının Ziraat Fakültesi bünyesinde işletilen büyükbaş hayvancılığın yapıldığı hayvan barınağı, tavukhane, seracılık ve tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bölge ve etrafında toplandığı görülmüştür.

Çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik, ORP ve pH su kalitesini değerlendirmede kullanılabilecek en önemli parametrelerdir (Zhang 2022). Sulardaki çözünmüş oksijen (ÇO) seviyeleri ortamdaki fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal aktivitelere bağlıdır. Bütün kuyulardaki ÇO konsantrasyonları 7.92-8.88 aralığında olup birbirine oldukça yakındır. Bazı kuyularda ÇO konsantrasyonunun nispeten daha yüksek olmasının nedeni debinin diğer kuyulara göre yüksek oluşu ve numune alırken aşırı debi çıkışına bağlı olarak diğer numune alınan kuyulara göre yüksek havalanma oranıdır. Kampüs yeraltı suyu kuyularına ait ÇO tahmin haritası Şekil 4.28’de verilmiştir. Ülkemizde yeraltı suları için kullanılan yönetmeliklerde çözünmüş oksijen için belirlenen bir sınır değeri bulunmamaktadır.

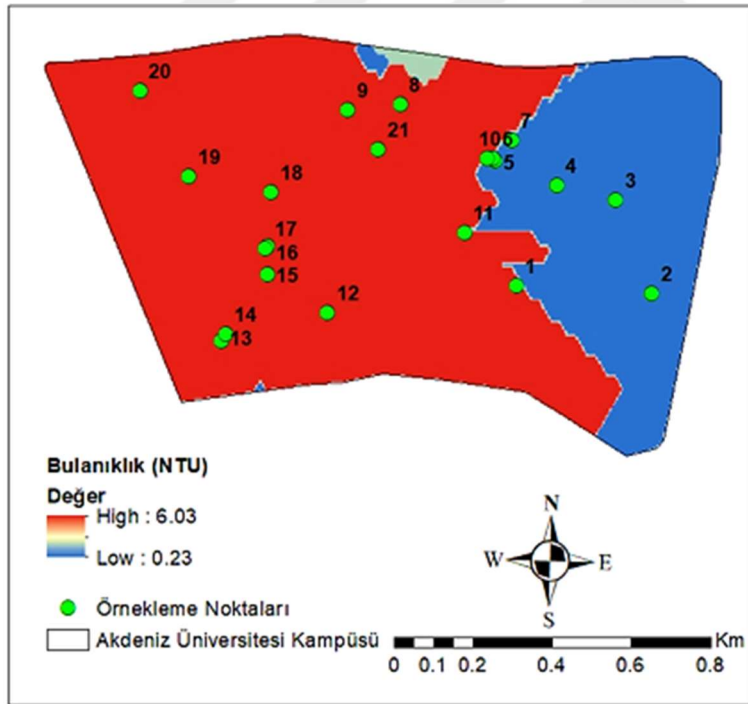


Şekil 4.28. Ana izleme ağı için oluşturulan ÇO tahmin haritası

Çalışma alanında ölçülen elektriksel iletkenlik değerlerine bakıldığında 641-788 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında olduğu görülmüştür. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Ek-1’de standart değer olan 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’e kadar izin verdiğinden ana izleme ağında bulunan tüm noktalar bu değerden düşüktür. Bulanıklık değerlerine bakıldığında ise 16. noktada bulunan eğitim fakültesinde ölçülen 6.03 NTU dışında diğer tüm örnekleme noktalarında bu değer 1’in altındadır (Şekil 4.30). Ana izleme ağı için oluşturulan elektriksel iletkenlik ve bulanıklık tahmin haritaları sırasıyla Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’da verilmiştir.



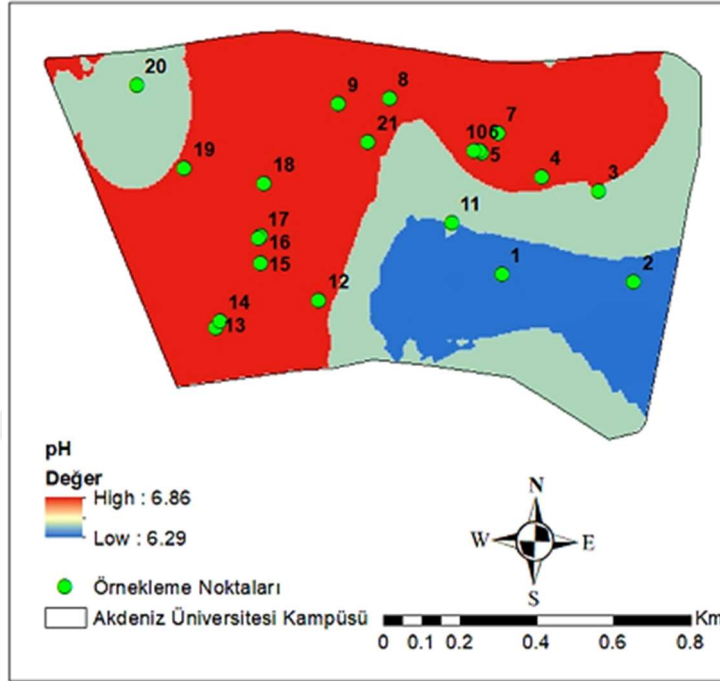
Şekil 4.29. Ana izleme ağı için oluşturulan elektriksel iletkenlik tahmin haritası



Şekil 4.30. Ana izleme ağı için oluşturulan bulanıklık tahmin haritası

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte pH değeri için 6.5-9.5 aralığı verilmiştir. Ana izleme ağındaki bulunan örneklem noktalarına ait pH değerleri 6.29-6.86 aralığında olup bazı noktalarda yönetmelikte verilen aralıktan düşüktür. pH su içerisindeki kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi ve biyolojik yaşamın devamı için

önemli bir faktördür. Uygun pH seviyesinin sağlanamadığı durumlarda hücrelerin gereken besinleri alması ve enerjiye dönüştürmesi zorlaşmaktadır. Ana izleme ağı için oluşturulan pH tahmin haritası Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. Ana izleme ağı için oluşturulan pH tahmin haritası

Kampüs içerisinde bulunan yeraltı suyu kuyularından çıkarılan suların insani tüketim amaçlı kullanımı için öncelikli olarak biyolojik analizler yapılmalıdır. Sadece fiziksel veya kimyasal parametreler tek başına su kalitesinin tam anlamıyla kullanım alanını belirlemede yetersizdir. Diğer taraftan aktif kuyulardan içme veya kullanma suyu temini söz konusu olduğundan, yeraltı suyu akış yönü belirlenmeli ve kampüs dışı kirlilik kaynakları da minimize edilmelidir.

5. SONUÇLAR

En temel ihtiyaçlarımızın başında yer alan su, insanlığın devamını her aşamada etkileyen ve tetikleyen bir unsurdur. Sadece vücudumuz için gerekli miktarın temin edilmesi için dahi sağlıklı ve kaliteli bir kaynağa ihtiyaç duyarız. Daha genel bir bakış açısı ile bakıldığında ise su, sağlık, sanayi ve tarım sektörü benzeri proseslerin çalışması ve sürekliliği için gereklidir. İnsan hayatının merkezinde yer alan suyun, kısıtlı olması veya tamamen ortadan kalkması durumunda birçok problemin yaşanması söz konusudur. Bu nedenle var olan kaynakların korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Genel su kaynakları yüzey ve yeraltı sularıdır. Yüzey suları yeraltı sularına göre çevresel olumsuzluklardan daha fazla etkilenmektedir. Bu nedenle yüzey sularının korunması için gereken tüm tedbirler alınmalıdır. Yeraltı suları, yer altından farklı derinliklerde çıkan veya farklı yöntemler kullanılarak çıkarılan sulardır. Ayrıca bu sular toprak ve kayaç yapısının sağladığı doğal koruyucu bir tabakaya sahip olduklarından, kirlenme ihtimalleri yüzey sularına göre daha düşüktür. Bu nedenle yeraltı suları genellikle insani tüketim amaçlı kullanılmaktadır. Örneğin yeraltı suları bakımından zengin bir il olan Antalya'da içme ve kullanma suyu ihtiyacı genellikle yeraltı sularından karşılanmaktadır. İzleme çalışmaları hem yüzey suları hem de yeraltı sularının kalite ve miktar bakımından takibi için oldukça önemlidir. Ancak geniş alanlara yayılan su kütlelerinin takibi için yapılan izleme çalışmaları oldukça uzun zamanı ve yüksek maliyeti beraberinde getirmektedir. Bu nedenle genel su kalitesini temsil eden ve yeterli örnekleme noktası ile oluşturulan izleme ağlarının bulunması çalışmayı yapan kişi ve kurum için zaman ve maliyet açısından oldukça faydalı olacaktır. Bu çalışmada genel su kalitesi, elde edilen su kalitesi parametrelerine ait analiz sonuçları ile ülkemizde kullanılan yönetmeliklerdeki sınır değerler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Akdeniz Üniversitesi kampüsünde bulunan yeraltı sularının genel su kalitesi bakımından yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür. Çalışmada genel su kalitesi değerlendirmesinde yönetmeliklerde belirtilen gösterge parametreler kullanılmıştır. Akdeniz Üniversitesi kampüs yeraltı sularının içme amaçlı kullanımına biyolojik analizler yapılarak karar verilmelidir.

Bu çalışmanın temel amacı, Akdeniz Üniversitesi merkez kampüs alanında bulunan ve aktif çalışan yeraltı suyu kuyularından oluşan ve örnekleme nokta sayısının minimize edildiği en uygun su kalitesi izleme ağının belirlenmesidir. Literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak Hiyerarşik kümeleme analizi ve sıradan kriging (OK) yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan istatistiksel yöntem hiyerarşik kümeleme analizidir. Hiyerarşik kümeleme yöntemi, örnekleme noktalarını benzer özelliklerine gruplandırarak kümeler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Tahmin yüzeyi oluşturulan varsayımsal izleme ağlarının değerlendirilmesinde variogramlar, kriging haritaları, hata haritaları ve kriging hataları kullanılmıştır. Ana izleme ağına ait variogramlar incelendiğinde mekânsal korelasyonun kaybedildiği mesafenin 1153.477 m olduğu görülmüştür. Tahmin yüzeyi oluşturularak elde edilen kriging haritasında ana izleme ağında bulunan ve yüksek nitrat konsantrasyonuna sahip olan 16, 17,18 ve 19 numaralı

örnekleme noktalarının aynı bölgede kümелendiği görülmüştür. Ana izleme ağı için oluşturulan kriging haritaları ve çapraz doğrulama sonuçları incelendiğinde, düşük nitrat konsantrasyonlarına sahip olan örnekleme noktalarının kampüsün orta kesimlerinden doğuya doğru yer aldığı görülmüştür. Daha yüksek nitrat konsantrasyonlarına sahip örnekleme noktalarının ise orta kesimden batıya doğru yer aldığı görülmüştür. Ana izleme ağı dahil 38 izleme ağına uygulanan kriging yöntemine ait sonuçlar incelendiğinde en uygun izleme ağı olarak ana izleme ağına benzer özellik gösteren ve örnekleme noktaları azaltılan İA28 varsayımsal izleme ağı seçilmiştir. Kriging analizleri sonucunda elde edilen haritaların kalitesi, ölçülen ve tahmin edilen değerler karşılaştırılmış ve genel olarak ölçüm değerleri ile tahmin değerlerinin benzediği görülmüştür. Ayrıca kriging haritaları ve hatalar olası kirletici kaynakları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, variogram modeli, kriging haritası, hata haritası ve hata ölçümleri incelendiğinde, kampüs yeraltı suyu kalitesinin mekânsal korelasyon yapısını korumak için 10 örnekleme noktasının gerekli olduğu görülmüştür.

İzleme ağı tasarımından elde edilen sonuçlar rastgele alınan örnekleme noktaları ile oluşturulan temsili izleme ağlarının, maliyet/performans bakımından maksimum fayda sağlamadığını göstermiştir. Bir su kütlesi için tasarlanan temsili su kalitesi izleme ağından maliyet/performans açısından maksimum faydanın sağlanması için kullanılan su kalitesi parametresinin mekânsal bağımlılığının göz ardı edilmemesi ve sistematik bir düzen ile çalışılması gereklidir. Bu bağlamda istatistiksel yöntemlerin kullanımı, verilerin analizi ve yorumlanmasının yanı sıra tahmin ve öngörü yaparak karar verme sürecini hızlandırmaya yardımcı olmaktadır. Jeostatistiksel yöntemlerinin kullanımı ise örnekleme noktalarının seçiminde mekânsal ilişkinin korunması ve daha düşük maliyetlerde temsili izleme ağlarının tasarlanmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler aşağıda verilmiştir;

- Tahmin kalitesinin artırılması amacıyla ana izleme ağının oluşturulduğu aşamada daha fazla örnekleme noktası belirlenmesi,
- Genel su kalitesine ait zamansal değişimlerin göz önünde bulundurulması amacıyla kullanılacak su kalite parametresinin farklı aylarda ve mevsimlerde ölçümlerinin sağlanması,
- Sıradan Kriging analizlerinin tek bir su kalite parametresi yerine farklı su kalite parametrelerinin tek bir sayı ile ifadesini mümkün kılan su kalite indeks değerleri kullanılarak tekrarlanması,
- Özellikle içme ve sulama amaçlı kullanılan sularda gübreler, böcek ilaçları ve endüstriyel kimyasallar benzeri gözle görülemeyecek kadar küçük olan mikro kirletici türlerinin belirlenmesi,
- Bu çalışma kapsamında ekonomik kısıtlamalar nedeniyle proplar ile sadece bazı fiziksel parametreler ölçülmüştür. Çalışmanın biyolojik veya kimyasal parametreler ile tekrarlanması halinde izleme ağını oluşturan örnekleme

noktalarının değişmesi olasıdır. Bu nedenle iyi bir izleme planı çerçevesinde izleme ağını oluşturan örnekleme noktalarında fiziksel, kimyasal ve biyolojik analizlerin düzenli bir şekilde yapılması,

- İzleme ağında bulunan örnekleme noktalarına ait güncel su kalitesi ve faaliyet durumunun düzenli takibinin ve değerlendirilmesinin yapılmasını mümkün kılan veri tabanının oluşturulması,
- Tüm mevsimlerde aynı noktaların temsili örnekleme noktaları olarak seçilip seçilmediğini görmek ve sıcak noktalardaki mevsimsel değişimleri belirlemek için su kalitesi parametrelerinin tüm mevsimlerde analizlerinin yapılması ve çalışmanın her mevsim için tekrarlanması,
- Farklı variogram modelleri ve kriging yöntemleri kullanılarak sonuçların karşılaştırılması.



6. KAYNAKLAR

- Abiriga, D., Vestgarden, L. S., Klempe, H. 2020. Groundwater contamination from a municipal landfill: Effect of age, landfill closure, and season on groundwater chemistry. *Science Of The Total Environment*, 737: 140307.
doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140307
- Aceves-De-Alba, J., J nez-Ferreira, H. E., Gonz lez-Trinidad, J., Cardona-Benav des A., Bautista-Capetillo, C. F. 2019. Methodology for the optimization of groundwater quality monitoring networks oriented to satisfy a specific spatial coverage. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(5): 10861-10882.
doi:10.15666/aeer/1705_1086110882
- Adhikary, P.P., Chandrasekharan, H., Chakraborty, D., Kamble, K., 2010. Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167(1–4): 599-615.
doi: 10.1007/s10661-009-1076-5
- AFAD Planlama ve Risk Azaltma Dairesi 2021. Antalya İl Afet Risk Azaltma Planı. Antalya Valiliđi, Antalya.
- Alizadeh, Z., Yazdi, J., & Moridi, A. 2018. Development of an entropy method for groundwater quality monitoring network design. *Environmental Processes*, 5(4): 769-788. doi:10.1007/s40710-018-0335-2
- Amil, A.,  il, A., Avcı P., Muhammetoğlu, A.,  zyurt, N. N. 2020. SINTACS y ntemi ile karstik ortamlarda yeraltı suyu duyarlılığının belirlenmesi: Altınova akiferi  rneđi. *Pamukkale  niversitesi M hendislik Bilimleri Dergisi*, 26(3): 559-571.
doi:10.5505/pajes.2019.14265
- Amiri, H., Azadi, S., Javadpour, S., Naghavi, A. A., Boczkaj, G. 2022. Selecting wells for an optimal design of groundwater monitoring network based on monitoring priority map: A Kish Island case study. *Water Resources and Industry*, 27: 100172.
doi: 10.1016/j.wri.2022.100172
- Anonim 1: <https://www.akdeniz.edu.tr/tanitim/> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- Anonim 2: <https://tr.hach.com/2100q-portatif-turbidimetre-epa/product-downloads?id=24930453022&callback=pf> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- Anonim 3: <https://tr.hach.com/quick.search-download.search.jsa?keywords=HQ40D> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- Anonim 4: <https://tr.hach.com/hq-serisi-hqd-olcum-cihazlar-intellical-problar/intellical-problar/family?productCategoryId=25117677512> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- Anonim 5: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/understanding-transformations-and-trends.htm> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].

- Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü 2018. Su Kaynakları. <https://www.asat.gov.tr/tr/tesisler/su-kaynaklari-4.html?CatID=1> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- Aydın, O. 2014. Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Kriging Yöntemiyle Belirlenmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara, 330 s.
- Barhate S.S. and Mudhalwadkar, R., 2021. Proton exchange membrane fuel cell fault and degradation detection using a coefficient of variance method. *Journal of Energy Systems*, 5(1): 20-34. doi: 10.30521/jes.817879
- Barnes, R. 2006 Variogram tutorial. Golden Software Inc. Retrieved from <http://www.goldensoftware.com/variogramTutorial.pdf>. [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- Bingül, B. 2019. Antalya, Olympos Antik Kenti Yeraltı suyu Akımı Modellemesi. Yüksek Lisans tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, 102 s.
- Bodrud, M. D., Islam, A. T., Ahmed, F., Das, S., Saha, N., Rahman, M. S. 2016. Characterization of groundwater quality using water evaluation indices, multivariate statistics and geostatistics in central Bangladesh. *Water science*, 30(1): 19-40. doi: 10.1016/j.wsj.2016.05.001
- Bouhout, S., Haboubi, K., Zian, A., Elyoubi, M. S., Elabdouni, A. 2022. Evaluation of two linear kriging methods for piezometric levels interpolation and a framework for upgrading groundwater level monitoring network in Ghiss-Nekor plain, north-eastern Morocco. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(10): 1016. doi:10.1007/s12517-022-10283-3
- Bursal, M. 2019. SPSS ile Temel Veri Analizleri. Anı Yayıncılık, Ankara, 309 s.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B, Novak, J.M., Parkin, T.B., Turco, R.F., Konopka, A.E. 1994 Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal* 58:1501–1511. doi:10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x
- Cameron, K., Hunter, P. 2002. Using spatial models and kriging techniques to optimize long-term ground-water monitoring networks: a case study. *Environmetrics: The official journal of the International Environmetrics Society*, 13(5-6): 629-656. doi:10.1002/env.582
- Cázares Escareño, J., Júnez-Ferreira, H. E., González-Trinidad, J., Bautista-Capetillo, C., Robles Rovelo, C. O. 2022. Design of Groundwater Level Monitoring Networks for Maximum Data Acquisition at Minimum Travel Cost. *Water*, 14(8): 1209. doi:10.3390/w14081209
- Chandan, K. S., Yashwant, B. K. 2017. Optimization of groundwater level monitoring network using GIS-based geostatistical method and multi-parameter analysis: a case study in Wainganga Sub-basin, India. *Chinese geographical science*, 27: 201-215. doi:10.1007/s11769-017-0859-9

- Chang, Y. H., Scrimshaw, M. D., Emmerson, R. H. C., Lester, J. N. 1998. Geostatistical analysis of sampling uncertainty at the Tollesbury Managed Retreat site in Blackwater Estuary, Essex, UK: Kriging and cokriging approach to minimise sampling density. *Science of the Total Environment*, 221(1): 43-57.
doi:10.1016/S0048-9697(98)00262-9
- Chao, Y., Hui, Q., Yuan, F., Hongying, W. 2011. Optimum design of groundwater level monitoring network in Yinchuan plain. *2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection*, p. 278-281 May, IEEE.
doi:10.1109/ISWREP.2011.5892999
- Charlier, J. B., Lachassagne, P., Ladouche, B., Cattani, P., Moussa, R., & Voltz, M. 2011. Structure and hydrogeological functioning of an insular tropical humid andesitic volcanic watershed: a multi-disciplinary experimental approach. *Journal of Hydrology*, 398(3-4): 155-170.
doi:/10.1016/j.jhydrol.2010.10.006
- Chien, Y.L., Lee, D.Y., Guo, H.Y., Houng, K.H. 1997. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. *Soil science*.162:291-297.
doi: 10.1097/00010694-199704000-00007
- Çelik, H. C., Satıcı, Ö., Çelik, M. Y. 2005. Sağlık Personellerinde kronik sigara içme alışkanlığı olanların tutumlarına ilişkin değişkenlerin kümeleme analizi (Cluster Analysis). *Dicle Tıp Dergisi*, 32(1): 20-25.
- Çil, A., Muhammetoglu, A., Ozyurt, N. N., Yenilmez, F., Keyikoglu, R., Amil, Muhammetoglu A., Muhammetoglu, H. 2020. Assessment of groundwater contamination risk with scenario analysis of hazard quantification for a karst aquifer in Antalya, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79: 1-14.
doi: 10.1007/s12665-020-08932-5
- Daughney, C. J., Raiber, M., Moreau-Fournier, M., Morgenstern, U., Van der Raaij, R. 2012. Use of hierarchical cluster analysis to assess the representativeness of a baseline groundwater quality monitoring network: comparison of New Zealand's national and regional groundwater monitoring programs. *Hydrogeology journal*, 20(1): 185-200.
doi: 10.1007/s10040-011-0786-2
- Dhar, A., & Patil, R. S. 2012. Multiobjective design of groundwater monitoring network under epistemic uncertainty. *Water resources management*, 26(7): 1809-1825.
doi: 10.1007/s11269-012-9988-1
- Diaz, V., Corzo, G., and Pérez, J. R. 2019. Large-scale exploratory analysis of the spatiotemporal distribution of climate projections: applying the STRIVIng toolbox. In *Spatiotemporal analysis of extreme hydrological events Elsevier*, pp.59-76.
- Dinçer, E. 2006. Veri Madenciliğinde K-Means Algoritması ve Tıp Alanında Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 101 s.

- Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the council of 23 October 2000; establishing a framework for Community action in the field of water policy, Water Framework Directive, OJ (2000) L327/1.
- Ekmekçi, M., Açıkel, Ş. 2021. Eklenik Sapma Yaklaşımı ile Türetilen Yağış-Seviye İlişkisinden Yeraltı suyu Beslenimi Tahmin Modeli: Gazipaşa (Antalya) Ovası Akiferi Örneği. *Yerbilimleri*, 42(1): 144-178.
doi: 10.17824/yerbilimleri.899989
- Emerson, R. W. 2015. Causation and Pearson's Correlation Coefficient. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 109(3): 242–244.
doi: 10.1177/0145482X15109003
- Goovaerts, P. 1997. Applied Geostatistics Series. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press. New York, pp. 3-483.
- Pörtner, H.O., Roberts, D.C. M., Tignor, E.S., Poloczanska, K. Mintenbeck, A., Alegria, Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama, B. vd. 2022. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
[Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- Hartwig, F. and Dearing, B. E. 1979. Exploratory data analysis. Quantitative Applications in the Social Science. Sage University Paper Vol.16. Newbury Park, pp.5-7.
- He, Y., Hu, K. L., Huang, Y. F., Li, B. G., Chen, D. L. 2010. Analysis of the anisotropic spatial variability and three-dimensional computer simulation of agricultural soil bulk density in an alluvial plain of north China. *Mathematical and Computer Modelling*, 51(11-12): 1351-1356.
doi: 10.1016/j.mcm.2009.11.011
- Hossain, M. G., Selim Reza, A. H. M., Lutfun-Nessa, M. S. T., Ahmed, S. S. 2013. Factor and cluster analysis of water quality data of the groundwater wells of Kushtia, Bangladesh: implication for arsenic enrichment and mobilization. *Journal of the Geological Society of India*, 81: 377-384.
doi: 10.1007/s12594-013-0048-0
- Hosseini, M., Kerachian, R. 2019. Improving the reliability of groundwater monitoring networks using combined numerical, geostatistical and neural network-based simulation models. *Hydrological Sciences Journal*, 64(15), 1803-1823.
doi: 10.1080/02626667.2019.1676429
- Hosseini, M., Kerachian, R. 2017. A bayesian maximum entropy-based methodology for optimal spatiotemporal design of groundwater monitoring networks. *Environmental monitoring and assessment*, 189: 1-24.
doi: 10.1007/s10661-017-6129-6

- Hosseini-marandi, H., Mahdavi, M., Ahmadi, H., Motamedvaziri, B., Adelpur, A. 2014. Assessment of groundwater quality monitoring network using cluster analysis, Shib-Kuh Plain, Shur Watershed, Iran. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(06): 618.
doi: 10.4236/jwarp.2014.66060
- Houlong, J., Daibin, W., Xu, C., Shuduan, L., Hongfeng, W., Yang, C., Geng, L. 2016. Comparison of kriging interpolation precision between grid sampling scheme and simple random sampling scheme for precision agriculture. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(1): 62-73.
doi: 10.18393/ejss.2016.1.062-073
- Houlding, S. W. 1994. 3D Geoscience Modeling, Computer Techniques for Geological Characterization. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 309 p.
- In partnership with Marsh & McLennan Companies and Zurich Insurance Group World Economic Forum, 2019. The Global Risks Report 2019 14th Edition. Geneva, Switzerland. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- In partnership with Marsh & McLennan Companies and Zurich Insurance Group World Economic Forum. 2022. The Global Risks Report 2022 17th Edition. Geneva, Switzerland. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- Izady, A., Abdalla, O., Ahmadi, T., Chen, M. 2017. An efficient methodology to design optimal groundwater level monitoring network in Al-Buraimi region, Oman. *Arabian Journal of Geosciences*, 10: 1-14.
doi: 10.1007/s12517-016-2802-2
- Júnez-Ferreira, H. E., Herrera, G. S., González-Hita, L., Cardona, A., Mora-Rodríguez, J. 2016. Optimal design of monitoring networks for multiple groundwater quality parameters using a Kalman filter: application to the Irapuato-Valle aquifer. *Environmental monitoring and assessment*, 188: 1-22.
doi: 10.1007/s10661-015-5036-y
- Kavusi, M., Khashei Siuki, A., Dastourani, M. 2020. Optimal design of groundwater monitoring network using the combined Election-Kriging method. *Water Resources Management*, 34: 2503-2516.
doi: 10.1007/s11269-020-02568-7
- Kaya, Ö.A 2019. Investigation Of The Origin Of Groundwater In Altınova (Antalya) Aquifer With Environmental Tracer And Hydrochemistry Techniques. Yüksek Lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 88s.
- Kaynarca, M., Demir, N., San, B. T. 2020. Yeraltı Suyu Kaynaklarının Uzaktan Algılama ve CBS Teknikleri Kullanarak Modellenmesine Yönelik bir Yaklaşım: Kırkgöz Havzası (Antalya). *Geomatik*, 5(3): 241-245.
doi: 10.29128/geomatik.649221

- Kim, G. B., Son, Y. C., Hwang, C. I. 2022. Determination of new national groundwater monitoring sites using artificial neural network model in South Korea. *Geosciences Journal*, 26(4): 513-528.
doi: 10.1007/s12303-021-0044-0
- Komasi, M., Goudarzi, H. 2021. Multi-objective optimization of groundwater monitoring network using a probability Pareto genetic algorithm and entropy method (case study: Silakhor plain). *Journal of Hydroinformatics*, 23(1): 136-150.
doi: 10.2166/hydro.2020.061
- Lachassagne, P., Dewandel, B. & Wyns, R. 2021. Review: Hydrogeology of weathered crystalline/hard-rock aquifers—guidelines for the operational survey and management of their groundwater resources. *Hydrogeology Journal*, 29: 2561–2594.
doi: 10.1007/s10040-021-02339-7
- Leach, J. M., Coulibaly, P., Guo, Y. 2016. Entropy based groundwater monitoring network design considering spatial distribution of annual recharge. *Advances in water resources*, 96: 108-119.
doi: 10.1016/j.advwatres.2016.07.006
- Maiti, P., Mitra, D. 2022. Ordinary kriging interpolation for indoor 3D REM. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-15.
doi: 10.1007/s12652-022-03784-2
- Masimalai, P. 2014. Remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) as the applied public health and environmental epidemiology. *Int J Med Sci Public Health*, 3(12): 1430.
doi: 10.5455/ijmsph.2014.081020141
- Miran, B. 2021. Temel İstatistik: Genişletilmiş Baskı. İzmir, 364 s.
- Mirzaie-Nodoushan, F., Bozorg-Haddad, O., Loáiciga, H. A. 2017. Optimal design of groundwater-level monitoring networks. *Journal of Hydroinformatics*, 19(6): 920-929.
doi: 10.2166/hydro.2017.044
- Mohamed, A. M. O., & Antia, H. E. 1998. Geoenvironmental engineering. Elsevier Science B. V., 706 p.
- Morgenthaler, S. 2009. Exploratory data analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 1(1): 33-44.
doi: 10.1002/wics.2
- Myers, J., Dindal, A., Willenberg, Z., Riggs, K., Pennington, P., Fulton, M., Scott, G. 2003. Environmental Technology Verification Report. ETV Advanced Monitoring Systems Center. YSI Incorporated 6600 EDS Multi-Parameter Water Quality Probe/Sonde. Battelle. Columbus.
- Nunes, L. M., Paralta, E., Cunha, M. C., Ribeiro, L. 2004. Groundwater nitrate monitoring network optimization with missing data. *Water Resources Research*, 40(2).

doi: 10.1029/2003WR002469

Olea, R. A. (1991). Geostatistical Glossary and Multilingual Dictionary. Oxford University Press, New York, Oxford, 177 p.

Ouyang, Y., Higman, J., Campbell, D., Davis, J. 2003. Three-Dimensional Kriging Analysis of Sediment Mercury Distribution: A Case Study. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(3): 689–702.

doi: 10.1111/j.1752-1688.2003.tb03685.x

Ozden, T., Muhammetoglu, H. 2008. Predicting Nitrogen Concentration in Groundwater Beneath Unsewered Areas: Case Study of Liman Region in Antalya, Turkey. *Environmental Forensics*, 9(2-3): 240-245.

doi: 10.1080/15275920802122890

Vupa, Ö., Alma, Ö. G. 2008. Regresyon Analizinde Kullanılan En Küçük Kareler ve En Küçük Medyan Kareler Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, *Fen Dergisi*, 3(2): 219-229.

doi: 10.29233/sdufeffd.134658

Samani, S., Kardan Moghaddam, H. 2022. Optimizing groundwater level monitoring networks with hydrogeological complexity and grid-based mapping methods. *Environmental Earth Sciences*, 81(18): 453.

doi: 10.1007/s12665-022-10569-5

Sarı C. ve Koçak İ. 2012. Düünden Bugüne Antalya Kitabı Cilt I. 2.Bölüm Coğrafi Durum. T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı. Antalya İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. Antalya.

Segura, A., Leonardo, J. (2010). Optimisation Of Monitoring Networks For Water Systems: Information Theory, Value Of Information And Public Participation. Doctoral Thesis. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, 185 p.

Sensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y., Balta, İ., Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2008. Türkiye İklimi. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. Ankara.

Narany, S., T., Ramli, M. F., Fakharian, K., Aris, A. Z., Sulaiman, W. N. A. 2015. Multi-objective based approach for groundwater quality monitoring network optimization. *Water Resources Management*, 29: 5141-5156.

doi: 10.1007/s11269-015-1109-5

Shi, J., Wang, H., Xu, J., Wu, J., Liu, X., Zhu, H., Yu, C. 2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China. *Environmental Geology*, 52: 1-10.

doi: 10.1007/s00254-006-0443-6

Shiker, M. A. 2012. Multivariate statistical analysis. *British Journal of Science*, 6(1): 55-66.

Şenel M. 1997. 1:250 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:4, Isparta Paftası. MTA Yayınları. Ankara.

- T.C İç İşleri Bakanlığı Nüfus ve Vatandaşlık İşleri Genel Müdürlüğü. Türkiye İstatistik Kurumu 2023. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. Yıllara Göre İl Nüfusları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2022> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- T.C Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri 2019. Toprak ve Su Kaynakları. <https://www.dsi.gov.tr> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- T.C. Akdeniz Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı 2022. Kampüs Vaziyet Planı. Antalya. https://yapi.akdeniz.edu.tr/tr/kampus_vaziyet_plani-2270
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2023. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. İklim ve Ziraî Meteoroloji Dairesi Başkanlığı, Araştırma Dairesi Başkanlığı. 2022 Yılı İklim Değerlendirmesi. Ankara.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2023. Resmi İstatistikler. İllere Ait Mevsim Normalleri. <https://www.mgm.gov.tr> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2023. Yerbilimleri Harita Görüntüleyici. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi. Proje Nihai Raporu.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı 2018. Antalya Havzası Kuraklık Yönetim Planı. Nihai Rapor. Ankara. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler> [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı 2018. Antalya Havzası Kuraklık Yönetim Planı. Nihai Rapor. Ankara. [Son Erişim Tarihi: 28.03.2023].
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü 2019.
- Tekin, A. 2017. Temel İstatistik Dersleri. Eğitim Yayınevi. İzmir, 212 s.
- Triki, L., Zairi, M., Dhia, H.B. 2013. A geostatistical approach for groundwater head monitoring network optimisation: case of the S fax superficial aquifer (Tunisia). *Water and Environment Journal*, 27(3): 362-372.
doi: 10.1111/j.1747-6593.2012.00352.x
- Ünal, O., Gökçeğlu, M. 2003. Akdeniz Üniversitesi Kampus Florası, Antalya. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2): 143-154.
- Tuan, P., V., Zhou, Y., Stigter, T., Van Tuc, D., Hai, D. H., Vuong, B. T. 2022. Design of preliminary groundwater monitoring networks for the coastal Tra Vinh province in Mekong Delta, Research Square, Vietnam.
doi: 10.1016/j.ejrh.2023.101425
- Varouchakis, E. A., Hristopulos, D. T., Karatzas, G. P., Corzo Perez, G. A., Diaz, V. 2021. Spatiotemporal geostatistical analysis of precipitation combining ground and satellite observations. *Hydrology Research*, 52(3): 804-820.

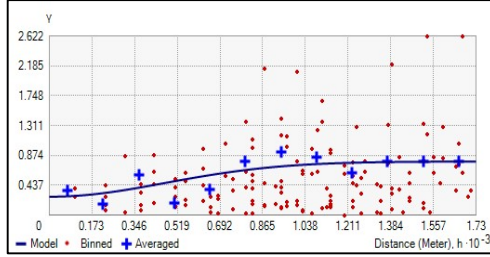
doi: 10.2166/nh.2021.160

- Wackernagel, H. 2003. Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications. Springer Science and Business Media, 388p.
- Wani, A.M.L. 2019. Visual Modflow Programı Kullanılarak Karstik Akiferlerdeki Yeraltı suyu Kaynaklarının Yönetimi Altınova-Türkiye Örnek Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 100 s.
- Webster, R., Oliver, M. A. 2007. Geostatistics for environmental scientists. 2nd. Edition. John Wiley & Sons. British Library, United Kingdom, London, 336 p.
- Xiong, Y., Luo, J., Liu, X., Liu, Y., Xin, X., Wang, S. 2022. Machine learning-based optimal design of groundwater pollution monitoring network. *Environmental Research*, 211: 113022.
- doi: 10.1016/j.envres.2022.113022
- Yalçın, N. 2013. Kümeleme Analizi ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ, 55 s.
- Yang, F. G., Cao, S. Y., Liu, X. N., & Yang, K. J. 2008. Design of groundwater level monitoring network with ordinary kriging. *Journal of Hydrodynamics*, 20(3): 339-346.
- doi: 10.1016/S1001-6058(08)60066-9
- Yeh, M. S., Lin, Y. P., & Chang, L. C. 2006. Designing an optimal multivariate geostatistical groundwater quality monitoring network using factorial kriging and genetic algorithms. *Environmental Geology*, 50(1): 101-121.
- doi: 10.1007/s00254-006-0190-8
- Yenilmez, F. 2014. Spatial Data Analysis For Monitoring And Prediction Of Selected Water Quality Parameters In Reservoirs: Porsuk Dam Reservoir Case. Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 217 s.
- Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 7 Nisan 2012 Tarih ve 28257 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 22 Mayıs 2015 Tarih ve 29363 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Yousefi, H., Jamal Omid, M., Moridi, A., Sarang, A. 2021. Groundwater monitoring network design using optimized DRASTIC method and capture zone analysis. *International Journal of Environmental Research*, 15(5): 807-817.
- doi: 10.1007/s41742-021-00348-8
- Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik, 11 Şubat 2014 Tarihli ve 28910 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Zhang, D., Wang, P., Cui, R., Yang, H., Li, G., Chen, A., & Wang, H. 2022. Electrical conductivity and dissolved oxygen as predictors of nitrate concentrations in shallow groundwater in Erhai Lake region. *Science of the Total Environment*, 802: 149879. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149879

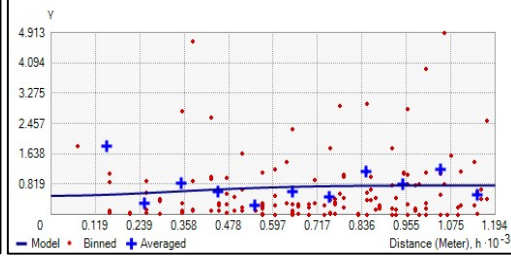
7. EKLER

EK 1: 38 izleme ağına ait variogramlar

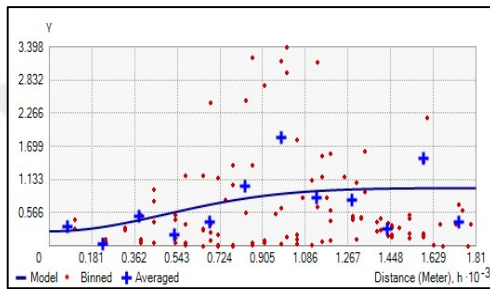
Ana ağı



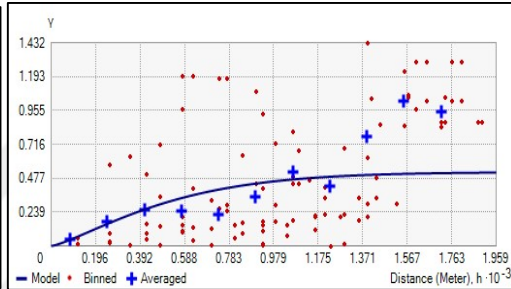
İA2



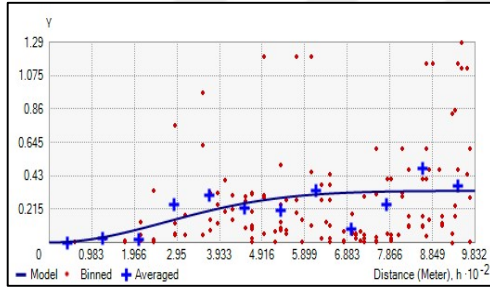
İA3



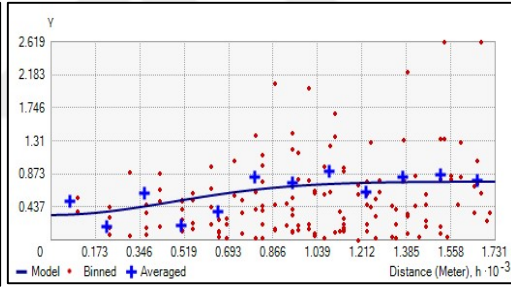
İA4



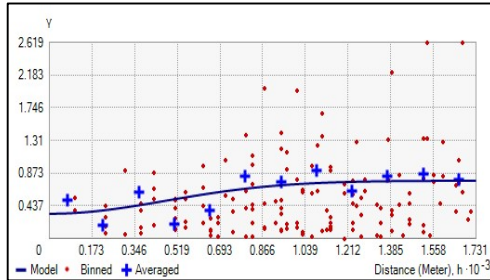
İA5



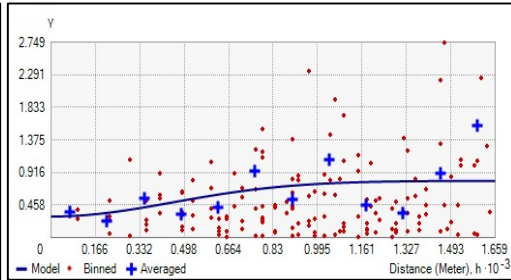
İA6



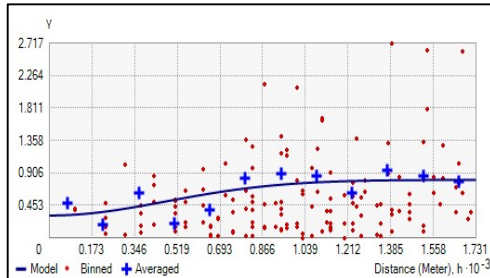
İA7



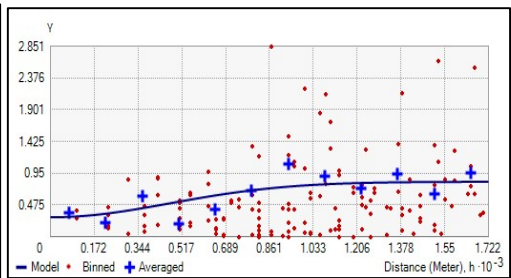
İA8



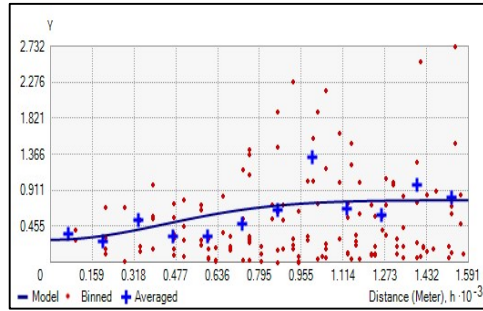
İA9



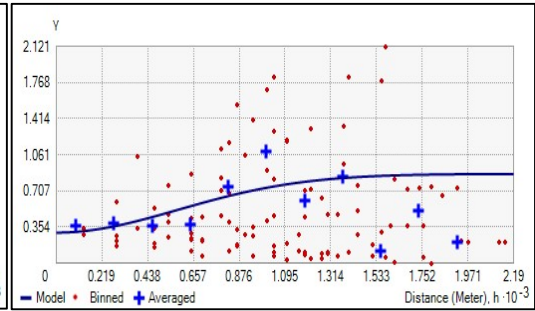
İA10



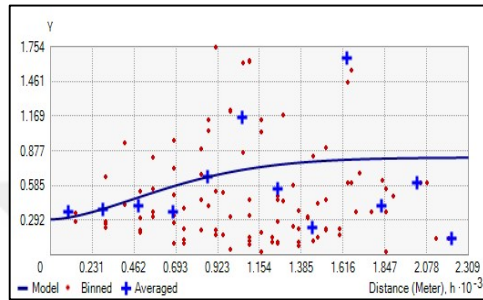
İA11



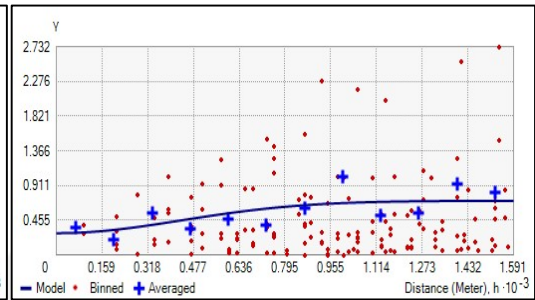
İA12



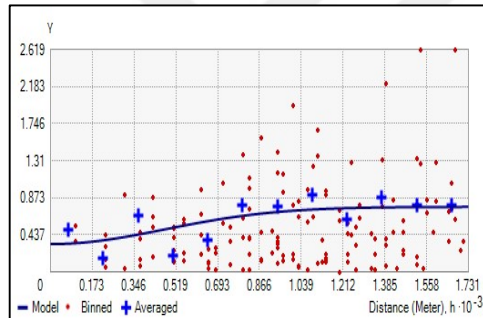
İA13



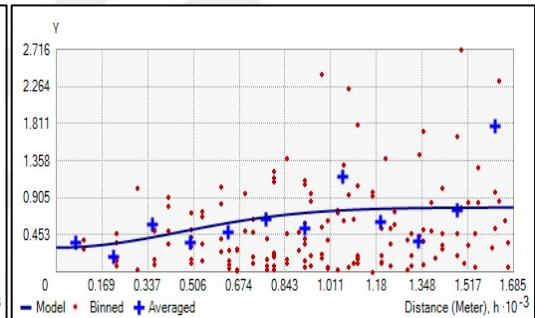
İA14



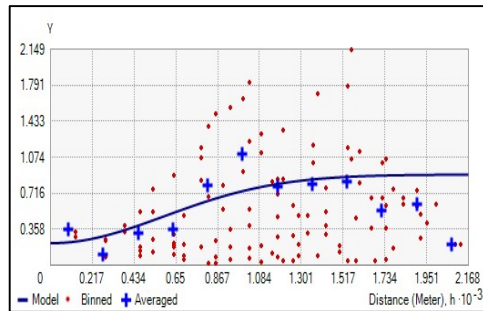
İA15



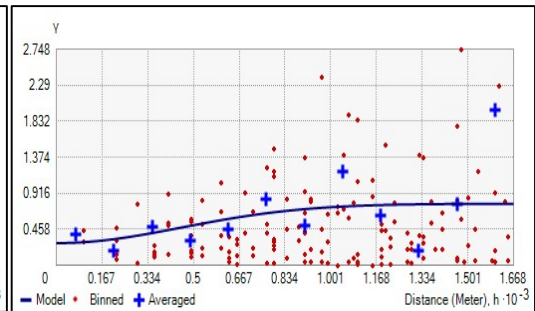
İA16



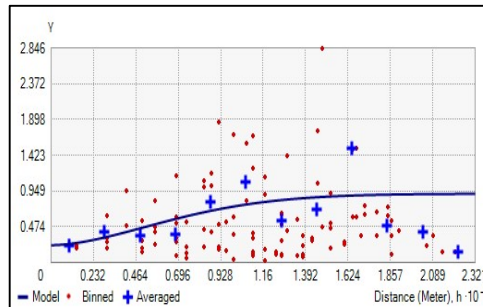
İA17



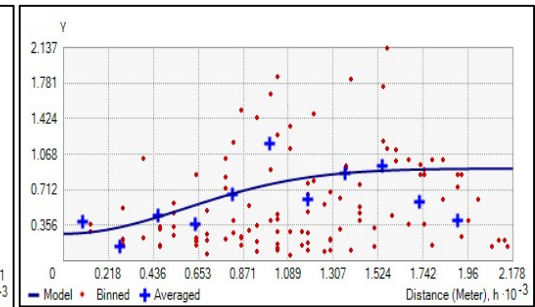
İA18



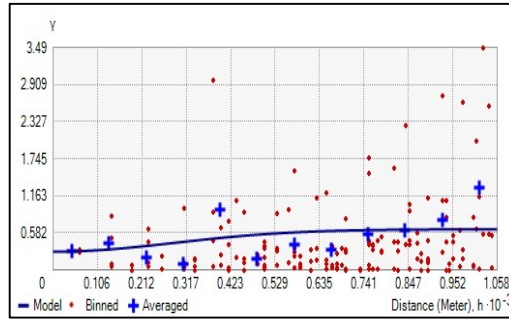
İA19



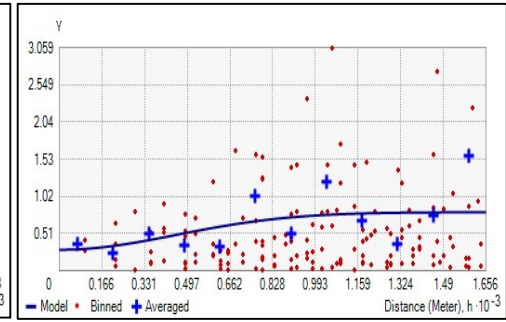
İA20



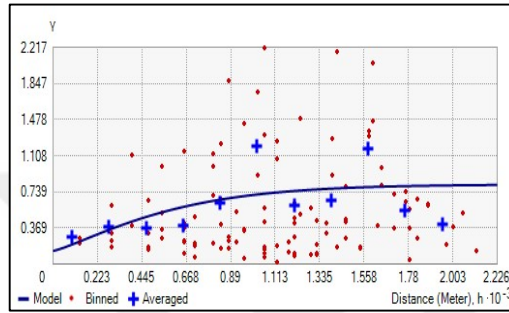
İA21



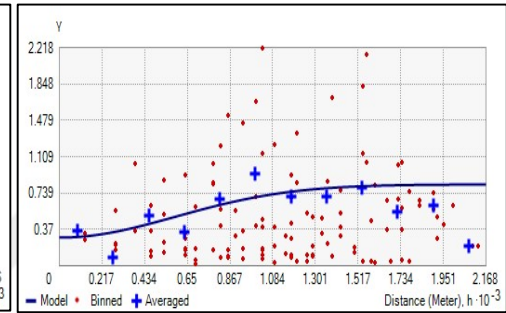
İA22



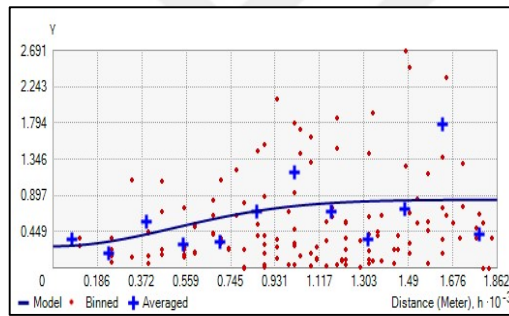
İA23



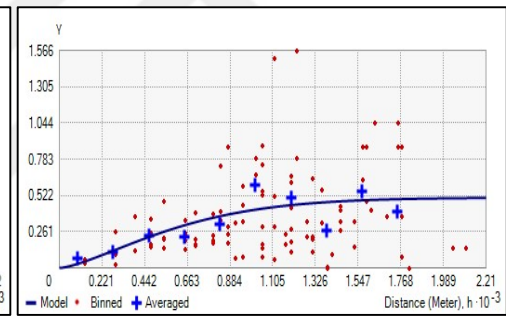
İA24



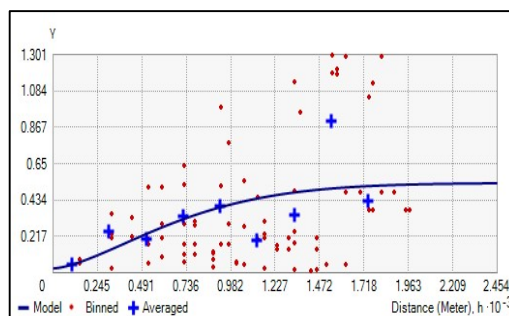
İA25



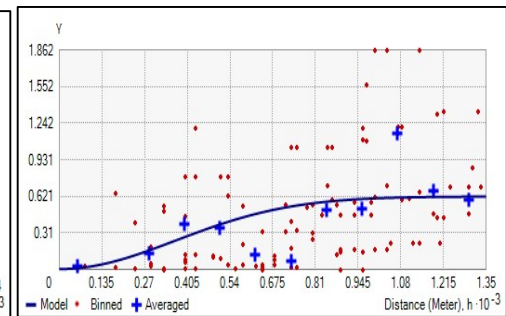
İA26



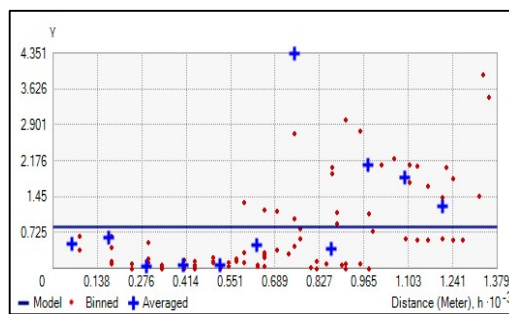
İA27



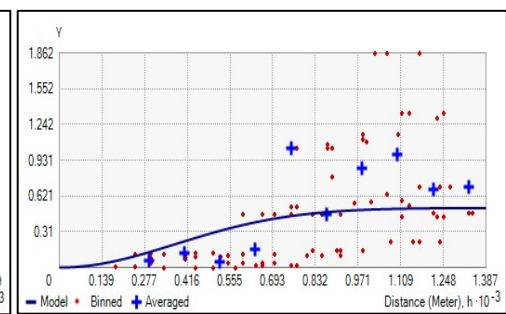
İA28



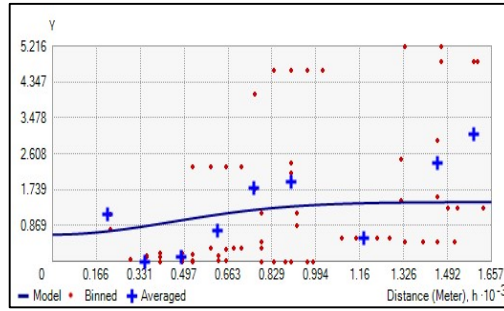
İA29



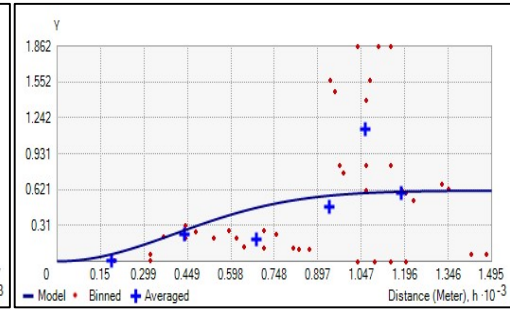
İA30



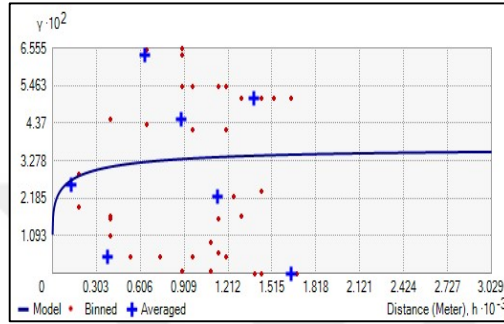
İA31



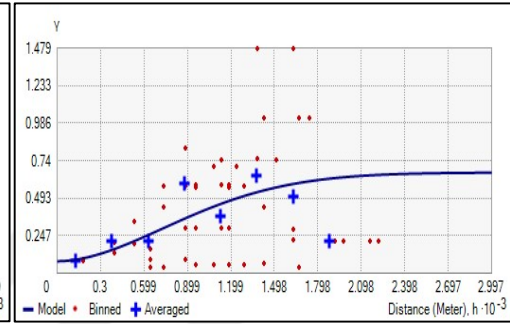
İA32



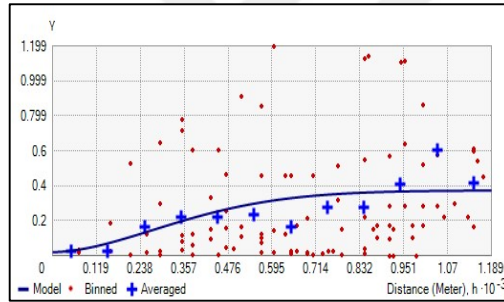
İA33



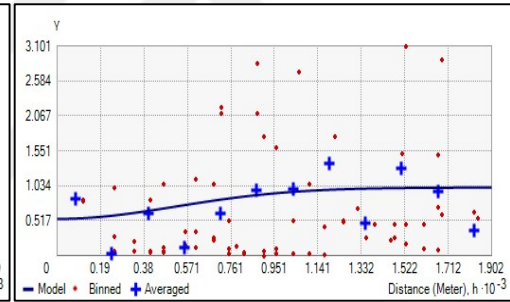
İA34



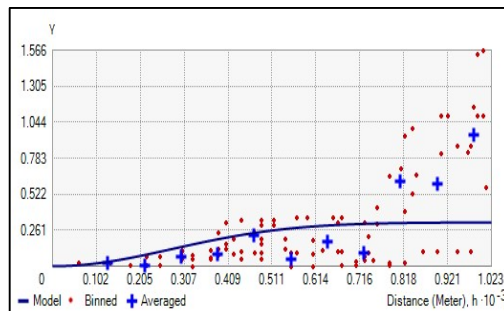
İA35



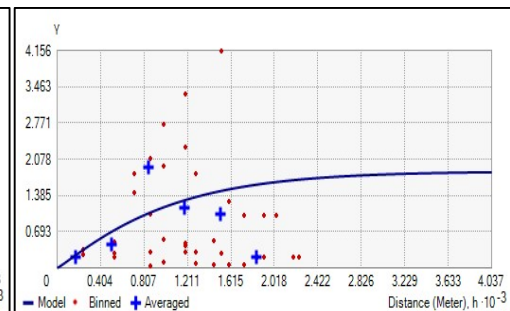
İA36



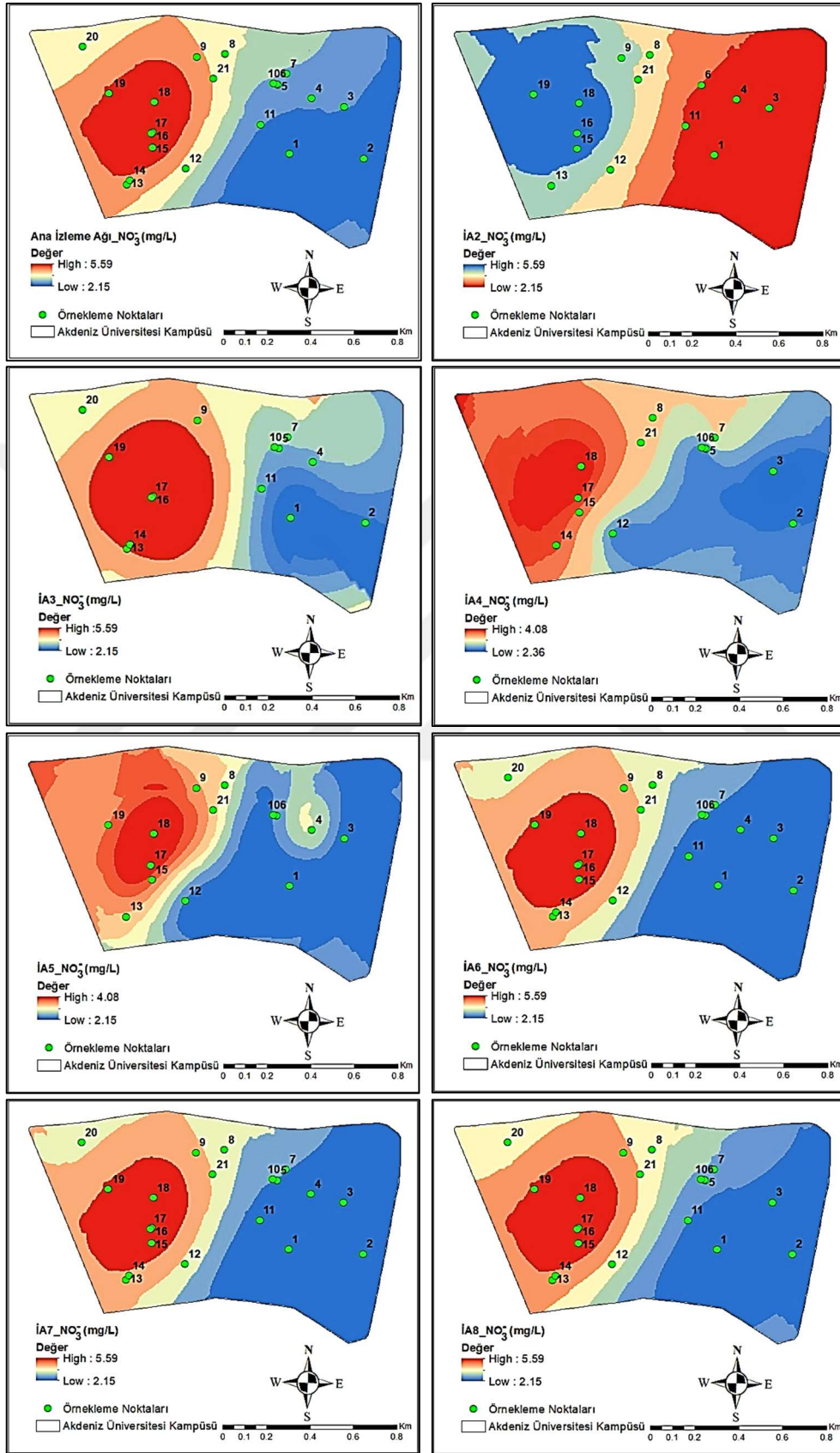
İA37

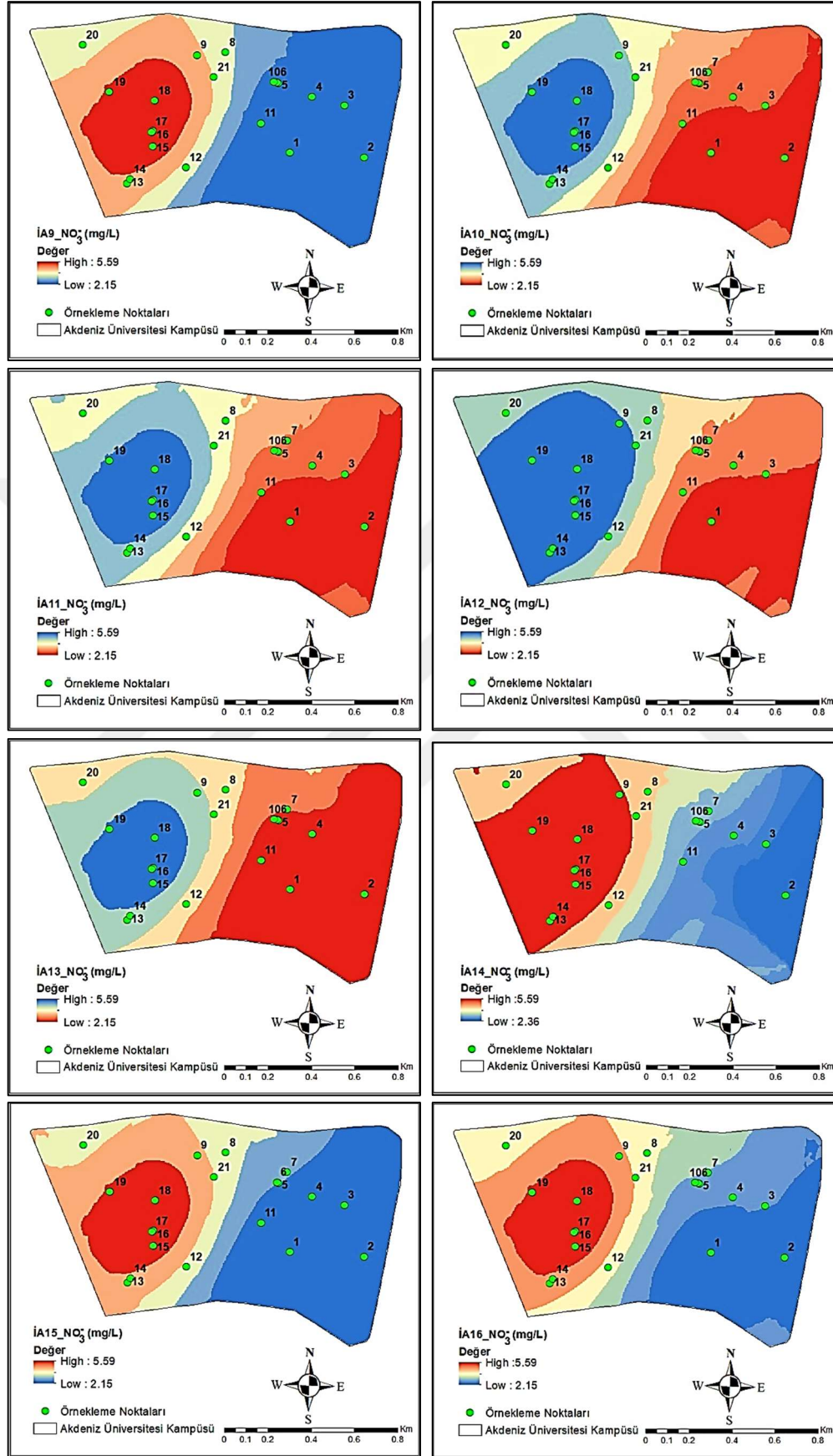


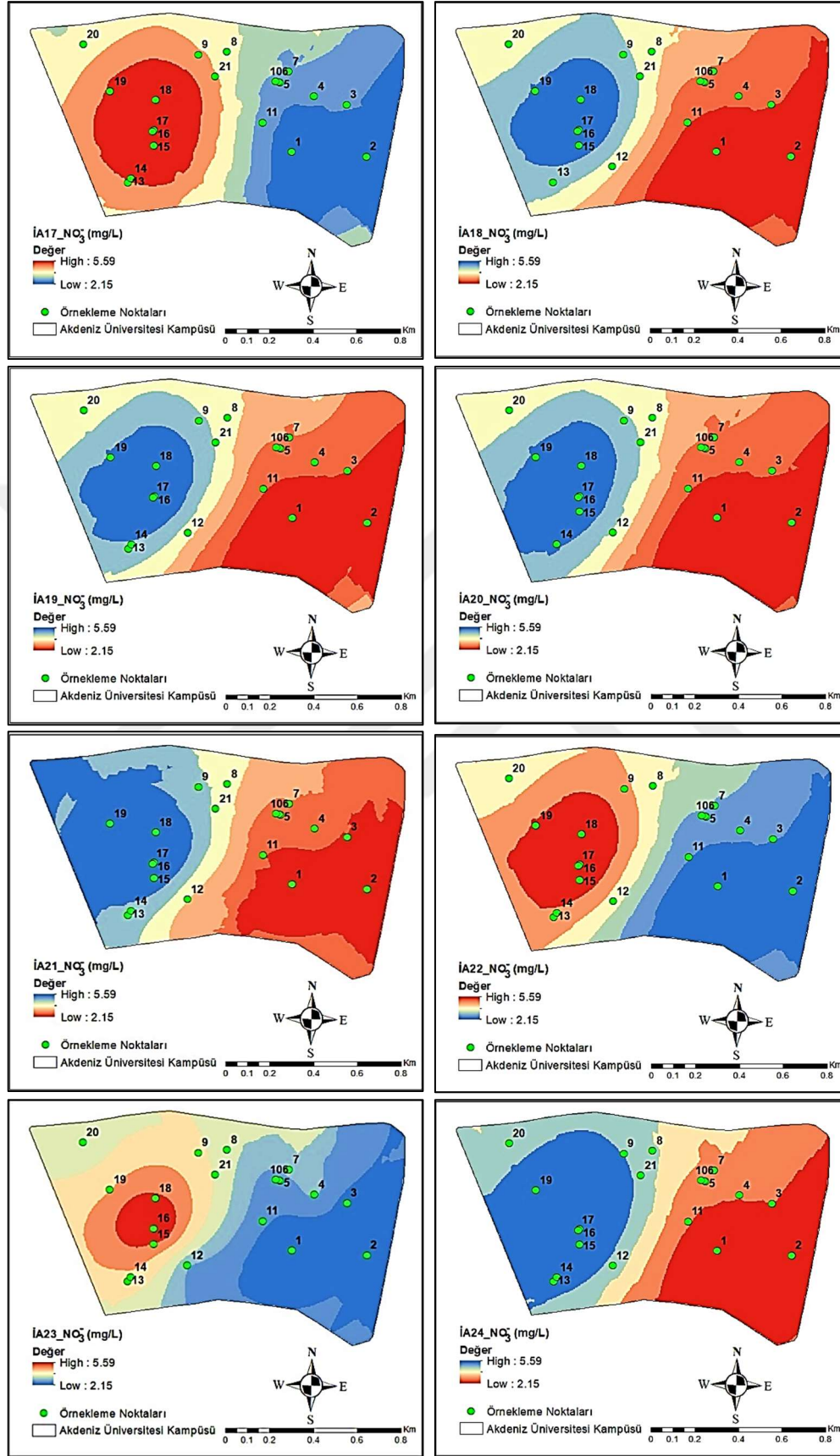
İA38

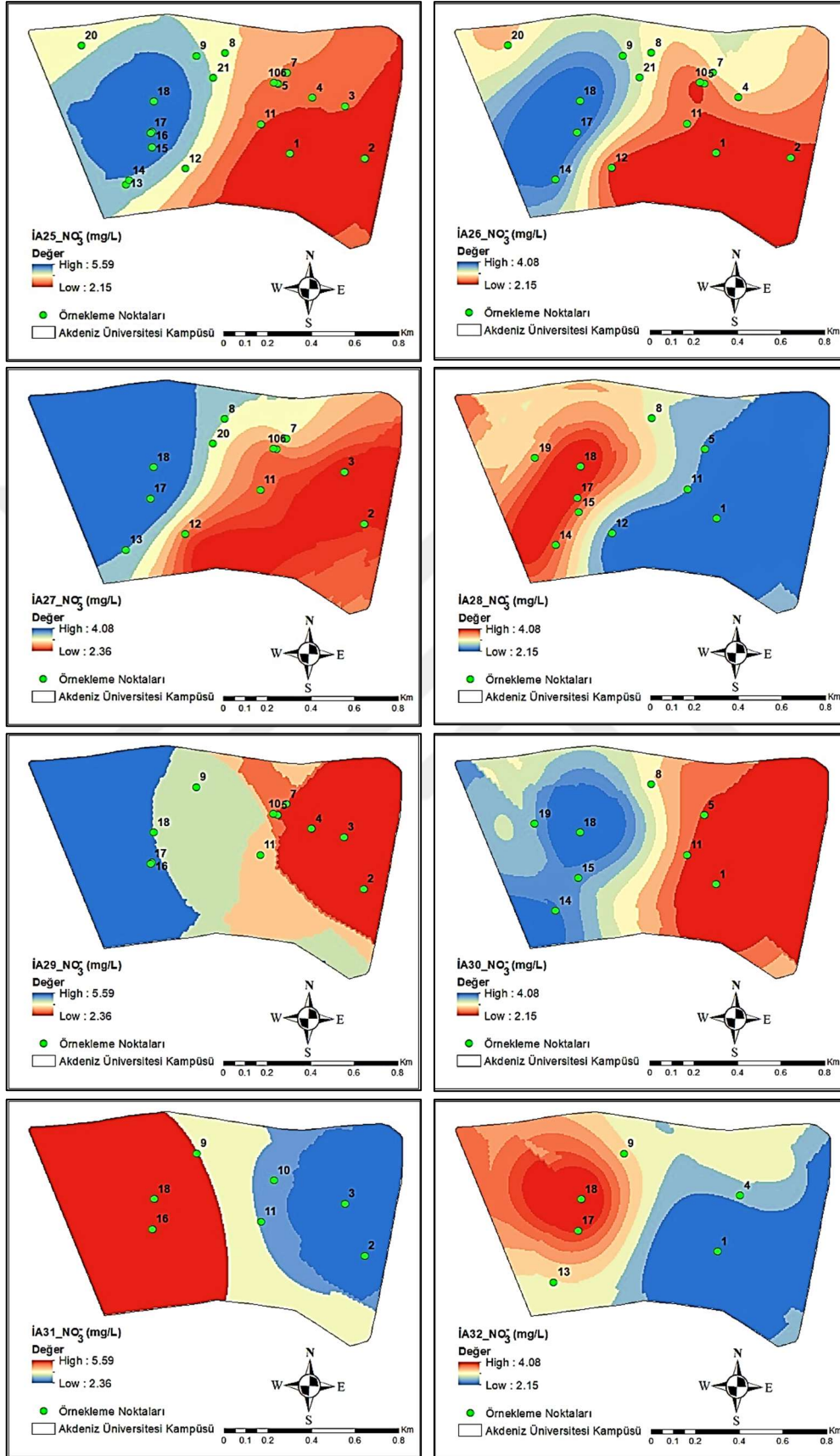


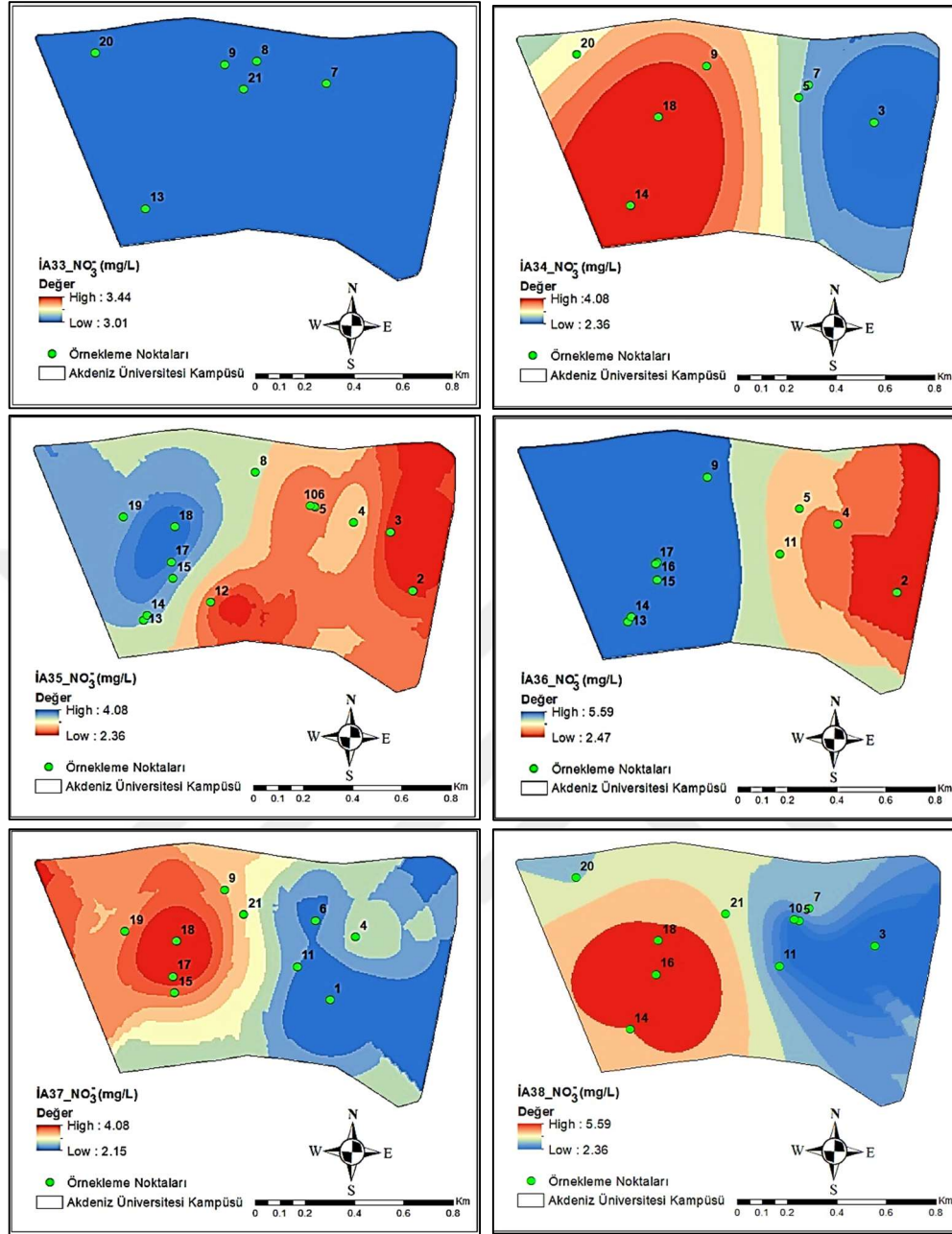
EK 2: 38 izleme ağında nitrat için oluşturulan kriging haritaları



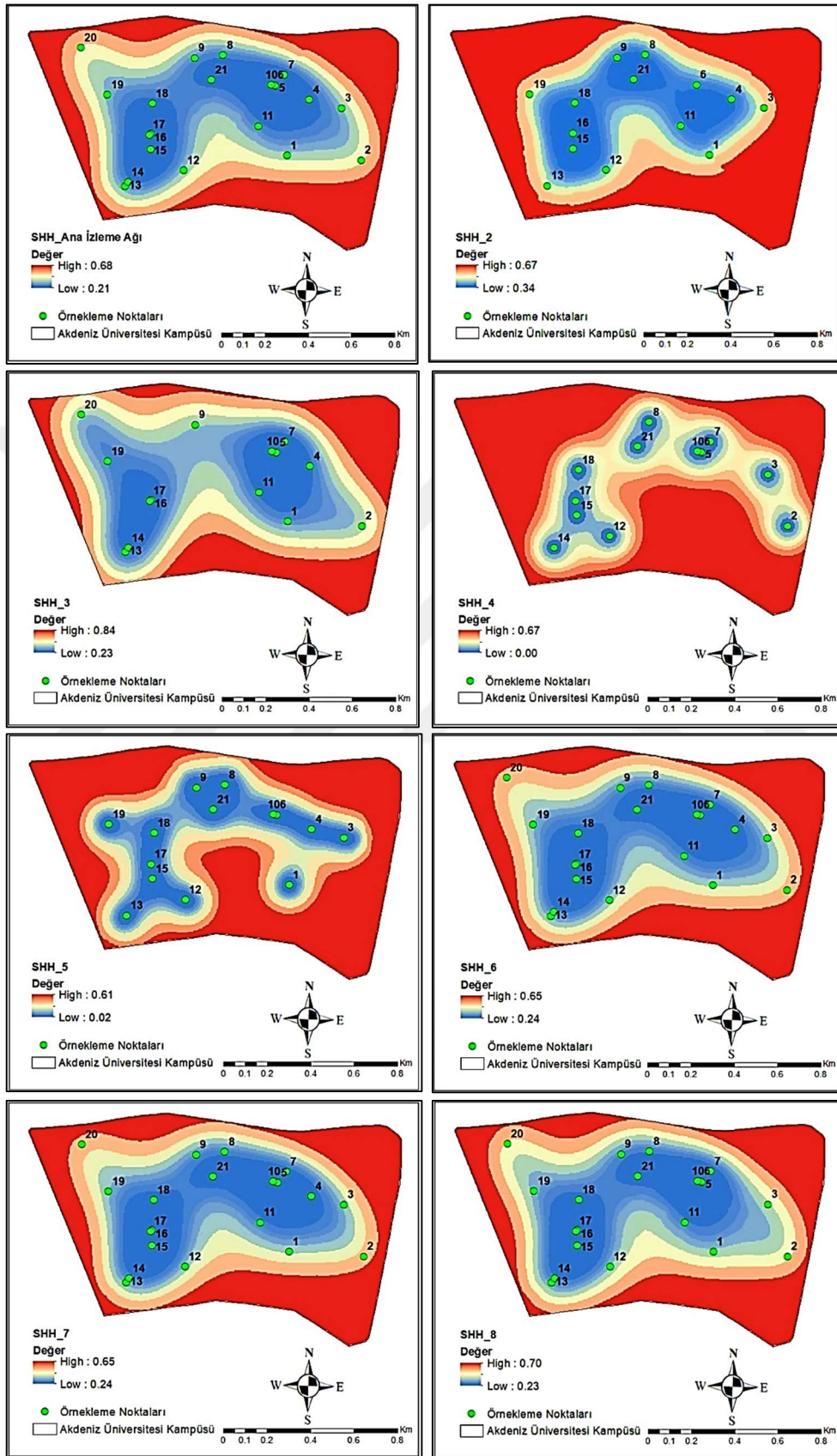


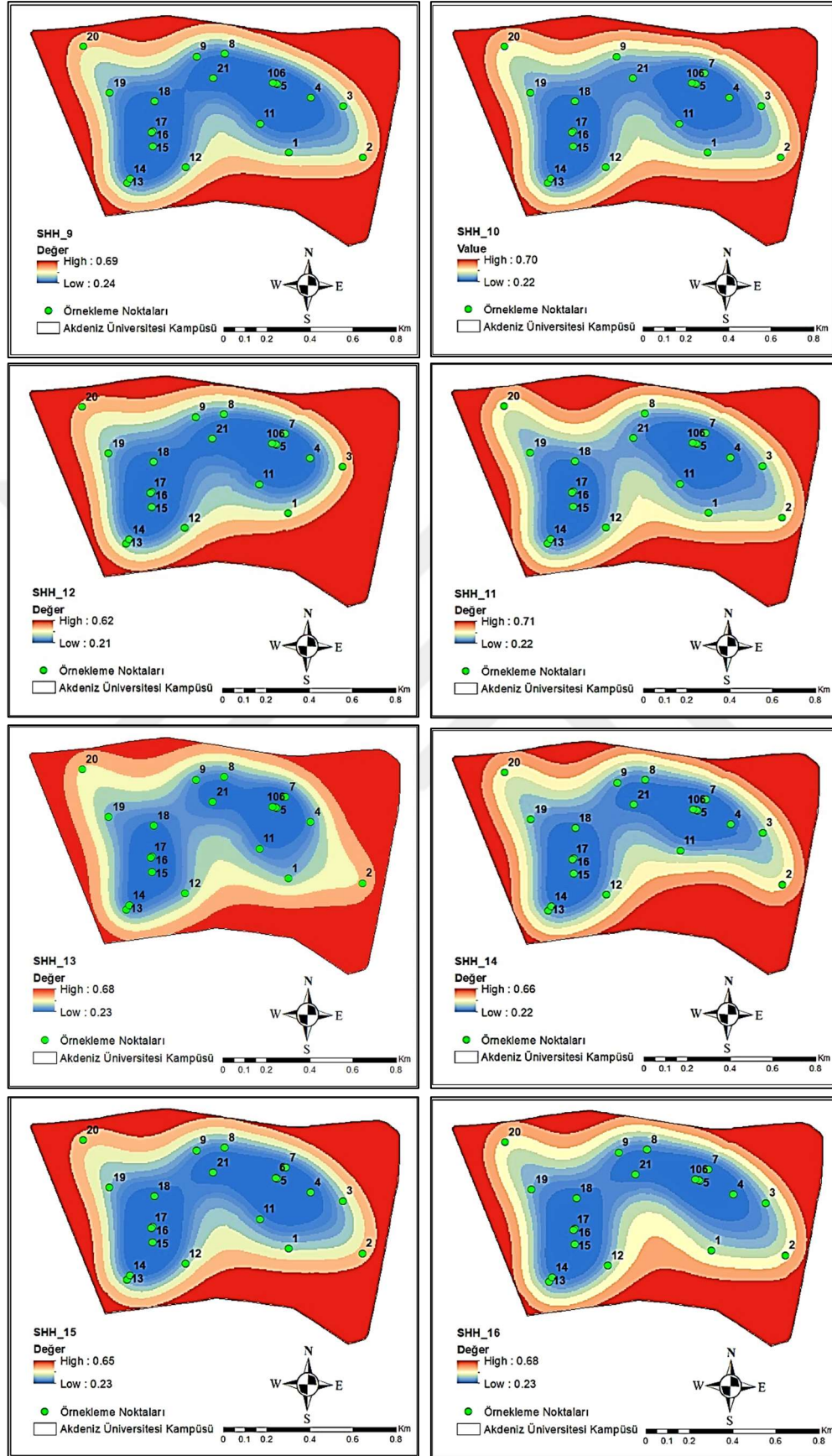


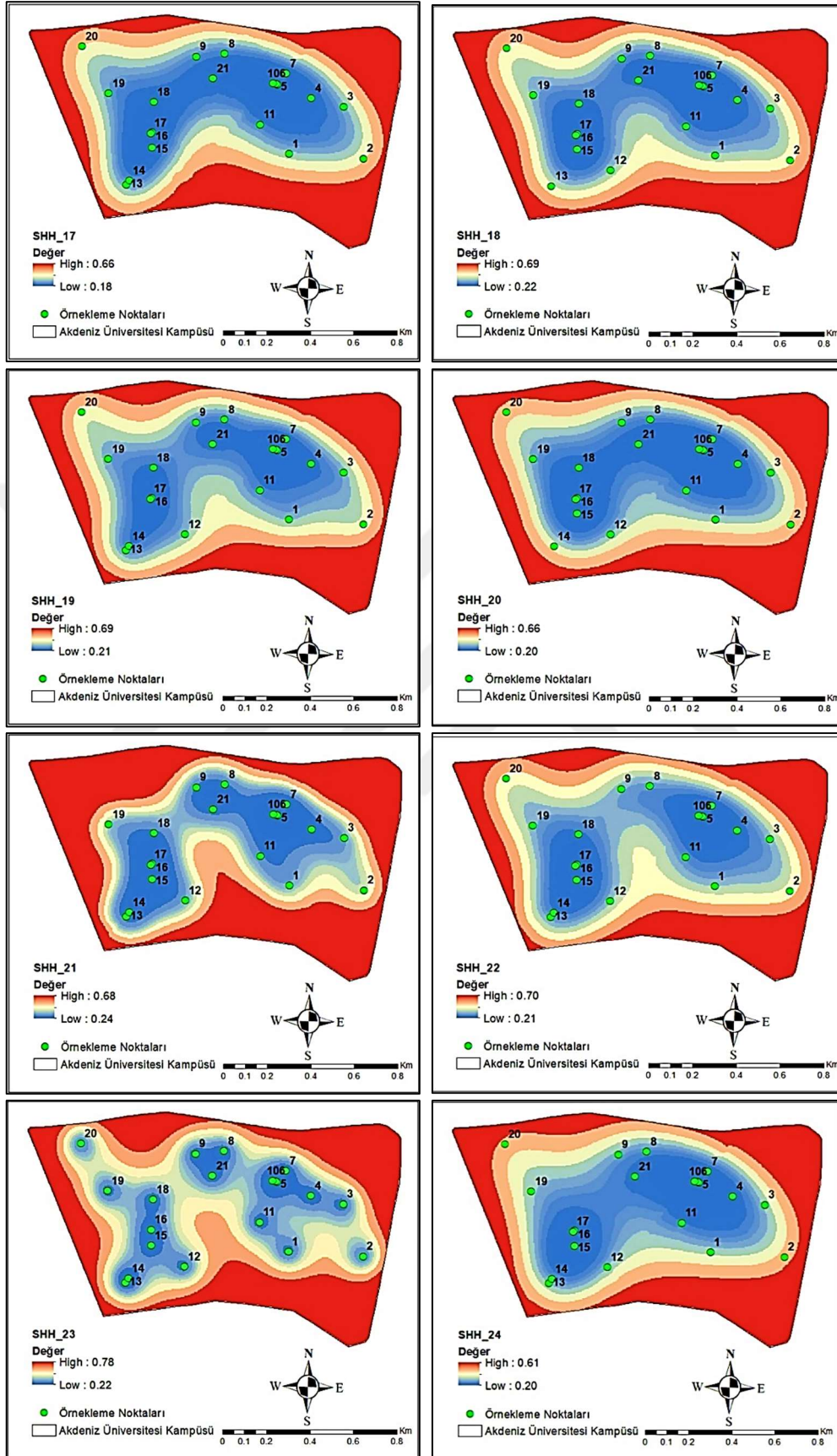


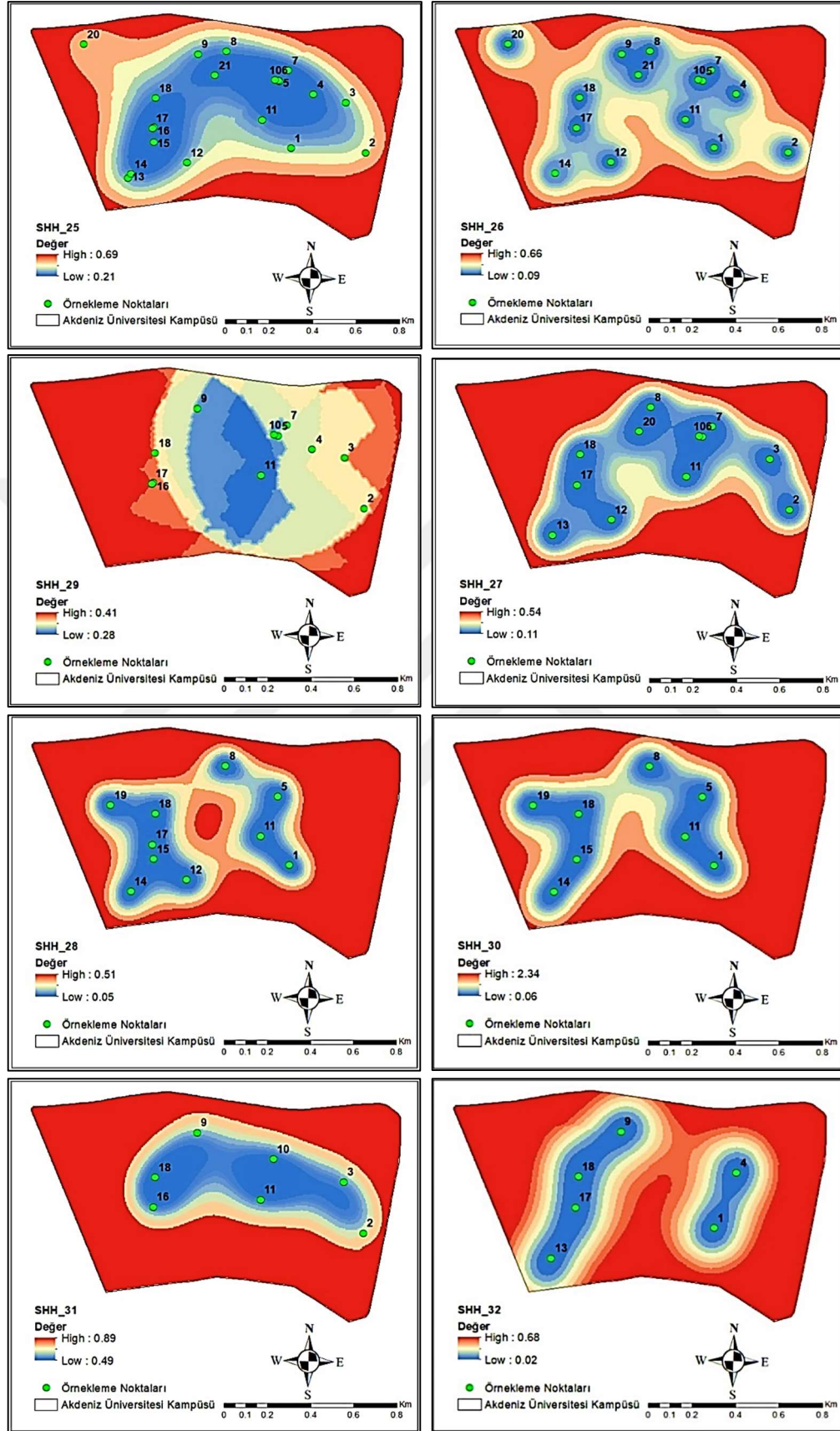


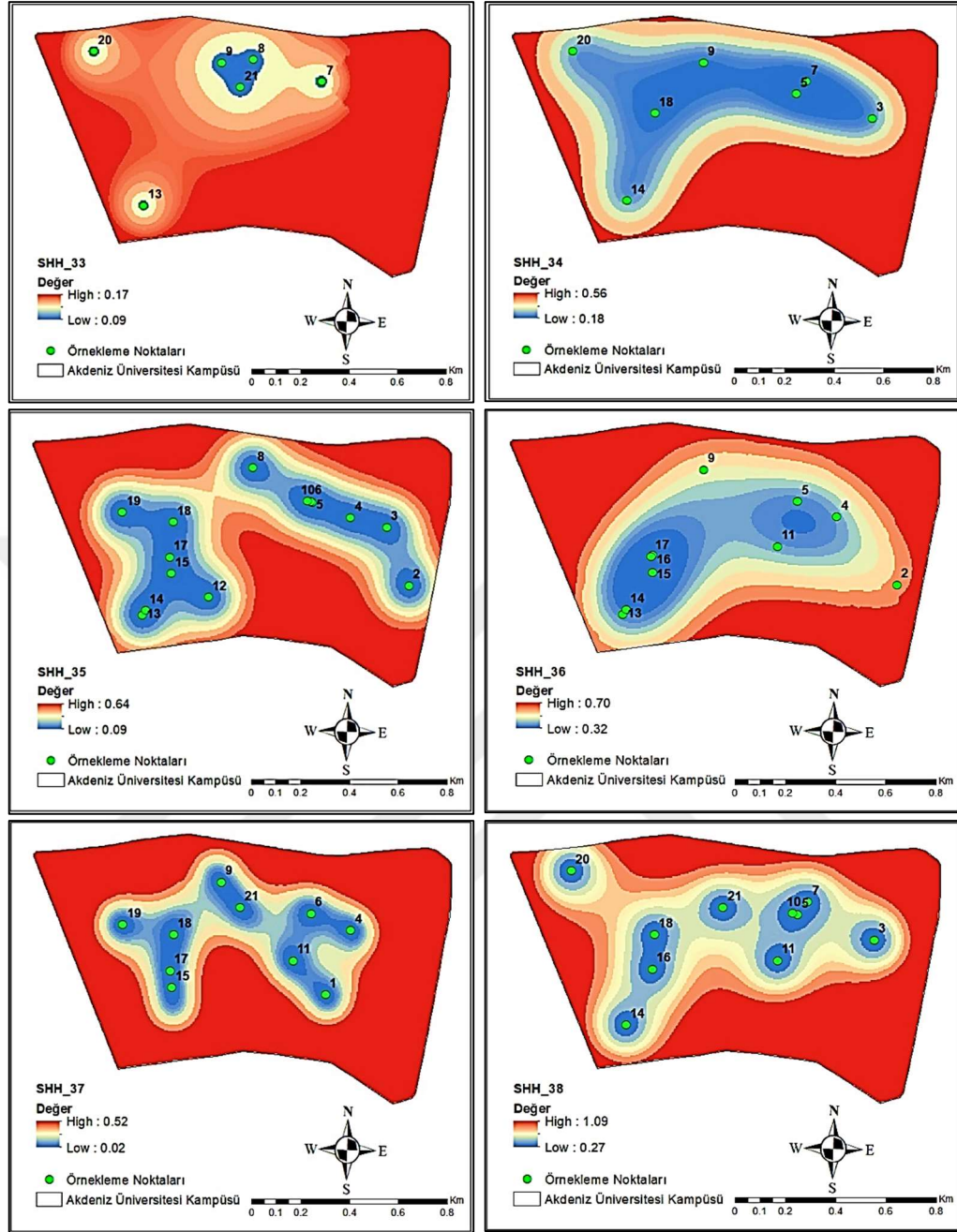
EK 3: 38 izleme ağında nitrat için oluşturulan kriging hata haritaları





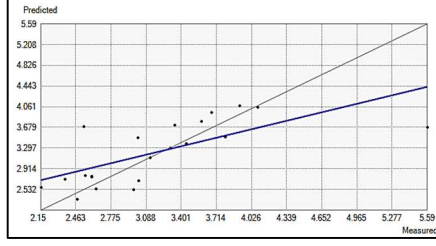




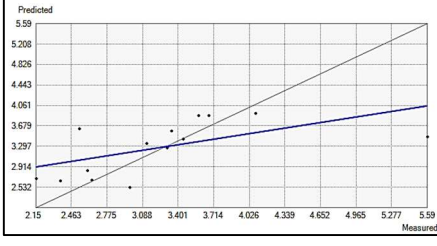


EK 4: 38 izleme ağına ait çapraz doğrulama sonuçları

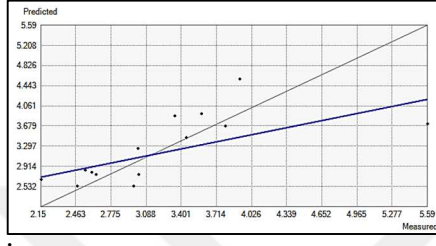
Ana ağ



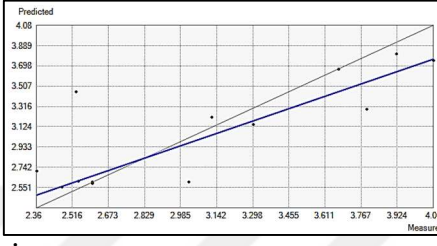
İA2



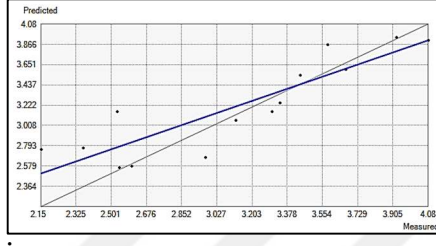
İA3



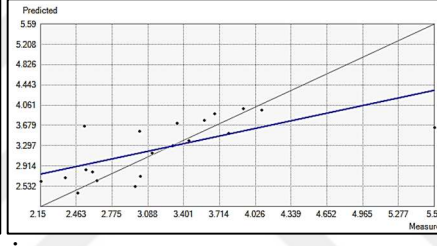
İA4



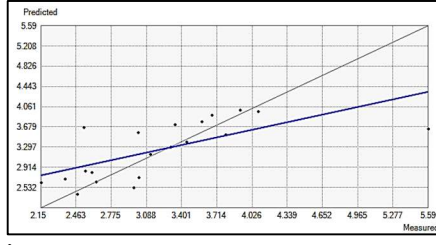
İA5



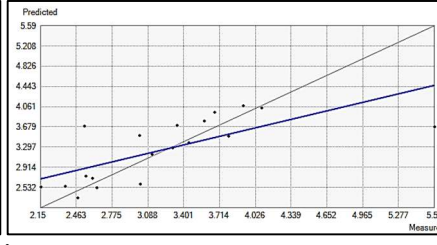
İA6



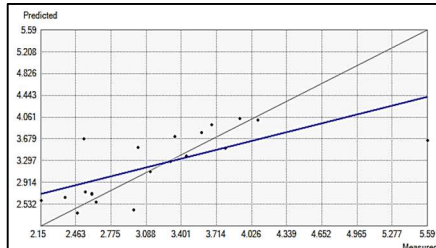
İA7



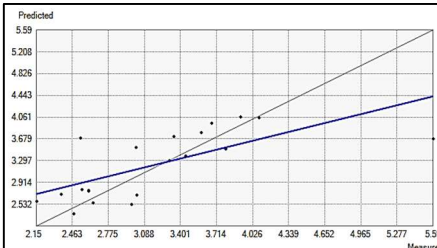
İA8



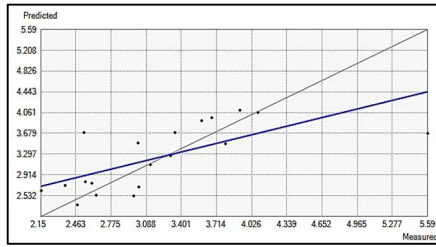
İA9



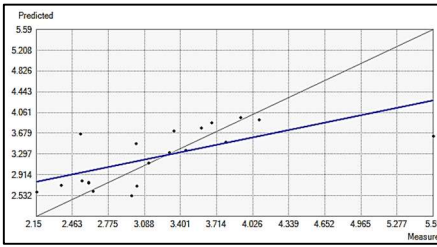
İA10



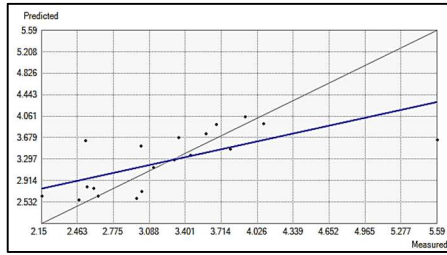
İA11



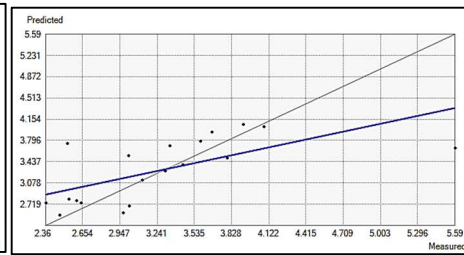
İA12



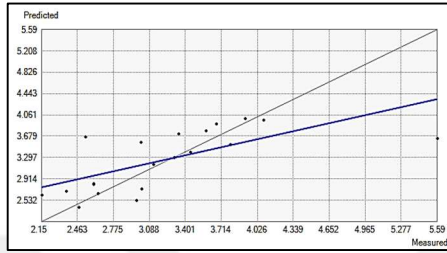
İA13



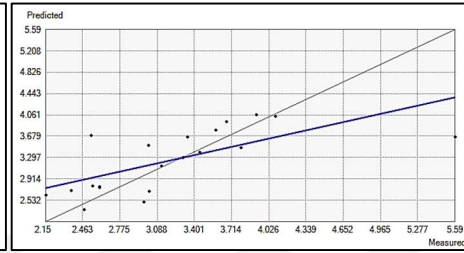
İA14



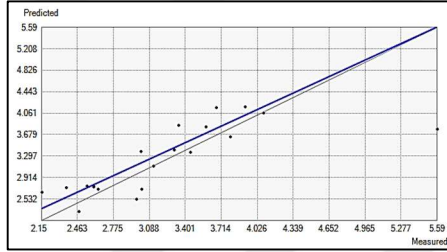
İA15



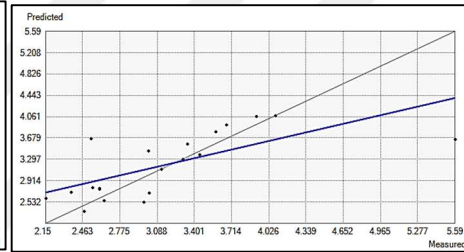
İA16



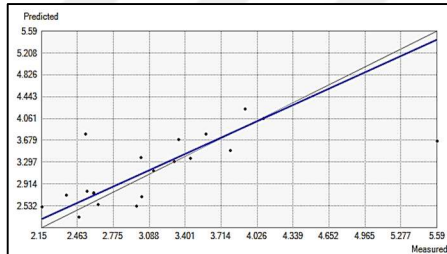
İA17



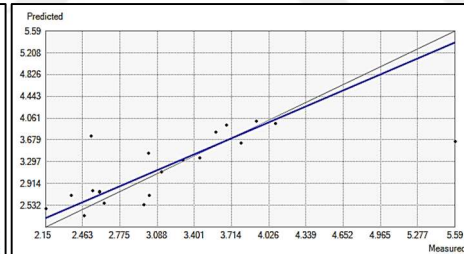
İA18



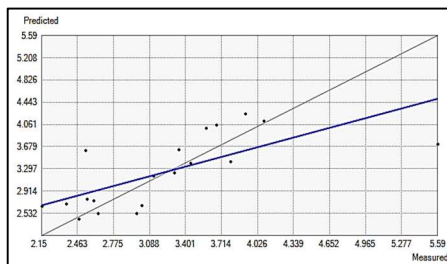
İA19



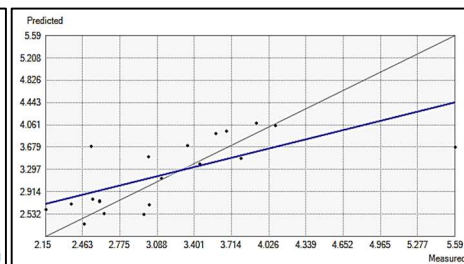
İA20



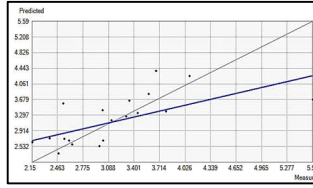
İA21



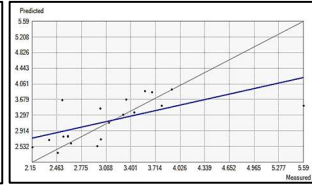
İA22



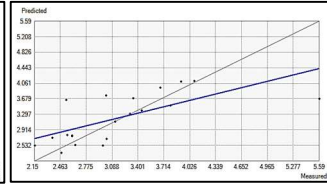
İA23



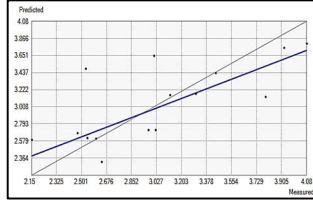
İA24



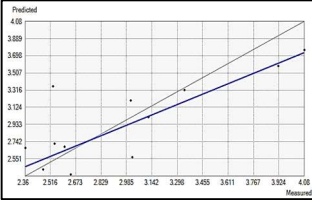
İA25



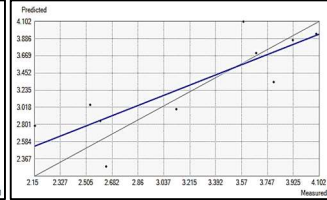
İA26



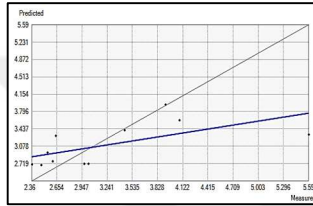
İA27



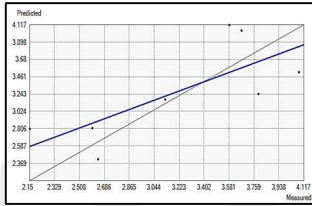
İA28



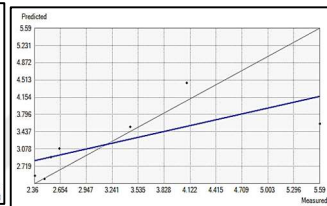
İA29



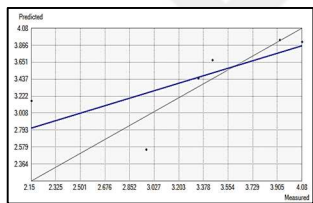
İA30



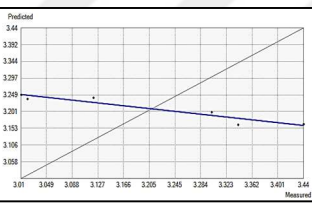
İA31



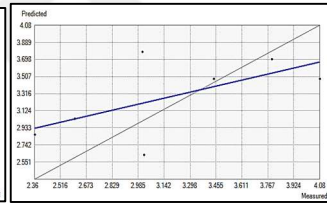
İA32



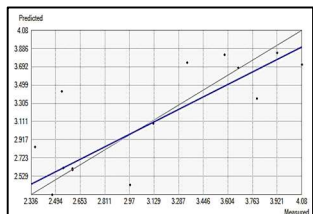
İA33



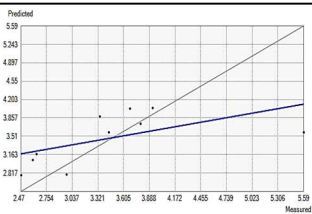
İA34



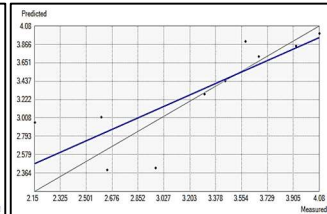
İA35



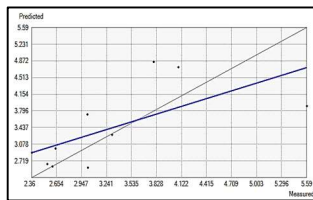
İA36



İA37



İA38



ÖZGEÇMİŞ

Semra EKİNCİ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2020-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Antalya
Lisans 2014-2020	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya