

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KOHONEN AĞLARI VE ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE SU KALİTESİNİN İRDELENMESİ: ANTALYA AKSU
BÖLGESİ UYGULAMASI**

Zeynep ÜNSAL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞUSTOS 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KOHONEN AĞLARI VE ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE SU KALİTESİNİN İRDELENMESİ: ANTALYA AKSU
BÖLGESİ UYGULAMASI**

Zeynep ÜNSAL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞUSTOS 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOHONEN AĞLARI VE ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE SU KALİTESİNİN İRDELENMESİ: ANTALYA AKSU
BÖLGESİ UYGULAMASI

Zeynep ÜNSAL
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez TÜBİTAK tarafından 119Y267 ve 114Y696 nolu projeler ile
desteklenmiştir.

AĞUSTOS 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOHONEN AĞLARI VE ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE SU KALİTESİNİN İRDELENMESİ: ANTALYA AKSU
BÖLGESİ UYGULAMASI

Zeynep ÜNSAL
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 02/08/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU (Danışman)

Prof. Dr. Aslı Seyhan ÇİĞGIN

Dr. Öğr. Üyesi Meltem KAÇIKOÇ

ÖZET

KOHONEN AĞLARI VE ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE SU KALİTESİNİN İRDELENMESİ: ANTALYA AKSU BÖLGESİ UYGULAMASI

Zeynep ÜNSAL

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU

Ağustos 2024; 163 sayfa

Yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılması ve korunması bütünleşik su yönetimi açısından önceliklidir. Hem yerüstü hem de yeraltı suyu kalitesine ilişkin izleme verilerinin zamansal ve mekânsal açıdan değerlendirilmesi ve yorumlanması, su kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi açısından oldukça önemlidir. Son yıllarda çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinin kullanımı, karmaşık veri setlerinin kolay bir şekilde analiz edilip görselleştirilmesini sağlamasından dolayı yaygınlaşmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Aksu Çayı yerüstü suyu ve Altınova bölgesi yeraltı suyu (YAS) kalitesinin, çok değişkenli istatistiksel yöntemler içinde yer alan Temel Bileşen Analizi (TBA), Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) ve Kohonen Ağları - Kendi Kendini Düzenleyen Haritalar (SOM) yöntemleri kullanılarak irdelenmesi hedeflenmektedir. Belirtilen çalışma alanlarında, daha önce su kalitesi izleme çalışmaları yapılmış olmasına rağmen, çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak zamansal ve mekânsal veri analizi gerçekleştirilmemiştir. Ek olarak, Altınova bölgesi YAS kalitesi ile YAS kirlilik hassasiyeti indeks sonuçları birlikte istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Tez çalışması, kullanılan istatistiksel yöntemler açısından özgünlük içermektedir. Elde edilen sonuçlar ile iki çalışma alanına ait su kalitesi kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. HCA ile su kalitesi verileri belirli veya benzer özelliklere göre gruplandırılmıştır. TBA ile de su kalitesini etkileyen faktörlerin karmaşıklığını azaltmak üzere veri setleri basitleştirilerek, ilgili ana bileşenler ortaya çıkarılmıştır. Kohonen Ağları ile de su kalitesi parametrelerinin değişim benzerlikleri ortaya konulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Hiyerarşik Kümeleme Analizi, İstatistiksel analiz, Kohonen Ağları, Temel Bileşen Analizi, Yeraltısuyu Kirlilik Hassasiyeti

JÜRİ: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU

Prof. Dr. Aslı Seyhan ÇİĞGIN

Dr. Öğr. Üyesi Meltem KAÇIKOÇ

ABSTRACT

INVESTIGATION OF WATER QUALITY WITH KOHONEN NETWORKS AND MULTIVARIATE STATISTICAL METHODS: APPLICATION IN ANTALYA AKSU REGION

Zeynep ÜNSAL

MSc Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU

August 2024; 163 pages

Sustainable use and protection of surface and groundwater resources is a priority for integrated water management. Evaluating and interpreting monitoring data regarding both surface and groundwater quality in temporal and spatial terms is very important for protecting and improving water quality. In recent years, the use of multivariate statistical analysis methods has become widespread because they enable complex data sets to be analyzed and visualized easily.

In this thesis study, it is aimed to examine the quality of Aksu Stream surface water and Altınova region groundwater using Principal Component Analysis (PCA), Hierarchical Clustering Analysis (HCA) and Kohonen Networks - Self-Organizing Maps (SOM) methods, which are among the multivariate statistical methods. Although water quality monitoring studies have been carried out before in the specified study areas, temporal and spatial data analysis has not been carried out using multivariate statistical analysis methods. In addition, statistical analyses were conducted by combining the water quality monitoring results of Altınova region with index results of vulnerability to groundwater pollution.

The thesis study contains originality in terms of the statistical methods used. With the results obtained, the water quality of the two study areas was comprehensively evaluated. With HCA, water quality data is grouped according to certain or similar characteristics. With PCA, the relevant main components were revealed by simplifying the data sets in order to reduce the complexity of the factors affecting water quality. Similarities of changes in water quality parameters have been revealed with Kohonen Networks.

KEYWORDS: Hierarchical Clustering Analysis, Kohonen Networks, Principal Component Analysis, Statistical analysis, Water quality index

COMMITTEE: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU

Prof. Dr. Aslı Seyhan ÇİĞGIN

Dr. Öğr. Üyesi Meltem KAÇIKOÇ

ÖNSÖZ

Günümüzde insan kaynaklı çevre kirliliği giderek artmakta olup, su kaynaklarının kalitesi açısından ciddi bir endişe kaynağı haline gelmektedir. Su kalitesi analizi sayesinde, su kaynaklarının durumunu değerlendirmek ve uygun çözümler geliştirmek daha kolay hale gelmiştir. Bu bakış açısıyla ele alındığında, çevre mühendisliği disiplini, çeşitli analitik yöntemlerin uygulanmasını sağlayarak su kalitesini belirlemek ve iyileştirmek açısından önemli bir role sahiptir.

Bu çalışmada, Aksu Çayı yerüstü suyu ve Altınova bölgesi yeraltı suyu (YAS) kalitesinin zamansal ve mekânsal değişimini irdeleyebilmek amacıyla, çok değişkenli istatistiksel yöntemler içinde yer alan Temel Bileşen Analizi (TBA), Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) ve Kohonen Ağları-Kendi Kendini Düzenleyen Haritalar (SOM) yöntemlerinin yanı sıra YAS kirlilik hassasiyeti indeks sonuçları da kullanılmış olup, elde edilen sonuçlar doğrultusunda tartışma gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasına destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu TÜBİTAK (Proje No: 119Y267 ve Proje No: 114Y696)'a teşekkür ederim.

HCA, su kalitesi verilerinin belirli veya benzer özelliklere göre gruplandırılması için kullanılmaktadır. TBA ise su kalitesini etkileyen faktörlerin karmaşıklığını azaltmak ve veri setlerini basitleştirerek ilgili ana bileşenlerin ortaya çıkarılmasını amaçlamaktadır. Kohonen Ağları, yapay sinir ağı tabanlı bir yöntem olup, su kalitesi verilerinin yapılarını ve karmaşıklığını tanımlayabilmek için kullanılmıştır. Ek olarak, farklı YAS kirlilik hassasiyeti indeks sonuçları ile YAS kalite parametreleri birleştirilerek bütüncül bir istatistiksel analiz çalışması gerçekleştirilmesi ve YAS kalitesinin çeşitli ölçütlere dayalı olarak değerlendirilmesi ve özetlenmesi hedeflenmiştir.

Sonuç olarak, belirtilen çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri, su kalitesinin değerlendirilmesinde büyük faydalar sağlamakta olup, veri tabanlı karar alma sürecini güçlendirmektedir. Ayrıca, kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesine ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla önemli stratejik kararların alınmasına yardımcı olur.

Tez çalışmasının hayata geçirilmesi sürecinde hem bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım hem de emeği ve sabrıyla bana destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ek olarak, özellikle istatistiksel çalışmalar konusunda desteğini ve bilgi birikimini esirgemeyen Sayın Dr. Mehmet Ali Turan KOÇER'e teşekkür ederim. Bu süreçte bana olan inançları ve desteklerinden ötürü aileme ve Volkan BENTEŞEN'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Yerüstü Su Kaynakları için Gerçekleştirilen Çalışmalar	5
2.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Yeraltı Su Kaynakları için Gerçekleştirilen Çalışmalar	8
2.3. Kendi Kendini Organize Eden Haritalar Kullanılarak Gerçekleştirilen Çalışmalar.....	11
2.4. Aksu Çayı için Gerçekleştirilen Çalışmalar	12
2.5. Altınova Bölgesi Yeraltısuyu için Gerçekleştirilen Çalışmalar	13
3. MATERYAL VE METOT	15
3.2. Aksu Çayı Çalışma Alanı	16
3.2.1. Su kalitesi izleme çalışmaları	18
3.2.2. Örnekleme, ölçüm ve analizler	22
3.3. Altınova Bölgesi Çalışma Alanı.....	23
3.3.2. Örnekleme, ölçüm ve analizler	28
3.2. İstatistiksel Analiz Yöntemleri	28
3.2.1. Kümeleme analizi (CA)	28
3.2.2. Kümeleme analizi teknikleri	29
3.1.2. Uzaklık ölçüleri	33
3.3. Temel Bileşen Analizi (TBA)	33
3.3.1. TBA çalışması örneği	34
3.4. Kohonen Ağı – Self Organizing Map (SOM)	35

3.5. YASın Kirliliğe Karşı Hassasiyetinin Değerlendirmesi.....	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	42
4.1. Aksu Çayı Su Kalitesi İçin Tanımlayıcı İstatistikler	42
4.2. Aksu Çayı Su Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistik Yöntemleriyle Test Edilmesi (Aylık)	68
4.2.1. Korelasyon analizi	68
4.2.2. Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) sonuçları	71
4.2.3. Temel bileşen analizi (TBA) sonuçları	74
4.2.4. Kendi kendini düzenleyen haritalar (SOM) sonuçları	79
4.3. Aksu Çayı Su Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistik Yöntemleriyle Test Edilmesi (Mevsimsel).....	84
4.3.1. Korelasyon analizi	84
4.3.2. Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) sonuçları	87
4.3.3. Temel bileşen analizi (TBA) sonuçları	90
4.3.4. Kendi kendini düzenleyen haritalar (SOM) sonuçları	93
4.4. Altınova Bölgesi YAS Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistik Yöntemleriyle Test Edilmesi Çalışmaları	98
4.4.1. Su kalitesini tanımlayıcı istatistikler.....	98
4.4.2. Kasım 2015 dönemi YAS kalitesi izleme verilerinin istatistiksel analizi .	107
4.4.3. Mayıs 2016 dönemi YAS kalitesi izleme verilerinin istatistiksel analizi ..	120
4.4.4. Mayıs 2016 dönemi su kalitesi izleme verileri ile YAS kirlilik hassasiyeti indeks sonuçlarının istatistiksel analizi	132
5. SONUÇLAR	147
6. KAYNAKLAR	150
7. EKLER.....	157
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kohonen Ağları ve Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerle Su Kalitesinin İrdelenmesi: Antalya Aksu Bölgesi Uygulaması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

02/08/2024

Zeynep ÜNSAL

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
<	: Küçüktür
>	: Büyüktür
°C	: Santigrat derece
FNU	: Formazin bulanıklık birimi
GWh	: Gigawatt saat
ha	: Hektar
hm	: Hektometre
km	: Kilometre
L	: Litre
m	: Metre
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
NTU	: Nefelometrik bulanıklık birimi
pH	: Hidrojen iyonu potansiyeli
ppt	: Binde bir parça
δ	: Delta
μS	: Mikrosiemens

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
AKM	: Askıda Katı Madde
Al	: Alüminyum
Alk	: Alkalinite
ANOVA	: Varyans Analizi

As	: Arsenik
B	: Bor
Ba	: Baryum
BOİ ₅	: 5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
Ca	: Kalsiyum
CA	: Kümeleme Analizi
CaHCO ₃	: Kalsiyum bikarbonat
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
Cd	: Kadmiyum
Chl-a	: Klorofil-a
Cl	: Klorür
CO ₃ ²⁻	: Karbonat
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
ÇO	: Çözünmüş Oksijen
DA	: Diskriminant Analizi
DSİ	: Devlet Su İşleri
E.Coli	: Escherichia Coli
EC	: European Communities
FA	: Faktör Analizi
FC	: Fekal Koliform
Fe	: Demir
FS	: Fekal Streptokok
HCA	: Hiyerarşik Kümeleme Analizi
HCO ₃ ²⁻	: Bikarbonat
Hg	: Cıva

İC	: İyon Kromatografi
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
K	: Potasyum
Km	: Kilometre
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Li	: Lityum
Max	: En büyük değer
Mg	: Magnezyum
Min	: En küçük değer
Mn	: Mangan
MRA	: Çoklu Regresyon Analizi
MT	: Magnezyum Tehlikesi
Na	: Sodyum
NH ₄ -N	: Amonyum Azotu
NHYP	: Nehir Havza Yönetim Planı
Ni	: Nikel
NO ₂ ⁻	: Nitrit
NO ₂ -N	: Nitrit Azotu
NO ₃ ⁻	: Nitrat
NO ₃ -N	: Nitrat Azotu
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
o-PO ₄ ³⁻	: Orto-Fosfat
Ort	: Ortalama değer
Pb	: Kurşun
PC	: Temel Bileşen
PO ₄ -P	: Fosfat Fosforu

QE	: Ortalama Niceleme Hatası
R ²	: Regresyon Katsayısı
RG	: Resmi Gazete
RIVA	: İndeks Tabanlı Yöntem
RSC	: Kalıntı Sodyum Karbonat
S	: Tuzluluk
SAR	: Sodyum Adsorpsiyon Oranı
SCS	: Soil Conservation Service (Toprak Koruma Hizmeti)
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SO ₄ ²⁻	: Sülfat
SOM	: Self Organizing Map (Kendi Kendini Düzenleyen Harita)
Spc	: Spesifik İletkenlik
SS	: Standart Sapma
SYGM	: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
T	: Sıcaklık
TA	: Toplam Alkalinite
TBA	: Temel Bileşenler Analizi
TC	: Toplam Koliform
TDS	: Toplam Çözülmüş Katı
TE	: Topolojik Hata
TN	: Toplam Azot
TOK	: Toplam Organik Karbon
TP	: Toplam Fosfor

TS	: Türkiye Standartları
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UV	: Ultra Viyole
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
WQI	: Water Quality Index (Su Kalite İndeksi)
YAS	: Yeraltı Suyu
YK	: Yan Kol
YSKY	: Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği
Zn	: Çinko

Bu tezde ondalık ayracı olarak virgül (,) kullanılmıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Antalya Havzası'nın Konumu (SYGM 2016)	16
Şekil 3.2. Antalya Havzası Alanı ve Aksu Çayı anakolu (SYGM 2016)	16
Şekil 3.3. Aşağı Aksu Çayı Havzası havza sınırı ve nehir ağı (Muhammetoğlu 2021) .	17
Şekil 3.4. Aksu Çayı'nda ölçüm/örnekleme yapılan istasyonlar	19
Şekil 3.5. 03 Şubat 2021 tarihinde a) Aksu-1; b) Aksu-2 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)	20
Şekil 3.6. 03 Şubat 2021 tarihinde a) Aksu-3; b) Aksu-4 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)	20
Şekil 3.7. 03 Şubat 2021 tarihinde a) Aksu-5; b) Aksu-6 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)	21
Şekil 3.8. 03 Şubat 2021 tarihinde a) Aksu-7; b) Aksu-8 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)	21
Şekil 3.9. 03 Şubat 2021 tarihinde a) Aksu-9; b) Aksu-10 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)	21
Şekil 3.10. 03 Şubat 2021 tarihinde a) Aksu-YK1; b) Aksu-YK 2 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)	22
Şekil 3.11. Antalya-Altınova'da yer alan çalışma sahasının lokasyonu (Muhammetoğlu vd. 2017)	24
Şekil 3.12. Altınova çalışma bölgesindeki sera alanlarından fotoğraflar; a) domates serası; b) maydanoz serası; c) çilek serası; d) çiçek serası (Muhammetoğlu vd. 2017) .	25
Şekil 3.13. İlk arazi çalışması gerçekleştirilen 50 adet izleme noktası ve jeolojik formasyon (Muhammetoğlu vd. 2017)	26
Şekil 3.14. İlk arazi çalışması gerçekleştirilen 50 adet izleme noktası ve kuyu derinlikleri (Muhammetoğlu vd. 2017).....	27
Şekil 3.15. Altınova pilot uygulama sahası için seçilen 25 adet izleme noktası (Muhammetoğlu vd. 2017)	27
Şekil 3.16. Veri birimleri ve kümeleri (Vatansever 2008).....	29
Şekil 3.17. Kümeleme tekniklerinin genel görünümü (Akın 2008).....	30
Şekil 3.18. Tek bağlantı tekniği (Ünlükaplan 2008).....	31
Şekil 3.19. Ortalama grup bağlantı tekniği (Ünlükaplan 2008).....	31
Şekil 3.20. Tam bağlantı tekniği (Ünlükaplan 2008).....	31
Şekil 3.21. TBA çizim örneği (Swan ve Sandilands 1995)	34

Şekil 3.22. Dikey vektörlere göre veri noktalarının yeniden çizilmiş gösterimi (Swan ve Sandilands 1995).....	34
Şekil 3.23. İki boyutlu bir SOM ızgarasındaki düğüm dizisi (Kohonen 2001)	35
Şekil 3.24. Essaouira, Morocco’da yapılan bir çalışmada SOM ile analiz edilen hidrokimyasal parametreler için bileşen düzlemleri	37
Şekil 4.1. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre su sıcaklığının (°C) değişimi	43
Şekil 4.2. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre pH’ın değişimi	43
Şekil 4.3. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre EC değişimi	44
Şekil 4.4. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre tuzluluğun değişimi	45
Şekil 4.5. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre ÇO konsantrasyonunun değişimi.....	46
Şekil 4.6. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre %ÇO doygunluğunun değişimi.....	46
Şekil 4.7. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre bulanıklığın değişimi.....	47
Şekil 4.8. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre AKM değişimi	48
Şekil 4.9. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre F ⁻ değişimi ..	48
Şekil 4.10. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Cl ⁻ değişimi	49
Şekil 4.11. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Br ⁻ değişimi	50
Şekil 4.12. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre NO ₂ ⁻ parametresinin değişimi	51
Şekil 4.13. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre NO ₃ ⁻ parametresinin değişimi	51
Şekil 4.14. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre PO ₄ ³⁻ parametresinin değişimi	52
Şekil 4.15. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre SO ₄ ²⁻ parametresinin değişimi	53

Şekil 4.16. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Li parametresinin değişimi	53
Şekil 4.17. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Na ⁺ parametresinin değişimi	54
Şekil 4.18. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre K ⁺ parametresinin değişimi	55
Şekil 4.19. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre NH ₄ ⁺ parametresinin değişimi.....	56
Şekil 4.20. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Mg ²⁺ parametresinin değişimi	56
Şekil 4.21. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Ca ²⁺ parametresinin değişimi	57
Şekil 4.22. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre toplam organik karbon parametresinin değişimi	58
Şekil 4.23. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre toplam azot parametresinin değişimi.....	58
Şekil 4.24. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre toplam fosfor parametresinin değişimi.....	59
Şekil 4.25. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre parametresinin değişimi	60
Şekil 4.26. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre BOİ ₅ parametresinin değişimi	61
Şekil 4.27. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre toplam alkalinite parametresi değişimi	61
Şekil 4.28. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre HCO ₃ ⁻ parametresinin değişimi	62
Şekil 4.29. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre CO ₃ ²⁻ parametresi değişimi	63
Şekil 4.30. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Chl-a parametresinin değişimi	63
Şekil 4.31. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre renk parametresinin değişimi	65
Şekil 4.32. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre TC parametresinin değişimi	66
Şekil 4.33. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre FC parametresinin değişimi	66

Şekil 4.34. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre FS parametresinin değişimi	67
Şekil 4.35. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Escherichia coli parametresinin değişimi.....	68
Şekil 4.36. Aksu Çayı’nda izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı hiyerarşik kümeleme analizi dendrogram grafiği.....	72
Şekil 4.37. Aksu Çayı’nda örnekleme tarihlerinin su kalitesi parametrelerine dayalı hiyerarşik kümeleme analizi dendrogram grafiği	73
Şekil 4.38. Toplam özdeğer verileri için scree plot sonucu	76
Şekil 4.39. Aksu Çayı’nda su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (b) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (c) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği ve (d) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği (sayılar farklı örnekleme noktası ve dönemini ifade eder)	78
Şekil 4.40. Nöronların örnek sayılarına göre kümelerine ayrılması	80
Şekil 4.41. Nöron başına düşen örnek sayısı	81
Şekil 4.42. Su kalitesi parametrelerinin oluşturduğu dendrogram grafiği	81
Şekil 4.43. 30 adet nöron için oluşturulan dendrogram grafiği	82
Şekil 4.44. Aksu Çayı’nda su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (b) ölçümlerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (c) parametrelerin PC-1 ve PC-3 grafiği ve (d) ölçümlerin PC-1 ve PC-3 grafiği.....	83
Şekil 4.45. Aksu Çayı verilerine göre oluşturulan U-Matris	83
Şekil 4.46. Aksu Çayı’na ait su kalitesi parametreleri için oluşturulan SOM haritaları.	84
Şekil 4.47. Aksu Çayı’nda izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı hiyerarşik kümeleme analizi dendrogram grafiği.....	87
Şekil 4.48. Aksu Çayı’nda örnekleme mevsimlerinin su kalitesi parametrelerine dayalı hiyerarşik kümeleme analizi dendrogram grafiği.....	89
Şekil 4.49. Toplam özdeğer verileri için scree plot sonucu	91
Şekil 4.50. Aksu Çayı’nda su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (b) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (c) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği ve (d) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği	93
Şekil 4.51. Nöronların örnek sayılarına göre kümelerine ayrılması	95
Şekil 4.52. Nöron başına düşen örnek sayısı	95
Şekil 4.53. Su kalitesi parametrelerinin oluşturduğu dendrogram grafiği	96

Şekil 4.54. 30 adet nöron için oluşturulan dendrogram grafiği	96
Şekil 4.55. Aksu Çayı'nda su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (b) ölçümlerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (c) parametrelerin PC-1 ve PC-3 grafiği ve (d) ölçümlerin PC-1 ve PC-3 grafiği.....	97
Şekil 4.56. Aksu Çayı verilerine göre oluşturulan U-Matris	98
Şekil 4.57. Aksu Çayı'na ait su kalitesi parametreleri için oluşturulan SOM haritaları.	98
Şekil 4.58. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre su sıcaklığının (°C) değişimi	99
Şekil 4.59. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre TDS değişimi	101
Şekil 4.60. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre pH değişimi	101
Şekil 4.61. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre ÇO değişimi	103
Şekil 4.62. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre EC değişimi	103
Şekil 4.63. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre S değişimi.....	105
Şekil 4.64. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre bulanıklık değişimi	105
Şekil 4.65. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre NO ₃ değişimi.....	107
Şekil 4.66. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre derinlik değişimi	107
Şekil 4.67. Altınova Bölgesi'nde izlenen örneklem noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı HCA dendrogram grafiği	110
Şekil 4.68. Toplam özdeğer verileri için scree plot sonucu.....	113
Şekil 4.69. Altınova Bölgesi'ndeki su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (b) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (c) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği ve (d) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği.....	115
Şekil 4.70. Nöronların örnek sayılarına göre kümelerine ayrılması	117
Şekil 4.71. Nöron başına düşen örnek sayısı	117
Şekil 4.72. Su kalitesi parametrelerinin oluşturduğu dendrogram grafiği	118
Şekil 4.73. 30 adet nöron için oluşturulan dendrogram grafiği	118
Şekil 4.74. Altınova Bölgesi'nde su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (b) ölçümlerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (c) parametrelerin PC-1 ve PC-3 grafiği ve (d) ölçümlerin PC-1 ve PC-3 grafiği.....	119
Şekil 4.75. Altınova Bölgesi verilerine göre oluşturulan U-Matris	119
Şekil 4.76. Altınova Bölgesi'ne ait su kalitesi parametreleri için oluşturulan SOM haritaları	120

Şekil 4.77. Altınova Bölgesi'nde izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı HCA dendrogram grafiği	122
Şekil 4.78. Toplam özdeğer verileri için scree plot sonucu	125
Şekil 4.79. Altınova Bölgesi'ndeki su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (b) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (c) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği ve (d) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği.....	127
Şekil 4.80. Nöronların örnek sayılarına göre kümelerine ayrılması	129
Şekil 4.81. Nöron başına düşen örnek sayısı	129
Şekil 4.82. Su kalitesi parametrelerinin oluşturduğu dendrogram grafiği	130
Şekil 4.83. 30 adet nöron için oluşturulan dendrogram grafiği	130
Şekil 4.84. Altınova Bölgesi'nde su kalitesi parametrelerinin TBA grafiği (a) parametrelerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (b) ölçümlerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (c) parametrelerin PC-1 ve PC-3 grafiği ve (d) ölçümlerin PC-1 ve PC-3 grafiği.....	131
Şekil 4.85. Altınova Bölgesi verilerine göre oluşturulan U-Matris	132
Şekil 4.86. Altınova Bölgesi'ne ait su kalitesi parametreleri için oluşturulan SOM haritaları	132
Şekil 4.87. Altınova Bölgesi'nde izlenen örnekleme noktalarının Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerine dayalı HCA dendrogram grafiği	136
Şekil 4.88. Toplam özdeğer verileri için scree plot sonucu.....	139
Şekil 4.89. Altınova Bölgesi'ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerinin TBA grafiği (a) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (b) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (c) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği ve (d) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği	141
Şekil 4.90. Nöronların örnek sayılarına göre kümelerine ayrılması	142
Şekil 4.91. Nöron başına düşen örnek sayısı	143
Şekil 4.92. Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerinin oluşturduğu dendrogram grafiği.....	143
Şekil 4.93. 30 adet nöron için oluşturulan dendrogram grafiği	144
Şekil 4.94. Altınova Bölgesi'ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (b) ölçümlerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (c) parametrelerin PC-1 ve PC-3 ve (d) ölçümlerin PC-1 ve PC-3 grafiği	145
Şekil 4.95. Altınova Bölgesi'ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerine ait verilere göre oluşturulan U-Matris	145

Şekil 4.96. Altınova Bölgesi’ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indeksleri için oluşturulan SOM haritaları.....	146
---	-----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Aksu Çayı havzasına ait özet bilgiler (Muhammetoğlu 2021)	18
Çizelge 3.2. Aksu Çayı su kalitesi izleme istasyonlarına ait bilgiler (Muhammetoğlu ..	18
Çizelge 3.3. Aksu Çayı'nda izleme çalışmasına ait özet bilgiler (Muhammetoğlu 2021)	19
Çizelge 3.4. Bakteriyolojik parametrelerin analizine ait özet bilgiler (APHA 1998;	23
Çizelge 3.5. Altınova bölgesinde gerçekleştirilen izleme çalışması dönemleri ve	26
Çizelge 3.6. Saha ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri	28
Çizelge 3.7. YAS kirliliğine	38
Çizelge 4.1. Araştırma dönemi içerisinde su sıcaklığının (°C) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	43
Çizelge 4.2. Araştırma dönemi içerisinde pH'ın istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	44
Çizelge 4.3. Araştırma dönemi içerisinde EC (mS/cm) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	44
Çizelge 4.4. Araştırma dönemi içerisinde tuzluluğun (ppt) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	45
Çizelge 4.5. Araştırma dönemi içerisinde ÇO konsantrasyonunun (mg/L) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	45
Çizelge 4.6. Araştırma dönemi içerisinde %ÇO doygunluğunun (%) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	46
Çizelge 4.7. Araştırma dönemi içerisinde bulanıklığın (FNU) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	47
Çizelge 4.8. Araştırma dönemi içerisinde AKM (mg/L) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	48
Çizelge 4.9. Araştırma dönemi içerisinde F (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	49
Çizelge 4.10. Araştırma dönemi içerisinde Cl (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	49
Çizelge 4.11. Araştırma dönemi içerisinde Br (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	50
Çizelge 4.12. Araştırma dönemi içerisinde NO ₂ (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	50

Çizelge 4.13. Araştırma dönemi içerisinde NO_3^- (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	51
Çizelge 4.14. Araştırma dönemi içerisinde PO_4^{3-} (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	52
Çizelge 4.15. Araştırma dönemi içerisinde SO_4^{2-} (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	52
Çizelge 4.16. Araştırma dönemi içerisinde Li (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	53
Çizelge 4.17. Araştırma dönemi içerisinde Na^+ (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	54
Çizelge 4.18. Araştırma dönemi içerisinde K^+ (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	55
Çizelge 4.19. Araştırma dönemi içerisinde NH_4^+ (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	55
Çizelge 4.20. Araştırma dönemi içerisinde Mg^{2+} (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	56
Çizelge 4.21. Araştırma dönemi içerisinde Ca^{2+} (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	57
Çizelge 4.22. Araştırma dönemi içerisinde toplam organik karbon (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	58
Çizelge 4.23. Araştırma dönemi içerisinde toplam azot (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	59
Çizelge 4.24. Araştırma dönemi içerisinde toplam fosfor (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	59
Çizelge 4.25. Araştırma dönemi içerisinde kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	60
Çizelge 4.26. Araştırma dönemi içerisinde BOI_5 (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	60
Çizelge 4.27. Araştırma dönemi içerisinde toplam alkalinite (mg CaCO_3/L) parametresi istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	61
Çizelge 4.28. Araştırma dönemi içerisinde HCO_3^- (mg HCO_3^-/L) parametresinin değişimi istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	62
Çizelge 4.29. Araştırma dönemi içerisinde CO_3^{2-} (mg CO_3/L) parametresi istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	63
Çizelge 4.30. Araştırma dönemi içerisinde Chl-a ($\mu\text{g}/\text{L}$) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	64

Çizelge 4.31. Araştırma dönemi içerisinde renk (1/m) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	64
Çizelge 4.32. Araştırma dönemi içerisinde TC (koloni/100 mL) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	66
Çizelge 4.33. Araştırma dönemi içerisinde FC (koloni/100 mL) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	67
Çizelge 4.34. Araştırma dönemi içerisinde FS (koloni/100 mL) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	67
Çizelge 4.35. Araştırma dönemi içerisinde Escherichia coli (koloni/100 mL) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	68
Çizelge 4.36. Aksu Çayı izleme çalışması ile edilen 36 adet su kalitesi parametresi için Statistica StatSoft 12 programında oluşturulan korelasyon matrisi	69
Çizelge 4.37. Aksu Çayı'nda izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı Hiyerarşik Kümeleme Analizi Öklid mesafeleri (Euclidean Distances).....	72
Çizelge 4.38. Aksu Çayı'nda izlenen örnekleme tarihlerinin su kalitesi parametrelerine dayalı Hiyerarşik Kümeleme Analizi Öklid mesafeleri (Euclidean Distances).....	74
Çizelge 4.39. Aksu Çayı'nda su kalitesine dayalı temel bileşenler analizi istatistik özeti	75
Çizelge 4.40. İzlenen su kalitesi parametrelerinin eksen özdeğerlerine oransal katkısı.	76
Çizelge 4.41. Faktör-Değişken korelasyonları (korelasyonlara bağlı faktör yükleri)	77
Çizelge 4.42. Vesanto ve Alhoniemi'ye (2000) göre hesaplanan harita boyutlarına ait hata analizleri	79
Çizelge 4.43. Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen harita boyutlarına ait hata analizleri.....	79
Çizelge 4.44. Aksu Çayı izleme çalışması ile edilen 30 adet su kalitesi parametresi için Statistica StatSoft 12 programında oluşturulan korelasyon matrisi	85
Çizelge 4.45. Aksu Çayı'nda izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı Hiyerarşik Kümeleme Analizi Öklid mesafeleri (Euclidean Distances).....	88
Çizelge 4.46. Aksu Çayı'nda izlenen örnekleme tarihlerinin su kalitesi parametrelerine dayalı Hiyerarşik Kümeleme Analizi Öklid mesafeleri (Euclidean Distances).....	89
Çizelge 4.47. Aksu Çayı'nda su kalitesine dayalı temel bileşenler analizi istatistik özeti	90

Çizelge 4.48. İzlenen su kalitesi parametrelerinin eksen özdeğerlerine oransal katkısı .	91
Çizelge 4.49. Faktör-Değişken korelasyonları (korelasyonlara bağlı faktör yükleri)	92
Çizelge 4.50. Vesanto ve Alhoniemi'ye (2000) göre hesaplanan harita boyutlarına ait hata analizleri	93
Çizelge 4.51. Araştırma dönemi içerisinde su sıcaklığının (°C) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	100
Çizelge 4.52. Araştırma dönemi içerisinde TDS (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	100
Çizelge 4.53. Araştırma dönemi içerisinde pH parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	102
Çizelge 4.54. Araştırma dönemi içerisinde ÇO (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	102
Çizelge 4.55. Araştırma dönemi içerisinde EC (µS/cm) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	104
Çizelge 4.56. Araştırma dönemi içerisinde S (ppt) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	104
Çizelge 4.57. Araştırma dönemi içerisinde bulanıklık (NTU) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	106
Çizelge 4.58. Araştırma dönemi içerisinde NO ₃ (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	106
Çizelge 4.59. Araştırma dönemi içerisinde derinlik (m) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	108
Çizelge 4.60. 24 adet su kalitesi parametresi için Statistica StatSoft 12 programında oluşturulan korelasyon matrisi	109
Çizelge 4.61. Altınova Bölgesi'nde izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı HCA Öklid mesafeleri (Euclidean Distances)	112
Çizelge 4.62. Altınova Bölgesi'nde su kalitesine dayalı temel bileşenler analizi istatistik özeti	113
Çizelge 4.63. İzlenen su kalitesi parametrelerinin eksen özdeğerlerine oransal katkısı	114
Çizelge 4.64. Faktör-Değişken korelasyonları (korelasyonlara bağlı faktör yükleri) ..	114
Çizelge 4.65. Vesanto ve Alhoniemi'ye (2000) göre hesaplanan harita boyutlarına ait hata analizleri	116
Çizelge 4.66. 24 adet su kalitesi parametresi için Statistica StatSoft 12 programında oluşturulan korelasyon matrisi	121

Çizelge 4.67. Altınova Bölgesi’nde izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı HCA Öklid mesafeleri (Euclidean Distances)	123
Çizelge 4.68. Altınova Bölgesi’nde su kalitesine dayalı temel bileşenler analizi istatistik özeti	124
Çizelge 4.69. İzlenen su kalitesi parametrelerinin eksen özdeğerlerine oransal katkısı	126
Çizelge 4.70. Faktör-Değişken korelasyonları (korelasyonlara bağlı faktör yükleri) ..	126
Çizelge 4.71. Vesanto ve Alhoniemi’ye (2000) göre hesaplanan harita boyutlarına ait hata analizleri	128
Çizelge 4.72. 30 adet parametre için Statistica StatSoft 12 programında oluşturulan korelasyon matrisi	134
Çizelge 4.73. Altınova Bölgesi’nde izlenen örnekleme noktalarının Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerine dayalı HCA Öklid mesafeleri (Euclidean Distances).....	137
Çizelge 4.74. Altınova Bölgesi’ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerine dayalı TBA istatistik özeti	138
Çizelge 4.75. İzlenen parametrelerin eksen özdeğerlerine oransal katkısı	139
Çizelge 4.76. Faktör-Değişken korelasyonları (korelasyonlara bağlı faktör yükleri) ..	140
Çizelge 4.77. Vesanto ve Alhoniemi’ye (2000) göre hesaplanan harita boyutlarına ait hata analizleri	141

1. GİRİŞ

Su, yaşam için hem hayati bir kaynak hem de insan ve sucul yaşam sağlığı için oldukça önemlidir. Dünya'daki suyun yalnızca %2,5'i tatlı su kaynağıdır ve bunun da yaklaşık %32'sini yeraltı suları oluşturmaktadır. Uygun kalitedeki yeraltı suyu (YAS) kaynakları içme, kullanma, sanayi ve tarımsal su talebini karşılamak için kullanılmaktadır. Ülkemizdeki toplam yeraltı suyunun %53'ü sulamada, %29'u içme, kullanma ve sanayide kullanılmaktadır. Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve buna bağlı olarak artan tarımsal ihtiyaçların karşılanması için su kaynaklarının iyi bir şekilde yönetilmesi ve korunması gerekmektedir. Yeraltı sularının tarımsal sulamadaki önemine bakıldığında, bu kaynakların iyi bir şekilde yönetilmesi ve korunması için gerekli planlamalar ve düzenlemeler yapılması gerektiği görülmektedir.

Dünyada her geçen gün artan nüfusa ve sanayileşmeye bağlı olarak atıksu ve atık üretimi artmaktadır. Nehirlere ulaşan atıksular nedeniyle besin maddelerindeki ve diğer kirleticilerdeki artış hem nehirlerdeki oksijen seviyesini azaltmakta hem de ilerleyen süreçlerde ötrofikasyon, bakteriyolojik ve kimyasal kirlenme için zemin hazırlamaktadır. Bu nedenle, yerüstü suları ve YAS kalitesini sınıflandırmak, her bir su kalitesi değişkenine ait sonuçları değerlendirmek oldukça önemlidir. Ancak, su kalitesinin sınıflar arasında ne ölçüde farklılık gösterdiğini belirlemek kolay değildir (Barclay vd. 2016). Bu nedenle, çok değişkenli yaklaşımlar olarak Faktör Analizi (FA), Temel Bileşenler Analizi (TBA), Kümeleme Analizi (CA), Diskriminant Analizi (DA) ve Kohonen Ağları-SOM gibi yöntemler su kalitesindeki mekânsal ve zamansal değişikliklerin değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Alberto vd. 2001; Barzegar vd. 2017; Bierman vd. 2011; Soltani vd. 2017). Genel olarak, bu yöntemler veri azaltma ve izleme verilerinin irdelenmesi için güçlü bir destek sağladıkları için Çevre Mühendisliği alanında da sıklıkla kullanılmaktadır.

Tez çalışmasının amacı, Antalya Havzası içinde yer alan Aksu Çayı yerüstü su kalitesi ve Altınova bölgesi YAS kalitesinin, istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak zamansal ve mekânsal olarak değerlendirilmesidir.

Aksu Çayı'nın kaynağı, Isparta ilinde bulunan Akdağ bölgesidir. Kovada I, Kovada II Hidroelektrik Santrallerini ve Karacaören Baraj Göllerini besleyen Aksu Çayı, çeşitli kaynak sularının birleşmesiyle oluşmakta ve yaklaşık 145 km yol kat ettikten sonra Akdeniz'e dökülmektedir. Kuzeybatı ve kuzeydoğudaki dağlık alanlarda yükseltinin fazla olması sebebiyle düşük sıcaklık (T), fazla yağış ve kar yağışı görülürken, güneyde bulunan düz alanlar genellikle daha sıcaktır ve buharlaşma yüksektir. Havzanın kuzeyinde karasal iklim görülürken, kuzeye göre daha geniş olan havzanın güneyinde ise Akdeniz iklimi etkilidir (Şener vd. 2017). Aksu Çayı havzasındaki tarım ve hayvancılık faaliyetlerine ek olarak kentsel yerleşimler ve özellikle güney kesimindeki turizm amaçlı faaliyetler su kalitesi ve miktarı üzerinde baskı oluşturmaktadır. Altınova bölgesi ise, yoğun tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği karstik bir bölgede yer alması ve YAS kalitesinin kirlenme riski altında olması nedeniyle seçilmiştir. Altınova bölgesindeki çalışma alanının %85,5'ini karstik kireçtaşı, %14,4'ünü ise kum ve çakıl formasyonu oluşturmaktadır. Çalışma alanı, son derece geniş bir yayılım alanına sahip olan Antalya platosu olarak tanımlanan alan içerisinde yer almakta olup Antalya platosunun genel jeolojik formasyonu ise ağırlıklı olarak Mesozoik yaşlı kireç taşları ve marnlardan oluşmaktadır (Muhammetoğlu 2017). Tez çalışmasında Antalya Aksu bölgesi için yerüstü ve YAS kaynakları için bütüncül bir değerlendirme yapılması ve su kaynaklarının

yönetimi açısından önem taşımaktadır.

İklim değişikliğinin olumsuz etkileri ile su miktar ve kalitesine yönelik baskıların artması nedeniyle yerüstü ve YAS kaynaklarının önemi günden güne artmaktadır. Su kaynaklarında gerçekleştirilen izleme çalışmaları ile pek çok veri temin edilmekte ise de kaynakların korunması ve bütünlük yönetimi açısından daha kapsamlı bir şekilde veri analizi gereklidir. Bu kapsamda su kaynaklarında yürütülen izleme çalışmaları ile elde edilen ölçüm ve analiz sonuçları ile çevresel parametre etkileşimlerinin daha iyi yorumlanması ve daha iyi anlaşılabilmesi için istatistiksel analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Verilerin analiz edilmesi için pek çok yöntem vardır. Bu yöntemler, hipotez testleri ve doğrusal regresyon gibi klasik istatistiksel yaklaşımlardan başlayarak Yapay Sinir Ağları yöntemleri gibi en karmaşık makine öğrenme tekniklerine kadar uzanmaktadır. Ayrıca, veriler hakkında görsel bir sezgi sağlayabilen görsel teknikler de vardır. Görsel Teknikler, tek değişkenli ve çok değişkenli olmak üzere iki gruba ayrılır. Tek değişkenli gösterim bir değişkenin temsillerini üretirken, çok değişkenli yaklaşımda birkaç değişken arasındaki ilişkinin gösterilmesi amaçlanır. Tek değişkenli temsillerin örnekleri olarak histogramlar, kutu ve bıyık grafikleri verilebilir. Çok değişkenli analizler için Paralel Koordinatlar ve Kendi Kendini Düzenleyen Kohonen Haritaları en temsili örneklerdir. Kohonen Haritaları 1984'te Finli Teuvo Kohonen tarafından önerilmiştir. Yüksek boyutlu verilerin görselleştirilmesi için kullanılan bir tür sinir ağıdır. Bu yöntem, yüksek boyutlu verilerin bilgisini düşük boyutlu bir sunum üzerinde geometrik ilişkilere sıkıştırır.

Literatürde Aksu Çayı ile ilgili yayınlanmış olan sınırlı sayıda bilimsel yayın bulunmaktadır. Mevcut yayınlarda temel olarak Aksu Çayı'nın fizikokimyasal içerikli su kalite değerlendirmesi (Kalyoncu vd. 2005) ve makroomurgasız çeşitliliği üzerine etkileri (Kalyoncu vd. 2008a, b; Kalyoncu vd. 2009) ele alınmıştır. Şener vd. (2017) ait bir çalışmada ise Ekim 2011 ve Mayıs 2012 dönemlerinde gerçekleştirilen iki izleme çalışmasından elde edilen veriler ile Aksu Çayı'nın fizikokimyasal su kalitesi değerlendirilmiştir. Değerlendirme kapsamında, izleme verileri Dünya Sağlık Örgütü ve ulusal içmesuyu kalite standartları ile karşılaştırılmıştır. Bazı su kalite parametrelerine (pH, Bikarbonat (HCO_3^-), Klorür (Cl^-), Sülfat (SO_4^{2-}), Sodyum (Na^+), Kalsiyum (Ca^{2+}), Magnezyum (Mg^{2+}), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-), Kurşun (Pb), Krom (Cr) ve Mangan (Mn)) ait izleme verileri ve bir su kalite indeksi kullanılarak Aksu Çayı'nın güney kısmında yer alan ve Akdeniz'e döküldüğü mansap noktasına kadar uzanan yaklaşık 30 km'lik kısmı için su kalitesi zayıf olarak nitelendirilmiştir (Şener vd. 2017). Aksu Çayı'nın mansap noktasına yakın bir bölgesine ait bir çalışmada ise farklı fizyografik ünitelerde yer alan toprak serilerinin morfolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, bu alan için ideal tarımsal üretim uygulamaları, toprak yönetimi ve ideal arazi kullanım planlamasına ilişkin değerlendirmeler sunulmuştur (Sarı vd. 2009; Sarı vd. 2010). Şimşek vd. (2020) ait güncel bir çalışmada ise Antalya ili Aksu ilçesi Solak köyünde tarımsal potansiyeli yüksek alüvyal depozitler üzerinde gelişen arazilerin yetenek sınıfları belirlenmiş ve arazi kullanım planlaması konusu ele alınmıştır. Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde 2018 yılında tamamlanan bir yüksek lisans tez çalışmasında ise Aşağı Aksu Çayı Havzası'ndaki jeolojik birimlerin geçirimsizlik özellikleri ve SCS (Soil Conservation Service) eğri numaraları yöntemi ile yağış-akış ilişkisi incelenmiştir (Adanır 2018). Altınova bölgesindeki YAS kirlilik hassasiyeti, kirlетici unsurlar ve risk analizine yönelik çalışmalar da literatürde yer almaktadır (Amil vd. 2020; Cil vd. 2020).

Tez çalışmasında Antalya ili Aksu ilçesinde yer alan Aksu Çayı'nın su kalitesi ve yine aynı bölgede yer alan Altınova bölgesi YAS kalitesinin zamansal ve mekânsal açıdan değerlendirilmesi amacı ile ileri istatistiksel yöntemler içinde yer alan TBA, HCA ve Kohonen ağları-SOM yöntemleri kullanılmıştır. YAS kalitesinin irdelenmesi amacı ile kirlilik hassasiyeti indeks sonuçları da istatistiksel analiz çalışmasına dahil edilmiştir. Çalışma kapsamında izleme verilerinin ön değerlendirmesi için tanımlayıcı istatistiksel araçlar (boxplot grafiklerinin oluşturulması, minimum, maksimum, medyan, aritmetik ortalama ve standart sapma değerlerinin hesaplanması) da kullanılmıştır.

Tez çalışmasının uygulama alanları olan Aksu Çayı ve Altınova bölgesinde, daha önce su kalitesi izleme çalışmaları yapılmış olmasına rağmen, çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak zamansal ve mekânsal veri analizi gerçekleştirilmemiştir. Özellikle Kohonen ağlarına ilişkin uygulama ülkemiz açısından da özgünlük içermektedir. Ek olarak, Altınova bölgesi YAS kalitesi ile hidrojeolojik parametrelerin birleştirilerek YAS kalite değerlendirilmesi yapılacak olması da literatüre katkı sağlama potansiyeline sahiptir.

2. KAYNAK TARAMASI

Su, yaşamın vazgeçilmez kaynaklarından biridir. Yüzyıllardır kendine bağımlı canlı türlerinin yaşamlarını ve nesillerini sürdürmeleri bu eşsiz kaynak sayesinde mümkün olabilmektedir. Ancak, 20. yüzyıldan itibaren dünya nüfusunun hızla artmasına bağlı olarak tarım ve sanayi sektörlerinin gelişmesi, suyun yeryüzündeki miktarını ve kalitesini olumsuz yönde etkileyerek yaşamı tehdit etmeye başlamıştır (Gökdereli 2015). Bu tehditlerin giderek artması, ülkeleri su yönetimi konusunda ciddi önlemler almaya zorlamıştır. Avrupa’da 2000 yılında yayımlanan “Su Çerçeve Direktifi (SÇD) (Directive 2000/60/EC)”, Avrupa Birliği’nin su politikası bakımından önemli bir dönüm noktası olmuştur. Direktif, çok sayıda paydaş ve karar verici arasındaki beş yıldan uzun süren görüşmeler ve müzakerelerin sonucunda ortaya çıkmış olup yer üstü suları, geçiş suları, kıyı suları ve yeraltı suları dahil tüm suların korunmasına yönelik bir çerçeve çizmektedir. SÇD’ye göre, Direktifin uygulanması ve “Nehir Havza Yönetim Planlarının (NHYP)” hazırlanması sürecinde üye ülkelerin de aktif katılımının sağlanması önemli rol oynamaktadır (European Communities 2003).

Havza yönetim planı, bir havzadaki su, toprak ve biyolojik çeşitlilik kaynaklarının, varlıklarının ve canlı yaşamının korunmasını ve geliştirilmesini sağlamak üzere koruma-kullanma dengesi gözetilerek hazırlanan entegre plandır (OGM 2014). Bu kapsamda ülkemizde, 17/10/2012 tarihli ve 28444 sayılı Resmî Gazete’de “Havza Yönetim Planlarının Hazırlanması, Uygulanması ve Takibi Yönetmeliği” yayınlanmıştır. Böylece, havza ve alt havzalardaki hem yerüstü hem de yeraltı su kaynaklarının miktar ve kalite bakımından iyi su durumunda ise bu durumunun korunması, eğer değil ise iyi su durumuna iyileştirilmesi ve havza yönetim planlarının hazırlanması için altyapı hazırlanmıştır (17.10.2012, RG: 28444).

Ülkemizde, yerüstü ve yeraltı sularının miktar ve kalite bakımından mevcut durumunun daha iyi anlaşılabilmesi ve korunabilmesi amacıyla birçok yönetmelik yer almaktadır. “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)”, ülkemizdeki yerüstü ve yeraltı su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi biçimde kullanımının sağlanması için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esasları içeren yönetmektir (31.12.2004, RG: 25687). Bu yönetmeliğe ek olarak, AB mevzuatına uyum sağlanması amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda yerüstü suları ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, su kalitesinin ve miktarının izlenmesi, bu suların kullanım maksatlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde koruma kullanma dengesi de gözetilerek ortaya konulması, korunması ve iyi su durumuna ulaşılması için alınacak tedbirlere yönelik usul ve esasların içeren “Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY)” hazırlanmıştır (30.11.2012, RG: 28483). Ayrıca, iyi durumda olan yeraltı sularının mevcut durumunun korunması, yeraltı sularının kirlenmesinin ve bozulmasının önlenmesi ve bu suların iyileştirilmesi için gerekli esasları içeren “Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik” ile de yeraltı sularının durumunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır (07.04.2012, RG: 28257). Bu sayede, su kütlesi, kalitesi, miktarı, durumu, arka plan konsantrasyonları ve kirlenici grupları gibi kavramların yaygınlaştırılması sağlanmıştır.

Yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının su kalitesini belirlemek için izleme çalışmaları önem arz etmektedir. Ancak, çok sayıda veriye ihtiyaç duyulan bu çalışmalar için

verilerin daha düzenli analizi, yorumlanması, kirlilik faktörlerinin tanımlanması ve su kalitesindeki zamansal/mekânsal değişimlerin anlaşılması için Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler'in ve Kendi Kendini Düzenleyen Haritalar'ın (Self Organizing Map-SOM) kullanımı oldukça önemlidir. Bu çalışmada ise, Çok değişkenli İstatistiksel Yöntemler'den "Temel Bileşen Analizi (TBA) (Principle Component Analysis-PCA)" ile "Kümeleme Analizi (Cluster Analysis-CA)" ve SOM yöntemleri kullanılarak Antalya'da yer alan Aksu Çayı yerüstü su kalitesi ile Altınova Bölgesi yeraltısuyu su kalitesi verilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, literatürde çeşitli araştırmalar yapılmış ve belirlenen yöntemlerin kullanılması ile ilgili gerçekleştirilmiş çalışmalar irdelenmiştir.

2.1. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Yerüstü Su Kaynakları için Gerçekleştirilen Çalışmalar

İşçen vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, 2004-2005 yıllarında, Uluabat Gölü yerüstü suyundan elde edilen karmaşık bir veri setinin yorumlanması için çok değişkenli istatistiksel yaklaşımlar uygulanmıştır. Veri seti, göldeki 12 örnekleme istasyonunda gerçekleştirilen 1 yıllık bir izleme sonuçlarından oluşmaktadır. Aralık 2004, Ocak ve Şubat 2005 hariç, toplam 1.296 gözlem olacak şekilde, 12 adet parametre (Sıcaklık (T), pH, Çözünmüş Oksijen (ÇO), Fosfat Fosforu (PO₄-P), Amonyum Azotu (NH₄-N), Nitrit Azotu (NO₂-N), Nitrat Azotu (NO₃-N), SO₄²⁻, 5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅), KOİ, Toplam Koliform (TC), Fekal Koliform (FC)) aylık olarak izlenmiştir. Veri seti, CA, TBA ve TBA üzerinde Faktör Analizi (FA) kullanılarak işlenmiştir. CA, incelenen su sistemindeki farklı fizikokimyasal özellikleri ve kirlilik seviyelerini yansıtan örnekleme alanları arasında iki farklı benzerlik grubu ortaya çıkarmıştır. Veri yapısından sorumlu olan ve veri setindeki toplam varyansın %77,35'ini açıklayan üç gizli faktör tanımlanmıştır. Mikrobiyolojik faktör olarak adlandırılan birinci faktör, toplam varyansın %32,34'ünü açıklamıştır. Organik-besin faktörleri olarak adlandırılan ikinci faktör, varyansların %25,46'sını ve fizikokimyasal faktörler olarak adlandırılan üçüncü faktör ise %19,54'ünü açıklamıştır.

Varol ve Şen (2009) tarafından yapılan çalışmada, zamansal/mekânsal değişimlerin değerlendirilmesi ve Behrimaz Çayı'nın 1 yıllık süreçte, dört farklı alanda, 20 su kalitesi parametresinin izlenmesi ile elde edilen su kalitesi veri setinin yorumlanması için CA, TBA ve FA gibi çok değişkenli istatistiksel teknikler uygulanmıştır. Hiyerarşik CA, su kalitesi özellikleri açısından benzerliklerine göre, 12 ayı iki döneme (birinci ve ikinci dönem) ayırırken, dört izleme alanını iki gruba (grup A ve grup B) sınıflandırmıştır. Kümeleme analizinden elde edilen iki farklı grubun veri setlerine uygulanan FA/TBA, az kirli ve orta kirli alanların su kalitesi veri setlerinde sırasıyla toplam varyansın %88,32'sine ve %88,93'üne tekabül eden beş gizli faktörle sonuçlanmıştır. Faktör analizinden elde edilen değişkenler, su kalitesi değişikliklerinden sorumlu parametrelerin esas olarak deşarj, T ve çözünür mineraller (doğal) ve besinler (noktasal olmayan kaynaklar: tarımsal faaliyetler) ile nispeten daha az kirli alanlarda ilişkili olduğunu göstermiştir; ve havzadaki orta derecede kirli alanlarda organik kirlilik (noktasal kaynak: evsel atık su) ve besin maddeleri (noktasal olmayan kaynaklar: tarımsal faaliyetler ve köylerden gelen yüzey akışı) olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, veri setlerinin analizi ve yorumlanmasında, su kalitesi değerlendirmesinde, kirlilik kaynaklarının/faktörlerinin tanımlanmasında ve etkin akarsu kalitesi yönetimi için su kalitesindeki zamansal/mekânsal değişimlerin anlaşılmasında çok değişkenli istatistiksel

tekniklerin faydalı olduğunu göstermiştir.

Akbal vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin orta Karadeniz kıyılarındaki yerüstü suyu kalitesindeki mevsimsel ve mekânsal değişimler araştırılmıştır. Numuneler, 2007-2008 yılları arasında nehirler ve deniz suyu dahil olmak üzere on izleme istasyonundan toplanmıştır. Bu numuneler, 25 parametre için analiz edilmiştir: Toplam Karbon, Toplam İnorganik Karbon, Toplam Organik Karbon (TOK), Cr, Kadmiyum (Cd), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Demir (Fe), Nikel (Ni), manganez, fenol, yüzey aktif maddeler, Amonyum (NH_4^+), NO_2^- ve NO_3^- -N, Toplam Fosfor (TP), emilebilir organik halojen, SO_4^{2-} , sertlik, ÇO, pH, T, Toplam Çözünmüş Katı (TDS), Elektriksel İletkenlik (EC) ve S. Yerüstü sularındaki kirlilik parametrelerinin kaynak dağılımını belirlemek amacıyla örnekleme sahaları arasındaki benzerlikleri analiz etmek için çok değişkenli istatistiksel teknikler, CA ve FA/TBA uygulanmıştır. Nehir suyu için yedi faktör varyansın %82,24'ünü açıklarken, deniz suyu için olan yedi faktör ise toplam varyansın %89,65'ini açıklamıştır. Faktör analizinden elde edilen değişkenler, su kalitesi değişikliklerinden sorumlu olan parametrelerin temel olarak organik kirlilik (kentsel deşarjlar), inorganik kirlilik (endüstriyel deşarjlar ve atık bertaraf alanları), besinler (tarımsal akış) ve çözünmüş tuzlar (toprak sızıntısı ve akış süreci) ile ilgili olduğunu göstermiştir.

Yap vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, Malezya Yarımadası'nın güney kesimindeki 20 örnekleme alanından kıyı suyu örnekleri toplanmıştır. Fiziko-kimyasal parametrelerden T, S, ÇO, pH, TDS, Spesifik İletkenlik (Spc) ve bulanıklık ile çözünmüş iz metallerden Cd, Cu, Fe, Ni, Pb ve Çinko (Zn) parametreleri yerüstü suyu (0-20 cm) numunesi şeklinde toplanmıştır. Çok değişkenli istatistiksel analize dayalı olarak (korelasyon, CA ve TBA dahil), kirli alanlar bulunmuştur. Pasir Puteh ve Tg. Kupang alanlarında, Ni ve Pb parametreleri kıyı sularında yüksek çeşitlilik gösteren iki ana çözünmüş metal olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma sonucunda, su kalitesinin izlenmesine ve arıtılmamış antropojenik atıkların nehirlerle ve kıyı sularına deşarjının kontrolüne ihtiyaç duyulduğu vurgusu yapılmıştır.

Bilgin ve Konaç (2016) tarafından yapılan çalışmada, Çoruh Havzası'ndaki su kalitesi verilerinin ve ağır metal analiz sonuçlarının çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak araştırılması amaçlanmıştır. 21 su kalitesi parametresinin izlenmesi, Çoruh Havzası'ndaki 14 izleme alanından Haziran 2014 ile Mayıs 2015 tarihleri arasında aylık numuneler toplanarak gerçekleştirilmiştir. Bu veriler varyans analizi (ANOVA), CA ve FA/TBA istatistiksel yöntemleri kullanılarak yorumlanmıştır. ANOVA analizine göre 14 izleme alanından alınan numuneler arasında EC, Zn, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, NO_2^- , SO_4^{2-} , alkalinite, Na, K, Ca parametreleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0.05$). Ayrıca, CA ile iki grup elde edilmiştir. Birinci grup, ağır metal kirliliğinin yüksek olduğu maden sahası atıksularının bulunduğu alanları, ikinci grup ise evsel atıksuların ve tarım alanlarından gelen atıksuların daha az kirliliğe neden olduğu alanları kapsamıştır. FA/TBA sonucunda dört faktör belirlenmiştir. Bu dört faktör, su kalitesi verilerinin %62,7'sini açıklamaktadır. Su kalitesinin madencilik faaliyetleri, evsel atıksular, jeolojik yapı ve tarım alanlarının atıksularından etkilendiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada, Çoruh Nehri Havzası'nın su kalitesini farklı noktalarda etkileyen çevresel tehlikeler tespit edilmiştir. Böylece havzada su kalitesinin iyileştirilmesine yönelik yürütülen çevre yönetimi çalışmalarında karar vericilere ve yöneticilere yol göstermesi beklenmektedir.

Yerüstü su kalitesinin zamansal ve mekânsal değişiminin değerlendirilmesi ve yorumlanması, içme suyu kaynaklarının değerlendirilmesi, restorasyonu ve korunması için çok önemlidir. Chow vd. (2016) tarafından Tayvan'da gerçekleştirilen çalışmada, CA, FA/TBA ve Diskriminant Analizi (DA) gibi farklı çok değişkenli istatistiksel teknikler rapor edilmiştir. Fei-Tsui Rezervuar Havzası'nda 14 farklı örnekleme alanı için 19 parametreden oluşturulan su kalitesi veri seti 6 yıl (2005–2010) için elde edilmiştir. Hiyerarşik CA, 14 örnekleme alanını üç kümede gruplandırmıştır: yüksek, orta ve düşük kirlilik bölgeleri. Bu çalışma, baraj çıkışından su salımının nehrin mansabındaki kirlletici konsantrasyonlarını daha da artıracağını ortaya koymuştur. FA/TBA, su kalitesi veri setindeki toplam varyansın %72,8'ini açıklamak için gereken 13 parametreye (orijinal 19'un %68'i) işaret ettiğinden, önemli veri azalmasına neden olmamıştır. TBA'dan elde edilen değişkenler, su kalitesi değişiminden sorumlu olan parametrelerin temel olarak minerallerle ilgili parametreler (doğal), besin grubu (noktasal olmayan kaynak kirliliği), fiziksel parametreler (doğal) ve organik kirlleticiler (antropojenik kaynaklar) ile ilişkili olduğunu ileri sürmüştür. DA için sırasıyla beş ve yedi parametre kullanılmıştır. Bu beş parametre, T, ÇO, Ca, TDS ve bulanıklık iken, yedi parametre ise, BOİ₅, ÇO, NO₃, TDS, toplam alkalilik, bulanıklık ile su sıcaklığıdır ve sırasıyla %88 ile %90 doğru atama ile zaman ve mekân arasındaki fark gözetilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma, örnekleme ve izleme protokolünün tasarlanması, karmaşık veri setlerinin analizi ve yorumlanması, kirlilik kaynaklarının/faktörlerinin tanımlanması için çok değişkenli istatistiksel tekniklerin yararlılığını ortaya koymakta ve kirlilik kaynaklarının/faktörlerinin Fei-Tsui Rezervuar Havzası'nın sürdürülebilir yönetiminde olası kontrol önlemlerinin önceliklerinin seçilmesi için güvenilir bir kılavuz sağlamıştır.

Cezayir'deki Ain Zada Barajı'nda yerüstü suyu kalitesinin zamansal değişimlerinin değerlendirilmesi için 16 farklı parametrenin 10 yıl boyunca izlenmesi ile elde edilen verilere CA, TBA, FA ve DA içerikli çok değişkenli istatistiksel teknikler uygulanmıştır. Farklı parametreler verilerin homojen olduğunu göstermektedir. Bunun aksine, iklim değişikliği ile bağlantılı olarak yıllık değişim, aylık değişimden daha önemlidir. Bouguerne vd. (2017) tarafından yapılan çalışmaya göre, Su Kalitesi İndeksi değerleri, yerüstü suyunu orta ila iyi kalite olarak sınıflandırmıştır. Pearson korelasyon analizi, S ile tüm değişkenler arasında anlamlı bir pozitif ilişki ve barajın su hacmi ile tüm değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğunu göstermiştir. CA için iki tür vardır: R ve Q modları. R modundaki CA, 16 değişkeni (TDS, pH, AKM, T, Rezervuar Kapasitesi, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, KOİ, BOİ₅ ve organik madde) benzer su kalitesi özelliklerine sahip 4 küme halinde gruplandırırken, Q modunda ise, 160 örnekleme, toplam çözünmüş katıların ve kapasitenin değişkenler ve yıllar arasında ana ayırt edici faktörler gibi görüldüğü 2 istatistiksel gruba ayrılmıştır. CA, verileri biri kurak yıllardan, diğeri yağışlı yıllardan oluşan iki gruba ayırmıştır. Veri setlerine uygulanan TBA ve FA, toplam varyansın %69,92'sini temsil eden iki önemli faktörle sonuçlanmıştır. Tuzlanma faktörü olarak birinci faktör toplam varyansın %58,68'ini açıklamıştır. Organik kirlilik faktörü olarak adlandırılabilir ikinci faktör, toplam varyansın %11,24'ünü açıklamıştır. Diskriminant analizinin sonuçları, zamansal varyasyon analizinde sadece 11 parametrenin gerekli olduğunu göstermiş ve %90'dan fazla doğru atamayı sağlamıştır.

Hamil vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Cezayir'deki Ghrib Barajı'ndaki su kalitesi durumu ve kirlilik kaynakları araştırılmıştır. TBA/FA, CA ve Çoklu Regresyon Analizi (MRA) dahil olmak üzere bir dizi çok değişkenli istatistiksel teknik uygulanarak su kalitesi hakkında daha doğru bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır. 5 yıl boyunca, gölün

içinde ve çevresinde bulunan 6 farklı bölgeden 19 fizikokimyasal parametre içerikli veri seti elde edilmiştir. İstatistiksel olarak önemli mekânsal ve mevsimsel farklılıkları araştırmak için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. ANOVA'nın sonuçları, tüm parametreler için barajın su kalitesinde istatistiksel olarak önemli bir zamansal varyasyon olduğunu göstermiştir. Ek olarak, sadece organik madde istatistiksel olarak anlamlı bir mekânsal varyasyona sahip bulunmuştur. Çoklu doğrusal modellerde, organik ve inorganik parametreler arasında bir ilişki bulunmuştur; kökenleri, havzadaki tarım arazilerinin mekanik erozyon sürecinden gelmektedir. TBA/FA, su kalitesi veri setindeki toplam varyansın %94,96'sından fazlasını açıklayan, veri yapısından sorumlu beş baskın faktörü tanımlamıştır. Bu durum, su bileşenlerinin konsantrasyonundaki farklılıkların, temel olarak, doğal süreçlerin yanı sıra çoklu antropojenik faaliyetlerle ilgili olduğunu göstermiştir. CA sonuçları, örnekleme istasyonlarının mekânsal homojenliğini gösteren iki benzer gruba ayrıldığını göstermiştir. Mevsimsel gruplandırma ise, kirliliğin kaynağının mevsimlerdeki akış seviyesiyle ilgili olduğunu ortaya koymuştur.

2.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Yeraltı Su Kaynakları için Gerçekleştirilen Çalışmalar

Nosrati ve Eeckhaut (2012) tarafından yapılan çalışmada, CA, FA, TBA ve DA içerikli çok değişkenli istatistiksel teknikler, su kalitesi değişkenlerinin değerlendirilmesi ve Hashtgerd Ovası'ndan elde edilen büyük, karmaşık YAS kalitesi veri setinin yorumlanması için uygulanmıştır. Bu amaçla, 26 farklı kuyudan alınan YAS numunelerinde iki dönem için 13 parametre izlenmiştir. Hiyerarşik CA, YAS kalite özelliklerinin benzerliğine dayalı olarak 26 örnekleme alanını iki kümeye ayırmıştır. TBA'ya dayalı FA, CA'dan elde edilen iki farklı grubun veri setlerine uygulanmış ve iki kümenin YAS kalitesi veri setlerindeki toplam varyansın sırasıyla %79,56 ve %81,57'sini açıklayan üç ve beş etkili faktör ile sonuçlanmıştır. FA'dan elde edilen ana faktörler, YAS kalitesini etkileyen parametrelerin Hashtgerd Ova'sındaki örnekleme alanlarında temel olarak, doğal (toprak ve kayaların çözünmesi), noktasal (evsel atıksu) ve noktasal olmayan kaynak kirliliği (tarım ve meyve bahçesi uygulamaları) ile ilgili olduğunu göstermiştir. DA, ovadaki iki YAS kuyusu kümesini ayırt etmek için sadece üç parametre (EC, Mg^{2+} ve pH) kullandığından önemli bir veri azalması sağlayarak %98'den fazla doğru atama yapmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, büyük bir veri setinin yorumlanması, azaltılması ve etkin YAS kalitesi yönetimi amacıyla kaynakların belirlenmesi için çok değişkenli istatistiksel tekniklerin birlikte kullanımının etkisini ortaya koymuştur.

Arslan (2013) tarafından, Bafra Ovası'ndaki 28 YAS kuyusunda 1 yıl boyunca izlenen su kalitesi verileri için CA, FA ve TBA çok değişkenli istatistiksel teknikler uygulanmıştır. CA sonuçları, çalışma alanındaki YAS kuyularının üç gruba (A, B ve C) ayrıldığını, faktör analizi ise 12 parametrenin toplam varyansının %89,64'ünü oluşturduğunu ve temel olarak üç faktörden etkilendiğini göstermiştir. Faktör 1 (deniz suyu tuzlanması) EC konsantrasyonlarını, TDS, Cl^- , Na^+ ve sodyum adsorpsiyon oranını (SAR), faktör 2 (karışım suyu) $\delta^{18}O$, δD ve T'yi ve faktör 3 (taze) Ca^{2+} parametresini içermektedir. Suyun kaynağının belirlenmesi için Ca/Cl , Cl/HCO_3 , Mg/Cl , Ca/Na , Mg/Ca ve SO_4/Cl molar oranlar bulunmuştur. Bu oranlar kullanılarak CA uygulanmış ve veri seti iki gruba (Grup 1 ve Grup 2) ayrılmıştır. Birinci grup için su kalitesi deniz suyundan etkilenirken, ikinci gruptaki su kalitesi tatlı su veya deniz suyundan çok daha az etkilenmiş bölgeleri kapsamıştır. Bu çalışma sonucunda çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin kaynak belirlemede oldukça faydalı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Taşan vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, sulamaların sadece YAS ile yapıldığı Alaçam'da YAS kalitesi değerlendirilmiş ve 2014 yılında sulama öncesi ve sonrası dönemlerde 35 YAS kuyusundan numuneler alınmıştır. Numuneler 18 su kalite parametresi için analiz edilmiştir. Yeraltı sularının sulamaya uygunluğunu incelemek için SAR, kalıntı sodyum karbonat (RSC) ve %Na değerleri hesaplanmıştır. YAS kalite parametrelerini değerlendirmek için hiyerarşik CA ve TBA kullanılmıştır. Çalışma alanında sulama öncesi dönemde yeraltısuyunun ortalama EC değeri 1,21 dS/m ve sulama sonrası 1,30 dS/m'dir. Piper diyagramı ve CA, yeraltı sularının çoğunun CaHCO_3 tipi su özelliklerine sahip olduğunu ve sadece %3'ünün baskın tip olarak NaCl 'ye sahip olduğunu göstermiştir. Deniz suyu girişi, YAS kalitesini etkileyen birincil faktör olarak tanımlanmıştır. Kirlenici kaynaklarını değerlendirmek için yapılan çok değişkenli istatistiksel analizler, YAS kalitesinin deniz suyu girişi, iyon değişimi, mineral çözünmesi ve antropojenik faktörlerden etkilendiğini ortaya koymuştur. Bu çalışma doğrultusunda, su kaynaklarını yönetmek için çok değişkenli istatistiksel yöntemler ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılmasının hem planlamacılar hem de karar vericiler için faydalı olacağı bildirilmiştir.

Usman vd. (2014) tarafından Terengganu, Malezya'da yapılan çalışmada, yeraltısuyunun mekânsal değişkenliğini belirlemek ve kaynaklarını belirlemek amacıyla CA, DA, TBA çok değişkenli istatistiksel teknikler kullanılarak, büyük hidrokimya veri setinden elde edilen sonuçlar rapor edilmiştir. Su kalitesi izleme verileri, 24 su kalitesi parametresi için 6 yıl boyunca (2006-2011) on farklı kuyudan elde edilmiştir. CA, numune alma kuyuları arasında farklı konumlardaki su kalitesindeki farklılıkları yansıtan üç küme oluşturmuştur. Bir veri indirgeme tekniği olarak DA, su kalitesindeki mekânsal değişkenliği değerlendirmek için kullanılmıştır. Orijinal setteki 24 parametreden, ileri adımlı mod kullanılarak kümeler arasında ayırım yapmak için %73,33 doğru atama sağlayan yalnızca 3 parametre (Ca^+ , NO_2^- ve pH) kullanılmıştır. Geriye doğru kademeli mod kullanılarak da %83,33 doğru atama sağlayan 9 parametre (Ca^+ , Mg^{2+} , Fe^{+2} , SO_4^{2-} , Cl^- , As, Mn, NO_2^- ve iletkenlik) kullanılmıştır. Üç küme bölgesine dayalı olarak, doğal ve antropojenik faaliyetler nedeniyle her bir su kalitesi parametresinin temelini incelemek için TBA uygulanmıştır. Veri setindeki toplam varyansın %76,45'inden sorumlu 8 temel bileşen belirlenmiştir. Elde edilen temel bileşenler, kümelerin YAS kalitesini etkileyen parametrelerin, bölgedeki doğal (toprak ve kayaların çözünmesi), noktasal (kentsel atıksular ve endüstriler) ve noktasal olmayan kaynaklı kirlilik (tarım) ile ilgili olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, jeokimya da çok değişkenli istatistiksel tekniklerin oldukça faydalı olduğunu göstermiştir.

Su kaynaklarının antropojenik kirliliğe karşı hassasiyetinin değerlendirilmesinin, bu kirlenmeye daha hassas alanların belirlenmesi açısından etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Cap-Bon yarımadasında (Tunus), yeraltısuyunun çeşitli amaçlar için kullanımı sürekli olarak artmaktadır. Bu durum, YAS sisteminin nasıl çalıştığının yanı sıra kirlenmeye karşı hassasiyetinin de acilen anlaşılmasını gerektirmektedir. Zghibi vd. (2016) tarafından gerçekleştirilen bu araştırmada, Korba akiferindeki YAS kaynaklarının hassasiyeti ve elde edilen hassasiyet haritası üzerindeki her bir DRASTIC parametresinin etkisini değerlendirmek için hassasiyet analizinin yanı sıra DRASTIC indeks yönteminin uygulanması amaçlanmıştır. DRASTIC modelinin yedi katmanını hazırlamak ve DRASTIC indeksini hesaplamak için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uygulanmış olup, DRASTIC indeks sonucu 60–220 aralığında tespit edilmiştir. Yoğun sebze yetiştiriciliğinin yüksek kirlilik potansiyeline sahip olması nedeniyle en yüksek

DRASTIC indeks değeri çalışma alanının orta kısmında görülmüştür. Çalışma alanının kuzey ve güney kısımları ise, düşük, orta ve yüksek derecede hassasiyet sergilemiştir. Bu çalışmada uygulanan hassasiyet analizi, net beslenim, hidrolik iletkenlik ve YAS derinliğinin hassasiyeti belirleyen temel faktörler olduğunu göstermiştir. Ayrıca, hassasiyet analizlerinde, net beslenim ve su derinliği parametrelerinin kaldırılmasının, DRASTIC indeksinde büyük değişikliklere neden olduğunu da ortaya çıkarmıştır. Model, basit doğrusal regresyon analizi kullanılarak doğrulanmış ve DRASTIC hassasiyet indeksi ile nitrat (NO_3) konsantrasyonları ($R^2=0.76$) arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu analizler, hassasiyet haritasının NO_3 dağılımına oldukça benzer olduğunu doğrulamıştır. Sonuç olarak, hassasiyet çalışmasının Korba'nın kıyı akiferindeki YAS kirliliğinin korunmasına ve önlenmesine yardımcı olabileceği öngörülmüştür.

Karstlaşmış karbonat kaya akiferinden boşalan yaklaşık 150 kıyı kaynak çıkışı, 3000 mg/L TDS madde ile hafif acımsı olan Azmak akıntısını oluşturmaktadır. Açıklık ve Ekmekçi (2018) tarafından yapılan çalışmada, Azmak Kaynak Bölgesi'nin YAS kalitesini değerlendirmek amacıyla FA, korelasyon analizi ve CA içeren çok değişkenli istatistiksel yöntemler, kuru ve yağışlı mevsimlerde örneklenen 19 numune alım noktası için 8 değişken (Ca^{+2} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl , SO_4^{2-} , EC25 ve B) kullanılarak uygulanmıştır. Hidrokimyasal analiz sonuçları, örnekleme noktalarının çoğunda katyon ve anyon bolluğunun sırasıyla $\text{Na}^+ > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$ ve $\text{Cl} > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ olarak sıralandığını ortaya koymuştur. FA sonuçları, kuru ve yağışlı mevsimlerde toplam varyansın sırasıyla %98 ve %91'ini üç faktörün açıkladığını göstermiştir. Faktör 1'in deniz suyuyla ilişkili olduğu, faktör 2'nin tatlı suyun etkisini gösterdiği ve faktör 3'ün mevsimsel tatlı yerüstü suyu katkısının etkisini yansıttığı belirlenmiştir. CA sonuçları, deniz suyu katkı oranına göre iki ana grup ve dört alt grubun tanımlanabileceğini göstermiştir. A Kümesi (A1 ve A2) deniz suyundan etkilenen suları temsil ederken, deniz suyu müdahalesinden daha az etkilenen sular B kümesinde (B1 ve B2) gruplandırılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma, çalışma alanındaki YAS akış mekanizmalarının tanımlanması için çok değişkenli istatistiksel analiz tekniklerinin faydalı yöntemler olduğunu göstermiştir.

Patil vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, Kanavi Halla Alt Havzası'na (KHSB) ait 45 adet YAS numunesi verileri için SPSS yazılımı yardımıyla çok değişkenli istatistiksel analiz uygulanmıştır. Yeraltısuyunun kalitesi, analiz edilen çeşitli parametreler için belirlenmiş ve konsantrasyon değerleri, korelasyon matrisi kullanılarak diğer parametrelerle ilişkilendirilmiştir. TBA tekniği, %80,28 toplam varyans ile dört bileşenin çıkarıldığı su kalitesi parametrelerine uygulanmıştır. Çıkarılan bileşenler, her bir faktörün daha yüksek yüklemelerinin arkasındaki kaynakların jeolojik, tarımsal, yağış, evsel atıksu ve endüstriyel faaliyetler olduğunu göstermiştir. Yapılan Kaiser-Meyer-Olkin ve Bartlett testinin sonucu 0,659 olarak standart değerden (0,5) daha büyük bulunmuştur. Su kalitesi İndeksine (Water Quality Index-WQI) dayanarak, KHSB YAS kalitesinin 2/3'ünün kötü ile çok kötü koşullar altında olduğu ve mevcut yeraltısuyunun neredeyse %26'sının kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, YAS kalitesi için çok değişkenli istatistiklerin ve WQI analizinin etkin kullanımına katkıda bulunmuştur. Kullanılan yöntemler, YAS hidrojeokimyasının anlaşılmasına ve daha büyük veri kümesini etkili yorumlama ile daha küçük kümelerle indirgemeye yardımcı olmuştur.

Vrouhakis vd. (2022) tarafından yüzeyden salınan kirlenmeye karşı hassasiyeti değerlendirmek için Tirnavos Havzası'na (orta Yunanistan) içsel YAS hassasiyetini

değerlendirmek için yeni bir indeks tabanlı yöntem (RIVA) uygulanmıştır. RIVA yöntemini uygulamak için saha araştırmalarından, önceki çalışmalardan ve literatürden elde edilen veriler kullanılmıştır. Birleştirilmiş sonuçlar, YAS hassasiyetinin mekânsal dağılımını çok düşükten çok yükseğe doğru sıralamıştır. Ayrıca, modellenen sonuçlar, 43 kuyudan elde edilen NO_3^- analiz sonuçları ile başarılı bir şekilde doğrulanmıştır. Genel olarak, modellenen ve izlenen değerler %80'den fazla eşleşmiş ve RIVA yönteminin başarılı bir şekilde uygulandığı gösterilmiştir. Yanal çapraz akışlardan ve bitişik alanlardan gelen kirlenmeden ağırlıklı olarak etkilenen alanlarda çok az sapma gözlenmiştir. Böylece, RIVA, doğruluk, veri yoğunluğu ve yatırım açısından son derece doğru sonuçlara ulaşmak için etkili bir yöntem olarak önerilmiştir. Sonuç olarak, YAS kaynakları yönetimi bağlamında risk değerlendirmesi ve karar verme süreçlerinde daha fazla tercih edilebileceği bildirilmiştir.

2.3. Kendi Kendini Organize Eden Haritalar Kullanılarak Gerçekleştirilen Çalışmalar

Monyr vd. (2016) tarafından Sidi Chahed Barajı için kurulduğu 1997 yılından itibaren gözlenen metal kirliliğinin kaynağı araştırılmıştır. Çalışmada, ana vadilerden (Wadi Mikkes, Wadi Mikkes nehir ağzı, Wadi Lmallah nehir ağzı ve Wadi Jajouiyne nehir ağzı) elde edilen 26 numune ve bunların 5 cm kalınlığında tortu dilimleri halinde kesilmesiyle oluşturulan veri tabanı kullanılmıştır. Verilerin SOM haritaları ile sınıflandırılması, örneklerin mekânsal ve zamansal dağılımının anlaşılmasına ve görselleştirilmesine imkan vermiştir. Elde edilen sonuçları doğrulamak için, TBA ve SOM haritalarının hiyerarşik sınıflandırması (SOM HCA) da yapılmıştır. Sonuçlar, farklı metal elementleri arasındaki bağımlılıkları göstermiş ve incelenen sedimanları kirlilik seviyelerine göre dört sınıfa ayırmıştır.

Belgacem (2018) tarafından, Tunus'un güneydoğusundaki El Hamma akiferinde gerçekleştirilen çalışmada, El Hamma-Gabes hidrotermal akiferindeki YAS akış yönünü değerlendirmek için jeokimyasal ve izotopik veriler, SOM haritaları, sıcaklık soğuma eğilimi ve Kriging teknikleri kullanılmış ve komşu Jeffara-Gabes akiferleriyle yanal iletişiminin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 32 kuyu için ana iyonlar, EC, pH, TDS ve kararlı izotoplar ($\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$) için analizler yapılmıştır. YAS akış yönünü belirlemek için kriging teknikleri kullanılmıştır. SOM haritası, suların kimyasal ve izotopik bileşime göre üç sınıfa ayrıldığını göstermiştir. Bu kümeler, Continental Intercalaire akiferinden bir hidrotermal YAS sınıfını, Jeffara-Gabes akiferi ve karma su sınıfına karşılık gelen sığ bir YAS sınıfını temsil etmektedir. YAS soğuma eğilimi ve kararlı izotoplar, YAS akışının çalışma alanının batısından doğusuna doğru olduğunu ve Jeffara akiferinin El Hamma termal akiferinden yeniden dolduğunu göstermiştir.

Li vd. (2018) tarafından orta ve güney Fujian kıyı bölgesinde yapılan çalışmada, su kalitesinin mekânsal özelliklerini araştırmak için 19 adet su kalitesi parametresi (T, S, pH, CO_2 , alkalilik, kimyasal oksijen ihtiyacı, besinler $\text{NH}_4\text{-N}$, H_2SiO_3 , PO_4^{3-} , NO_2^- ve NO_3^- , ağır metaller/metaloid Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg ve Cr^{6+} ve yağ), 94 farklı numune alım noktasında, yüzey, orta ve alt su katmanlarında izlenmiş ve elde edilen veriler SOM haritaları ile görselleştirilmiştir. Ortak bir kaynağa işaret eden ve birbiriyle korelasyonu olan değişkenler için benzer desenler gözlemlenmiştir. pH, KOH , As, Hg, Pb ve Cr^{6+} muhtemelen endüstrilerden kaynaklanırken, $\text{NH}_4\text{-N}$, NO_2^- , NO_3^- ve PO_4^{3-} besin maddeleri esas olarak tarım ve su ürünleri yetiştiriciliğine atfedilmiştir. SOM'daki k-means kümelemesi, su kalitesi verilerini, farklı seviyelerde ağır metal/metaloid kirliliği ve besin

kirliliği ile düşük tuzluluktan yüksek tuzluluğa kadar değişen ve üç temsili su tipini ortaya çıkaran dokuz kümede gruplandırmıştır. Su kalitesindeki mekânsal değişiklikler, doğal faktörlerin (nehir akıntıları, gelgitler ve kıyı akıntıları) yanı sıra antropojenik faaliyetlerin de (deniz ürünleri yetiştiriciliği, endüstriyel ve kentsel deşarjlar ile tarımsal atıklar) etkilerini yansıtmıştır. TBA, bir yandan SOM tarafından elde edilen kümeleme sonuçlarını doğrularken, diğer yandan ise sınıflandırma süreçlerini yöneten baskın değişkenler hakkında daha ayrıntılı bir sınıflandırma ve ek bilgi sağlamıştır. Bu çalışmanın sonuçları, SOM'un su kalitesini yönlendiren kalıpları ve süreçleri daha iyi anlamak için etkili bir araç olduğunu göstermektedir.

Quzerbane vd. (2021) tarafından Essaouira senklinalinin (Fas) kıyı akiferinde gerçekleştirilen çalışmada, yeraltısuyunun tuzlanmasına ait süreçlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Mekânsal/zamansal varyasyonlarını ve kökenlerini anlamak için, Plio Pleistosen akiferinin hidrokimyasal verileri ve fizikokimyasal parametreleri üzerinde çok kriterli analiz yaklaşımı kullanılmıştır. Günümüzde, entegre su kaynakları yönetimi yerel, bölgesel, ulusal ve uluslararası açıdan çok önemli hale gelmiştir. Bu yönetim, insani, ekonomik ve politik yönler üzerinde doğrudan etkileri olabilecek aşırı hidrolojik olaylar (kuraklık veya sel) tarafından tercih edilmektedir. Bu yüzden, bir kaynağın uygun yönetimi, su kalitesi değerlendirmesini gerektirmektedir. Çalışmada 47 adet numune alım noktasından elde edilen veri setini, zamansal ve mekânsal olarak irdeleyebilmek açısından SOM haritalama yöntemi kullanılmıştır. Çalışma alanının merkezinden güneybatıya doğru fiziko-kimyasal parametre değerlerinin artması, zaman ve mekânın bir fonksiyonu olarak gözlenmiştir.

2.4. Aksu Çayı için Gerçekleştirilen Çalışmalar

Kalyoncu vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Isparta ilinden doğan ve Antalya ilinde Akdeniz'e dökülen Aksu Çayı'nın su kalitesinin belirlenmesi ve fizikokimyasal parametrelerinin makroomurgasız çeşitliliği üzerine olan etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma, Şubat 2000 ve Temmuz 2001 tarihleri arasında yürütülmüştür. Akarsu geneli için, biyolojik su kalitesi verilerine göre yapılan değerlendirmede üç, fizikokimyasal verilere göre yapılan su kalitesi değerlendirmesinde dört farklı su kalitesi sınıfının bulunduğu belirlenmiştir. Aksu Çayı'nda seçilen I. örnekleme noktasının iyi su kalitesi sınıfında olduğu, II. ve III. örnekleme noktalarının kirlilik yükü taşıdığı görülse bile bu kirlilik yükünün diğer örnekleme noktalarında olumlu yönde değiştiği tespit edilmiştir. Uygulanan istatistiksel analiz yöntemi sonuçlarına göre, fizikokimyasal parametrelerin makroomurgasız çeşitliliği üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Örnekleme noktaları arasında yapılan değerlendirmede, aylara ve yıllık ortalamalara göre en yüksek çeşitlilik I. örnekleme noktası için belirlenmiştir.

Şener vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Karacaören-1 Baraj Gölü'nü besleyen ve Isparta ilinden Akdeniz'e yaklaşık 145 km akan Aksu Nehri'nin su kalitesinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, nehrin akış yolu boyunca 21 farklı izleme noktasından (Ekim 2011 ve Mayıs 2012 olmak üzere iki dönem) alınan su numunelerinin fizikokimyasal analizleri incelenmiştir. Analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk İçme Suyu Kalite Standartları (TS 266 2005) tarafından tavsiye edilen/izin verilen maksimum sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. İçme amaçlı su kalitesi, WOI yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş olup, çalışmada hesaplanan WQI değerleri 35,61 ile 337,52 arasında hesaplanmıştır. Hazırlanan WQI haritası, Karacaören-1 Baraj Gölü'nün genel olarak iyi su kalitesine sahip olduğunu göstermiştir. Ancak, nehir

havzasının kuzey ve güneyinde su kalitesi zayıf ve çok kötü olarak tespit edilmiştir. Bu bölgelerdeki su kalitesine noktasal ve yayılı kirleticilerin etkileri bulunmaktadır. Ayrıca, bu çalışma için WQI'nin belirlenmesinde en etkili su kalitesi parametreleri KOİ ve Mg olarak belirlenmiştir.

Davraz ve Varol (2022) tarafından yapılan çalışmada, Burdur kent merkezinin içme suyu ihtiyacının karşılanması için yapılması planlanan barajı besleyecek olan, Aksu Çayı sularının hidrojeokimyasal ve kalite özellikleri araştırılması amaçlanmıştır. İnceleme alanındaki suların $MgHCO_3$ açısından zengin olduğunu göstermiştir. Yerüstü ve yeraltısularının kimyasal yapısını tanımlamak için majör iyon içeriklerinden yararlanılmıştır. Havzada, yerüstü ve yeraltısularının kaya-su etkileşimine bağlı olarak kimyasının hem karbonat hem de silikat süreçlerinden etkilendiği tespit edilmiştir. İnceleme alanı içerisinde boşalan kaynak sularının EC değeri 460-550 $\mu S/cm$ arasında iken, dere sularının EC değerinin 460-620 $\mu S/cm$ arasında değiştiği görülmüştür. Su örneklerinin pH değeri ise 8,50-8,73 arasında ölçülmüştür. Aksu Çayını besleyen yerüstü ve kaynak sularının fiziksel parametre, majör iyon ve iz element içeriklerinin Türk (TS 266 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu standartlarını aşmadığı ve içme suyu olarak kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirmesinde ise farklı diyagram ve eşitlikler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, genel olarak Aksu Çayı'nın Magnezyum Tehlikesi (MT) değeri dışında sulama suyu için kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak, sulama suyu olarak kullanımda, suların içerdiği yüksek Mg^{2+} nedeniyle olumsuz etki oluşturacağı da öngörülmektedir.

2.5. Altınova Bölgesi Yeraltısuyu için Gerçekleştirilen Çalışmalar

Antropojenik aktiviteler sonucu yeraltısularının kirlenmesi dünya genelinde oldukça yaygındır. Özellikle, tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde kullanılan bilinçsiz tarım ilaçları ile gübreler bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Amil vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Antalya Traverten Platosu'nda yer alan Altınova akiferinde SINTACS yöntemi ile YAS hassasiyet haritaları oluşturulmuştur. Çalışma alanı, karstik traverten ve dar bir alanda konglomera akiferlerinin yüzeylettiği yataya yakın bir bölge durumundadır. Çalışma alanının, %23'ünde yaygın olarak örtü altı yetiştiricilik yapılmakta olup sulama suyu yeraltısuyundan temin edilmektedir. SINTACS hesaplamalarında, etkin süzülme ve toprak sönümlene parametreleri değerlendirilirken, örtü altı tarım alanları da dikkate alınmıştır. Vadoz zon sönümlene kapasitesi ve akifer ortamı parametreleri açısından 2 farklı derecelendirme değeri için hesaplama yapılmış olup SINTACS-I ve SINTACS-II hassasiyet haritaları oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, değerlendirmeye eklenen arazi kullanımı ile hassasiyet haritalarında aynı jeolojik birim içinde farklı hassasiyet sınıfları da belirlenmiştir. Oluşturulan SINTACS-I ve SINTACS-II haritalarına göre yüksek ve çok yüksek hassasiyetli alanlar sırası ile %85 ve %96 olarak ortaya çıkmıştır. Bölgedeki yeraltısuyunun, geniş bir alanda, yüksek-çok yüksek kirlenme durumu gösteriyor oluşu, tarım kökenli kirleticilerin kullanımının kontrol altına alınmasını ve iyi tarım uygulamalarının önemini ortaya çıkarmıştır.

Amil vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Altınova Bölgesi için DRASTIC, SINTACS, EPIK, COP ve PI yöntemleri kullanılarak hassasiyet haritaları oluşturulmuştur. Çalışma alanının büyük bir bölümü karstik akifer ile kaplıdır. Tüm yöntemler için düşük, orta, yüksek ve çok yüksek hassasiyet sınıflarının alan genişlikleri belirlenmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Yüksek ve çok yüksek hassas alanlar, PI

yöntemi hariç tüm yöntemlerle incelendiğinde çalışma alanının %74'ünden fazlasını kapsamıştır. PI, karstik akiferlere özgü bir yöntem olmasına rağmen, atanan parametre tanımları ve puanlarına dayalı olarak uygun bir hassasiyet haritası oluşturamamıştır. Ayrıca, çalışma alanına uygun hassasiyet analizi yöntemine karar vermek için yalnızca alansal kapsamaların yeterli olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, üretilen tüm hassasiyet haritaları için NO_3^- konsantrasyonuna dayalı doğrulama yöntemi uygulanmıştır. Sonuç olarak, NO_3^- konsantrasyonları 30 mg/L'den yüksek olan alanlar, yüksek-çok yüksek hassas alanlarla eşleştirilmiştir. Bu doğrulama yöntemi yardımıyla, "karstik akifer" ağırlıkları ile SINTACS uygulaması, Altınova bölgesi için seçilen 30 mg/L eşik seviyesinden daha yüksek NO_3^- konsantrasyonlarına sahip olan alanların %95'ini doğrulayabileceği görülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışma, her bir yöntemin tanımlanmış parametre tanımları, hassasiyet yöntemlerinin simülasyon performansı, puan aralıkları ve ağırlıkları ile yüksek oranda ilişkili olduğunu göstermiş olup doğrulanmış hassasiyet haritalarının su kaynakları yönetim aracı olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Cil vd. (2020) tarafından yapılan bu çalışma, karstik akiferlerdeki yeraltı suyu kirlenme riskini, iki hassasiyet indeksi yöntemi (COP ve PI) ile değerlendirmeyi ve tehlike indeksi değerlerinin risk değerlendirmesi üzerindeki önemini tartışmayı amaçlamaktadır. Pilot çalışma alanı olarak Antalya'nın tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu Altınova bölgesi seçilmiş olup, yeraltı suyu derinliği ve toprak özelliklerinin yanı sıra birçok su kalitesi parametresi için 25 numune alma kuyusunda mevsimsel izleme çalışmaları yapılmıştır. Düşük, orta ve yüksek düzeylerde risk alanları belirlenmiş olup, çalışma alanının %90'ından fazlası, COP ve PI yöntemlerine göre orta ila çok yüksek hassasiyet seviyelerine sahip olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, risk analizi sonuçlarının doğruluğunun teyit edilebilmesi için NO_3^- konsantrasyonları risk yoğunluğu değerleriyle ilişkilendirilmiştir. Her iki yöntem de yeraltı suyu kirliliğinin hassasiyetini ve riskini yüksek korelasyonla değerlendirmede başarılı olmuştur. Sonuç olarak, COP yöntemiyle çalışma alanının karstik kısmının yeraltı suyu kirliliği açısından yüksek risk taşıdığı değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, karst akiferleri için uygun hassasiyet yöntemlerinin seçilmesi ve gerçekçi tehlike indeksi değerlerinin atanması, risk analizi sonuçlarının gerçek koşulları temsil etmesi açısından oldukça önemli olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Literatür çalışmasında da görüldüğü gibi, karmaşık su kalitesi verilerinin daha kolay anlaşılabilmesi ve yorumlanabilmesinin yanı sıra sonuçların görselleştirilmesine de imkân sağlaması sebebiyle hem Çok Değişkenli İstatistiksel Analizlerin hem de SOM yöntemlerinin kullanımı giderek artmaktadır. Bu sebeple, tez çalışması kapsamında Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz yöntemlerinden hiyerarşik CA, TBA ile diğer bir yöntem olan SOM yöntemi uygulanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Tez çalışmasının amacı, Antalya Havzası içinde yer alan Aksu Çayı yerüstü su kalitesi ve Altınova bölgesi YAS kalitesinin, istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak zamansal ve mekânsal olarak değerlendirilmesidir. Antalya Aksu bölgesi için yerüstü ve YAS kaynakları için bütüncül bir değerlendirme yapılması su kaynaklarının yönetimi açısından önem taşımaktadır. Tez çalışmasında kullanılan verilerin temini için TÜBİTAK tarafından desteklenen “Nehir Su Kalitesinin Deterministik Modelleme, Su Kalite İndeksleri ve İstatistiksel Analizler ile Değerlendirilmesi ve Yönetimi” başlıklı 119Y267 numaralı proje çalışmasının kaynaklarından ve 2017 yılında tamamlanan ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 114Y696 nolu “Yeraltısuyu Risk Değerlendirmesi ve Pestisit Risk İndikatörleri Kullanılarak Tarımsal Karstik Bölgelerdeki Yeraltısuyu Kalitesinin Entegre Yönetimi” projesinden faydalanılmıştır. Tez çalışmanın kapsamı aşağıda sunulmaktadır:

- Uygulama alanları olarak seçilen Aksu Çayı ve Aksu Altınova çalışma sahalarına ilişkin coğrafi, jeolojik, hidrolojik ve iklimsel özelliklerin tanımlanması
- Aksu Çayı ve Aksu Altınova bölgelerinde gerçekleştirilen su kalitesi izleme sonuçlarının zamansal ve mekânsal değişimine yönelik istatistiksel özet tablolarının ve grafiklerin hazırlanması, yorumlanması ve kirlilik kaynaklarının analiz edilmesi
- Aksu Çayı için su kalite izleme verileri ile TBA, HCA ve Kohonen Ağları ile zamansal ve mekânsal veri analizinin gerçekleştirilmesi
- Aksu-Altınova bölgesi YAS kalite izleme verileri ile TBA, HCA ve Kohonen Ağları ile zamansal ve mekânsal veri analizinin gerçekleştirilmesi
- Aksu-Altınova bölgesi için YAS kirlilik hassasiyeti sonuçlarının su kalitesi izleme verileri ile ilişkilendirilmesi

3.1. Antalya Havzası Genel Özellikleri

Antalya Havzası, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde, Batı Akdeniz ve Doğu Akdeniz Havzaları arasında yer almaktadır. Antalya Havzası, Boğaçay, Düden Çayı, Köprüçay, Aksu Çayı, Karpuz, Alara, Kargı, Oba ve Dim Çayı akarsuları vasıtasıyla Akdeniz'e boşalan sahayı kapsamaktadır. Havza, kuzeyde Sultan Dağlarına dayanmakta olup, doğuda Alanya ilçesi ve Toros Dağları, batıda Beydağları ve Katrancık Dağları ile çevrilidir. Güneyde ise Antalya Körfezi ile sınırlanmaktadır ve su kaynakları bakımından ülkemizin en zengin bölgelerinden biri olma özelliğine sahiptir (SYGM 2016).

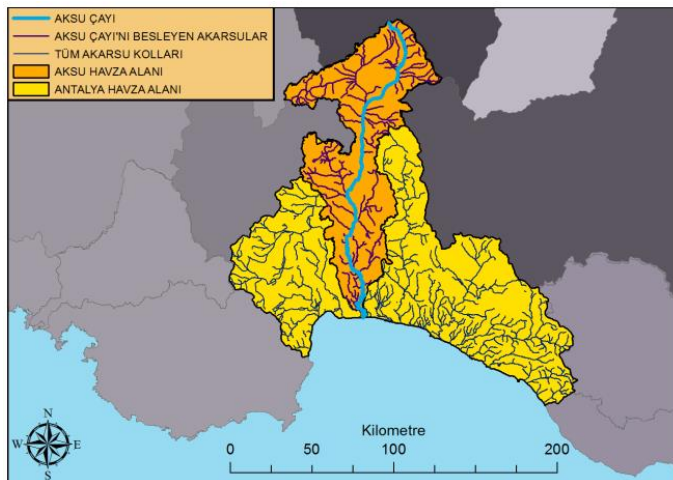
Toplam alanı 20.331 km² olan Antalya Nehir Havzası, Türkiye genel yüzölçümünün yaklaşık %3'ünü oluşturmaktadır. Antalya Havzası'nın Türkiye haritası üzerindeki konumu Şekil 3.1'de gösterilmektedir (Havza Koruma Eylem Planları 2014).



Şekil 3.1. Antalya Havzası'nın Konumu (SYGM 2016)

3.2. Aksu Çayı Çalışma Alanı

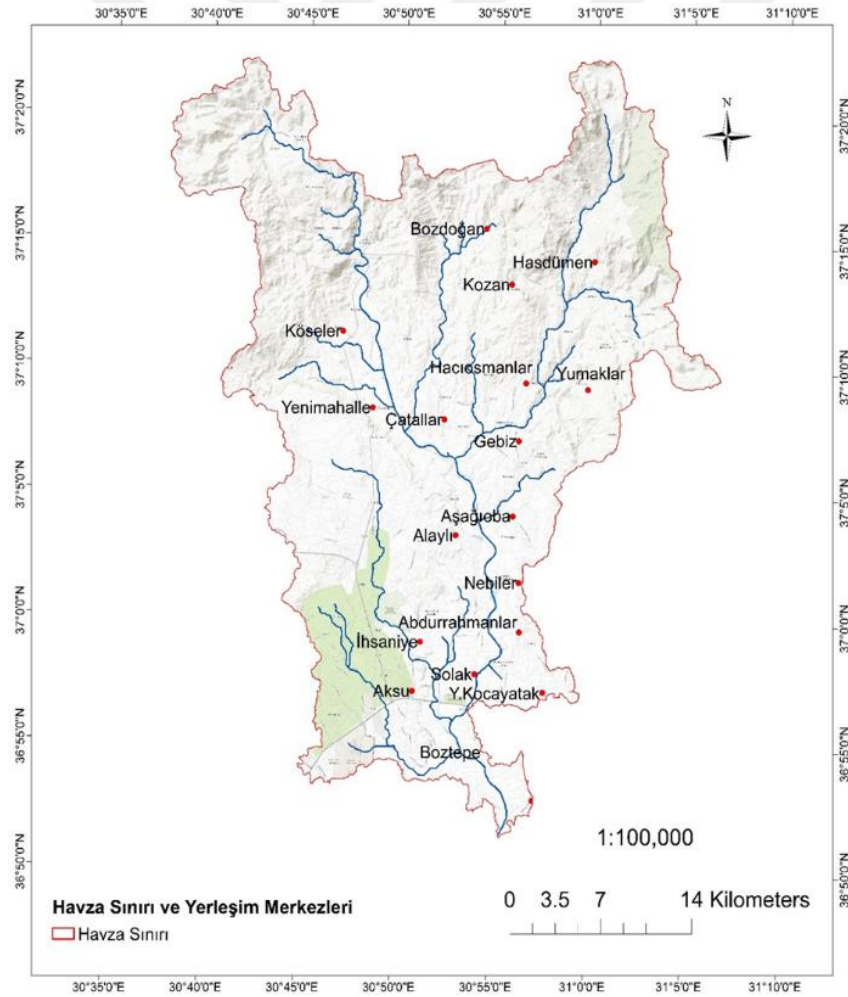
Tez çalışması kapsamında seçilen alanlardan biri Aksu Çayı Havzası olup, Isparta ilinde bulunan Akdağ dağından doğmaktadır. Kovada I, Kovada II Hidroelektrik Santrallerini ve Karacaören Barajını besleyen Aksu Çayı, çeşitli kaynak sularının birleşmesiyle oluşmakta ve yaklaşık 145 km yol kat ettikten sonra Akdeniz'e dökülmektedir. Aksu Çayı'nın toplam drenaj alanı ise 105310 ha'dır. Kuzeybatı ve kuzeydoğudaki dağlık alanlarda yükseltinin fazla olması sebebiyle düşük T, fazla yağış ve kar yağışı görülürken, güneyde bulunan düz alanlar genellikle daha sıcaktır ve buharlaşma yüksektir. Havzanın kuzeyinde karasal iklim görülürken, kuzeye göre daha geniş olan havzanın güneyinde ise Akdeniz iklimi etkilidir. Havzada ortalama hava sıcaklığı 2020 yılında 19,32 °C, 2021 yılında ise 19,60 °C olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama yağış miktarı ise 2020 yılında 819 mm iken 2021 yılında 745 mm olarak elde edilmiştir. Havzadaki kara yükseltileri deniz seviyesi ile deniz seviyesinden 2835 m yüksekliğe kadar değişmektedir. Uzun süreli akış gözlemlerine göre Aksu Çayı'nın ortalama akışı 95 hm³/yıl'dır. Türkiye Milli Parkı içinde yer alan Kovada Gölü; sulama, taşkın önleme ve enerji üretimi amacıyla inşa edilen Karacaören-1 Barajı ve Karacaören-1 Barajı'nın mansabında yer alan Karacaören-2 Barajı havzadaki önemli yüzey sularıdır (TÜBİTAK MAM 2013; Şener vd. 2017; Muhammetoğlu 2021). Aksu Çayı'na ait ana kol Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Antalya Havzası Alanı ve Aksu Çayı anakolu (SYGM 2016)

İçme ve kullanma suyu rezervuarı olan Karacaören 1-2 Baraj Göllerinin su kalitesinin ve miktarının korunması ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması amacıyla 14.08.2017 tarihinde RG’de yayımlanarak yürürlüğe giren Özel Hüküm çalışması gerçekleştirilmiştir. Aksu Çayı’nın bir kolu olan ve Antalya iline 45 km mesafedeki Gebiz yerleşim yerinin 5 km doğusunda yer alan Küçük Aksu deresi üzerinde Küçük Aksu Baraj projesi gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Bu projenin amacı; 22.850 dekar sulama alanının (Gebiz Belediyesi, Hacıosmanlar ve Çatallar Köyleri) sulamaya açılması, Gebiz Belediyesi çevre köyleri ve turizm tesisleri için 44,4 hm³/yıl içme suyu temini ve 1,2 MW-9,05 GWh/yıl enerji üretimi yapılması ve yağışlı dönemlerde Küçük Aksu Barajı işletme kotu düşük tutularak taşkın koruma amaçlı çalıştırılmasıdır (TÜBİTAK MAM 2013).

Aksu Çayı alt havzasındaki baskılar evsel atıksu deşarjları, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirleticiler (pestisit ve gübre kullanımı) ve tarımsal amaçlı kontrolsüz su kullanımıdır. Aksu Çayı Alt Havzası’nda yer alan ilçeler; Serik, Aksu, Sütçüler, Ağlasun, Isparta Merkez, Eğirdir, Senirkent, Ulubolu, Gelendost ve Yalvaç ilçe merkezleri şeklinde sıralanabilir. Aksu Çayı Alt Havzası’ndaki yerleşim yerleri Şekil 3.3’te sunulmaktadır. Çizelge 3.1 ise Aksu Çayı havzasına ait özet bilgileri içermektedir.



Şekil 3.3. Aşağı Aksu Çayı Havzası havza sınırı ve nehir ağı (Muhammetoğlu 2021)

Çizelge 3.1. Aksu Çayı havzasına ait özet bilgiler (Muhammetoğlu 2021)

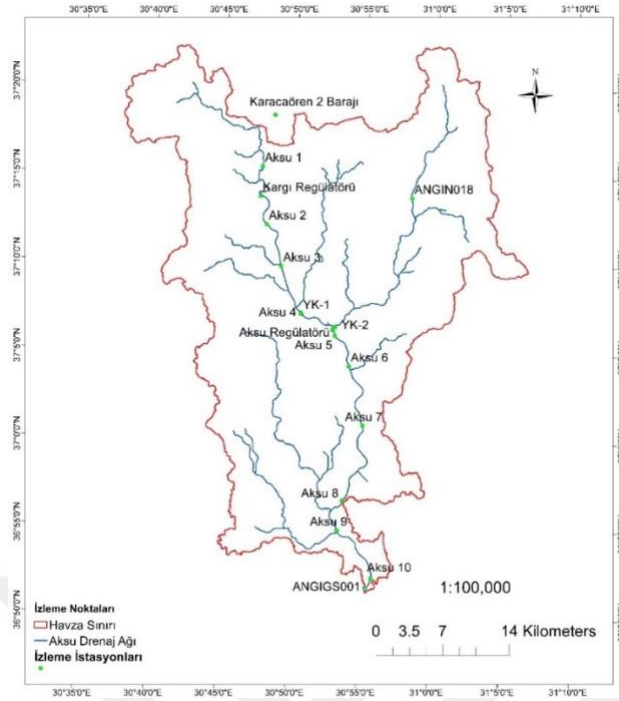
	Aksu Çayı Havzası
Toplam alan	105310 ha
Arazi kullanımı	orman (52444 ha), tarımsal alan (45458 ha), bozuk/açık alan (1459 ha), kayalık (3272 ha), kumlu alan (58 ha), otlak/mera (546 ha), yerleşim bölgeleri (2073 ha)
İklim	Akdeniz iklimi, yüksek yağış ve buharlaşma oranları etkili
Sıcaklık	2020 yılı ortalaması 19,32 °C, 2021 yılı ortalaması 19,60 °C
Yağış	2020 yılı toplamı 819 mm, 2021 yılı toplamı 745 mm
Buharlaşma	2021 yılı için Antalya Bölge meteoroloji istasyonundan elde edilen yıllık toplam açık yüzey buharlaşma miktarı 1392,5 mm

3.2.1. Su kalitesi izleme çalışmaları

TÜBİTAK tarafından desteklenen 119Y267 nolu proje çalışmaları kapsamında Karacaören-2 Baraj Gölü çıkışına yakın bir noktadan Aksu Çayı'nın denize döküldüğü mansap noktasına kadar olan yaklaşık 60 km'lik nehir kesitini içeren akarsu üzerinde 10 adet izleme istasyonu ve 2 adet yan kol giriş noktasında su kalite izleme çalışmaları Eylül 2020 tarihinde başlanarak 1 yıl süreyle aylık olarak gerçekleştirilmiştir. Aksu Çayı üzerinde bulunan tüm istasyonlara ait bilgiler Çizelge 3.2'de verilmiş ve izleme noktaları Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Aksu Çayı su kalitesi izleme istasyonlarına ait bilgiler (Muhammetoğlu 2021)

İstasyon No	Açıklama	Enlem	Boylam
Aksu-1 (memba)	Karacaören-2 Baraj çıkışına yakın	37°15'27" N	30°47'38"E
Aksu-2	Nehir kenarı	37°12'11" N	30°48'01"E
Aksu-3	Köprü üstü	37°09'49" N	30°49'06"E
Aksu-4	Nehir kenarı	37°07'12" N	30°50'34"E
YK-1 (Yan kol girişi)	Yüksek debili – drenaj kanal bağlantısı	37°07'09" N	30°50'35"E
YK-2 (Küçük Aksu Çayı – yan kol girişi)	Doğal dere	37°06'26" N	30°53'00"E
Aksu-5	Köprü üstü	37°05'56" N	30°53'00"E
Aksu-6	Köprü üstü	37°04'13" N	30°54'03"E
Aksu-7	Yol geçişi var.	37°00'52" N	30°55'06"E
Aksu-8	Expo Köprüsü üstü Antalya Havzası İzleme Programı kapsamında izlenen ANGİN010 ile aynı konum	36°56'37" N	30°53'48"E
Aksu-9	Köprü üstü	36°54'54" N	30°53'27"E
Aksu-10 (mansap)	Köprü üstü	36°52'12" N	30°55'55"E



Şekil 3.4. Aksu Çayı’nda ölçüm/örnekleme yapılan istasyonlar

(ANGİGS001 ve ANGİN018 nolu istasyonlar Antalya Havzası İzleme Programı’nda yer alan izleme istasyonlarıdır, Aksu-8 izleme noktasında ANGİN010 nolu izleme istasyonu vardır) (Muhammetoğlu 2021)

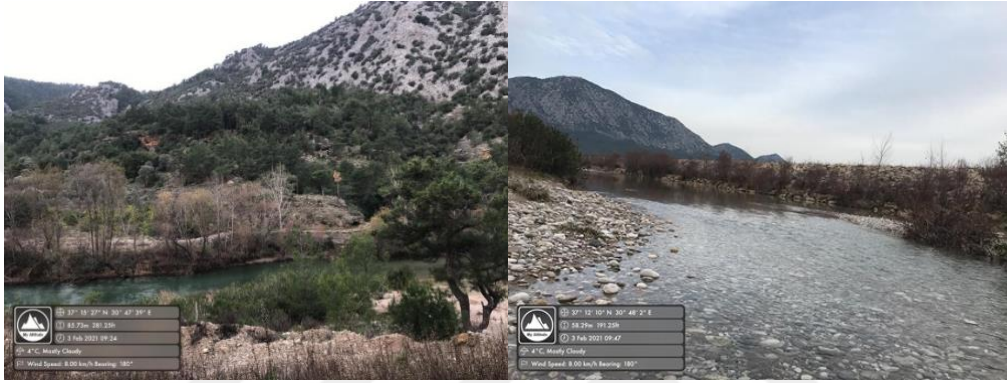
Aksu Çayı’nda izleme yapılan istasyonlar için izlenen parametreler ve bu parametrelerin izleme sıklığı, parametrelerin ölçüm ve analiz çalışmalarının gerçekleştirildiği kurum/kuruluşa ait bilgiler Çizelge 3.3’te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Aksu Çayı’nda izleme çalışmasına ait özet bilgiler (Muhammetoğlu 2021)

	Genel fizikokimyasal ve bakteriyolojik parametreler	Ağır metal analizleri	Debi
Gerçekleştiren kurum/kuruluş	Proje ekibi	Akredite özel bir laboratuvar	DSİ 13. Bölge Müdürlüğü ekibi
İzleme sıklığı	aylık	yıllık	aylık
Aksu-1 (memba)	✓	✓	✓
Aksu-2	✓	✓	✓
Aksu-3	✓	✓	✓
Aksu-4	✓	✓	✓
YK-1	✓	✓	✓
YK-2	✓	✓	✓
Aksu-5	✓	✓	✓
Aksu-6	✓	✓	✓
Aksu-7	✓	✓	✓
Aksu-8	✓	✓	✓
Aksu-9	✓	✓	✓
Aksu-10 (mansap)	✓	✓	✓

Aksu Çayı için fizikokimyasal ve bakteriyolojik parametrelerin analizleri bir yıl boyunca aylık periyotlarda, ağır metal analizleri (Zn, Mn, Cr, Cu, Pb, Ni) ise bir yıl boyunca sadece 1 kez izlenmiştir. Ayrıca seçilen istasyonlar için debi ölçümleri Antalya'da DSİ 13. Bölge Müdürlüğü saha ekipleri tarafından bir yıl boyunca aylık olarak gerçekleştirilmiştir.

Su kalitesi izleme çalışmalarında Aksu Çayı'nda yer alan bazı istasyonlarda akış olmaması (durgun su hali) veya kuru olması gibi nedenlerden dolayı o dönem için numune alınamamıştır. Dolayısıyla tüm izleme noktalarında ölçüm ve örneklemenin yapıldığı beşinci su kalitesi izleme çalışması, Aksu Çayı için 3 Şubat 2021 tarihinde gerçekleştirilmiş olup tüm izleme noktalarına ait görseller Şekil 3.5-3.10'da sunulmuştur.



(a)

(b)

Şekil 3.5. 03 Şubat 2021 tarihinde **a)** Aksu-1; **b)** Aksu-2 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)



(a)

(b)

Şekil 3.6. 03 Şubat 2021 tarihinde **a)** Aksu-3; **b)** Aksu-4 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)



(a)

(b)

Şekil 3.7. 03 Şubat 2021 tarihinde **a)** Aksu-5; **b)** Aksu-6 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)



(a)

(b)

Şekil 3.8. 03 Şubat 2021 tarihinde **a)** Aksu-7; **b)** Aksu-8 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)



(a)

(b)

Şekil 3.9. 03 Şubat 2021 tarihinde **a)** Aksu-9; **b)** Aksu-10 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)



(a)

(b)

Şekil 3.10. 03 Şubat 2021 tarihinde **a)** Aksu-YK1; **b)** Aksu-YK 2 izleme noktaları (Muhammetoğlu 2021)

3.2.2. Örnekleme, ölçüm ve analizler

İzleme istasyonlarında numuneler, fizikokimyasal parametreler için tüm dere yatağı genişliğini kapsayacak şekilde ve 3 farklı derinlikte (yüzey, orta ve dip) yaklaşık 10 L hacimde manuel olarak toplanmıştır. Kompozit su numunelerinin saklanması için 2,5 L hacme sahip polipropilen örnek kapları kullanılmış ve sahada soğutmalı taşıma çantasına konulmuştur. Bakteriyolojik analizler için su numuneleri önceden sterilize edilmiş 100 ml hacme sahip amber renkli cam şişeler kullanılarak dere yatağının orta kısmında doğrudan suya daldırılarak toplanmıştır. Bazı izleme noktalarında suya doğrudan erişim sağlanamadığı için numuneler örnekleme cihazı ile alınmış ve steril şişelere doldurulmuştur. Su numunelerinden alınan 2 ml hacimdeki su numunesi konsantre hidroklorik asit ile pH=2 koşulunda saklamaya alınmıştır. Toplanan su numunelerinin analizlerini gerçekleştirmek amacıyla su numuneleri Akdeniz Su Ürünleri Araştırma, Üretim ve Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü Kepez Birimi laboratuvarına taşınmıştır. Su numunesi alımı ve taşınması ulusal ve uluslararası standart ISO 5667-6 (1990); ISO 5667-2 (1991); ISO 5667-3 (1994)) ve tebliğlere uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

T, pH, EC, ÇO konsantrasyonu ve doymunluk yüzdesi parametrelerinin ölçümleri, izleme çalışması öncesinde standart çözeltileri ile kalibre edilen YSI EXO2 model multiparametrik ölçüm sondası kullanılarak sahada yerinde ölçülmüştür. Diğer parametrelerin analizleri (ağır metaller hariç) Antalya’da yer alan Akdeniz Su Ürünleri Araştırma, Üretim ve Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü Kepez Birimi’nde gerçekleştirilmiştir. Renk parametresi, gerçek renk olarak 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında UV/Vis spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür (ISO 7887, 2011). Su numuneleri, önceden sabit tartımları yapılmış olan cam fiber filtre kağıtlarından süzölmüş ve 103-105 °C aralığındaki etüvde kurutulmuştur. 4 saatin sonunda son tartımları yapılan filtre kağıtlarından AKM analizi yapıp tamamlanmıştır. KOİ ve BOİ₅ analizleri için standart metotlar uygulanmıştır (APHA 1998).

Su numunelerindeki anyon (F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, Br⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ ve PO₄³⁻) ve kation (Na⁺, NH₄⁺, K) grupları Thermo Scientific Dionex ICS-3000 Reagent-Free İyon Kromatografi (IC) sistemi ile analiz edilmiştir. Bu cihazın Dionex IonPac AS18 anyon değişim, Dionex

IonPac CS12A katyon değişim kolonları, Dionex CSRS 300 katyon supresör ve 300 anyon supresörü olan iletkenlik dedektörü bulunmaktadır (Basumallick ve Rohrer 2019). TOK ve TN parametreleri eş zamanlı olarak dört kanallı NDIR ve CLD dedektörü olan HACH IL550 TOC/TN cihazı ile yüksek sıcaklıkta katalitik yakma yöntemi ve cihaz kullanım yönergelerine göre analiz edilmiştir. TP, askorbik asit metodu ve persülfat parçalaması uygulanarak spektrofotometrik olarak tayin edilmektedir (APHA 1998).

Su numuneleri steril membran filtrelerden geçirildikten sonra uygun besi yer içeren petri kutularına yerleştirilerek inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda oluşan koloniler sayılarak bakteriyolojik parametrelerin analizleri tamamlanmıştır. Bakteriyolojik parametrelerin analizlerinde kullanılan besi yeri türü, inkübasyon süreleri, sıcaklıkları ve son olarak sayımda dikkate alınan kolonilerin renkleri Çizelge 3.4’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.4. Bakteriyolojik parametrelerin analizine ait özet bilgiler (APHA 1998; Myers ve Sylvester 1997)

Parametre	Besiyeri türü	İnkübasyon sıcaklığı	İnkübasyon süresi	Koloni Rengi
Toplam Koliform (TC)	m-Endo besi yeri	35,0±0,5 °C	24±2 saat	Altın yeşil metalik parlaklık veren kırmızı koloniler
Escherichia Coli (E.Coli)	Toplam koliform inkübasyonundan sonra NA-MUG besi yeri	35,0±0,5 °C sıcaklık	4 saatlik ek inkübasyon	Uzun dalga UV ışık altında mavi parlaklık veren ve merkezi koyu renkli koloniler
Fekal Koliform (FC)	m-FC besi yeri	44,5±0,2 °C	24±2 saat	Altın mavi renkli koloniler
Fekal Streptokok (FS)	KF streptokok besi yeri	35,0±0,5 °C	46±2 saat	Koyu kırmızı koloniler

3.3. Altınova Bölgesi Çalışma Alanı

Tez çalışmasının ikinci uygulama sahası, Antalya ilinde Aksu ilçe merkezine çok yakın konumda yer alan Altınova bölgesidir. Bu çalışmaya dair tüm veriler TÜBİTAK tarafından desteklenen 114Y696 nolu projeden temin edilmiştir. Çalışma alanının lokasyonu ve sınırları Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Altınova bölgesinde çalışma alanının %85,5’ini karstik kireçtaşı, %14,4’ünü ise kum ve çakıl formasyonu oluşturmaktadır. Altınova bölgesi kent merkezine yaklaşık 10 km mesafede bulunmakta olup, çalışma sahası yaklaşık 75 km²’lik bir alanı kapsamakta ve deniz seviyesinden ortalama 80 m yükseklikte bulunmaktadır. Çalışma alanı, son derece geniş bir yayılım alanına sahip olan Antalya platosu olarak tanımlanan alan içerisinde yer almakta olup Antalya platosunun genel jeolojik formasyonu ise ağırlıklı olarak Mesozoik yaşlı kireç taşları ve marnlardan oluşmaktadır. Çalışma alanında Miyosen yaşlı denizsel kireç taşları, marnlar, siltli kil depositleri, kum taşları ve konglomeralar da yayılım göstermektedir. Miyosen yaşlı birimlerin üzeri yaygın olarak travertenlerle örtülmüş durumdadır. Kuaterner yaşlı birimler, söz konusu platoda aluviyal depositlerin yanı sıra kimi

alanlardaki konglomeralar ile birlikte bitki dokulu, oolitik ve masif traverten oluşumları şeklinde görülmektedir (İnan 1985). Çalışma alanında Akdeniz iklimi hakimdir. Topografik yapı ise özellikle Miyosen yaşlı karstik kireçtaşı arazilerinin eski topografik çukurluklarının, daha sonraki dönemlerde oluşan karasal kökenli ve karbonatça zengin sulu çözeltilerden oluşan traverten malzemesi ile doldurulması ile gelişmiştir (Sarı vd. 1982). Söz konusu traverten düzlükleri, genelde düze yakın eğime sahip olsa da bölgede dalgalı bir topografik görünüm mevcuttur (Sönmez vd. 2007).

Altınova bölgesi ağırlıklı olarak tarımsal faaliyetler için kullanılmakta ise de yerleşim alanları ve ticari alanlar da mevcuttur. Altınova bölgesindeki karstik akiferlerin yüksek geçirimsizliğe sahip olması YAS beslenimi için olumlu bir etken olarak değerlendirilmekte ise de kirlilik açısından kritik koşullar oluşturmaktadır. Son on yılda, bölgede yoğun tarımsal gelişme gerçekleşmiş olup alanın çoğu tarımsal araziler ve seralar ile kaplanmıştır. Bölgede yetiştirilen temel ürünler bahçe bitkileri (domates, salatalık, maydanoz, kavun, karpuz, çilek, vb.) ve kesme çiçeklerdir (Şekil 3.12). Altınova bölgesindeki başlıca kirlilik kaynakları olarak tarımda kullanılan gübre ve pestisitler ile kentsel yerleşimden kaynaklanan atıksu ve katı atıklar sayılabilmektedir. Katı atık kaynaklı kirlilik, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlara ait boş kap ve poşetlerin düzensiz olarak alana atılması ve bölge içindeki hurda malzemeler ve moloz yığınlarından oluşmaktadır. Altınova bölgesinde halen kanalizasyon sistemi mevcut değildir ve kentsel atıksular traverten platodaki boşluklar, oyuklar ve sızdırmalı foseptiklere boşaltılmaktadır. Yağış ve yüzey akış suları topraktan yüksek bir hızla sızmakta ve traverten plato içerisindeki çatlaklı kanallardan süzülmemektedir (Muhammetoğlu vd. 2017).



Şekil 3.11. Antalya-Altınova’da yer alan çalışma sahasının lokasyonu (Muhammetoğlu vd. 2017)



Şekil 3.12. Altınova çalışma bölgesindeki sera alanlarından fotoğraflar; a) domates serası; b) maydanoz serası; c) çilek serası; d) çiçek serası (Muhammetoğlu vd. 2017)

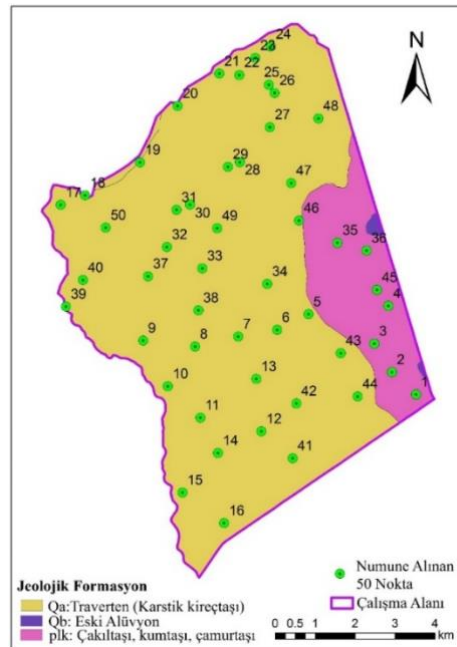
3.3.1. İzleme çalışması

Altınova bölgesinde gerçekleştirilen mevsimsel izleme çalışmalarının dönemleri ve izleme çalışması kapsamı Çizelge 3.5'te sunulmaktadır.

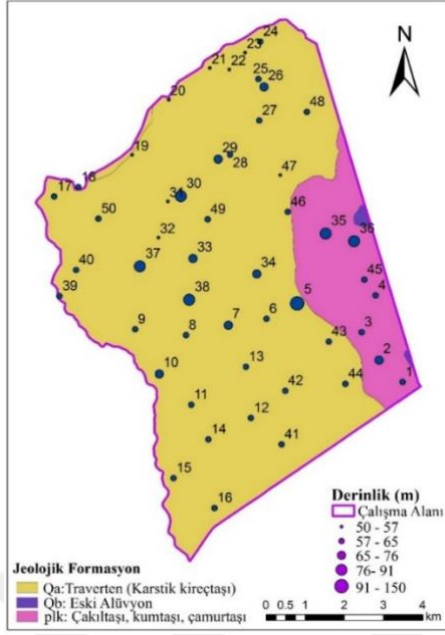
Çizelge 3.5. Altınova bölgesinde gerçekleştirilen izleme çalışması dönemleri ve kapsamı

İzleme kapsamı	1.izleme Ağustos 2015	2. izleme Kasım 2015	3. izleme Şubat 2016	4. izleme Mayıs 2016
Sahada su kalitesi ölçümleri ve Laboratuvarda nitrat analizi	✓ 50 noktada	✓ 25 noktada	✓ 25 noktada	✓ 25 noktada
Sahada YASa olan derinliğin ölçülmesi		✓ 25 noktada	✓ 25 noktada	✓ 25 noktada
Laboratuvarda kapsamlı su kalitesi analizleri		✓ 25 noktada		✓ 25 noktada
Laboratuvarda toprak analizleri		✓ 25 noktada		✓ 25 noktada

1. İzleme çalışmasında daha fazla noktada izleme yapılarak, 25 adet izleme noktasının seçilmesi hedeflenmiştir. Buna bağlı olarak, 2015 yılı Ağustos ayındaki ilk izleme çalışmasında 50 noktada saha ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İzleme noktalarında T, TDS, pH, ÇO, S_pc, S, bulanıklık ve NO₃⁻ ölçümleri yapılmıştır. İzleme noktalarından alınan su numuneleri için laboratuvarda NO₃⁻ analizleri gerçekleştirilmiştir. 2015 yılı Ağustos ayında gerçekleştirilen ilk izleme çalışmasında ölçüm ve örnekleme yapılan 50 adet noktanın lokasyonları Şekil 3.13'te, kuyu derinlikleri ise Şekil 3.14'te jeolojik formasyon ile birlikte gösterilmiştir (Muhammetoğlu vd. 2017).

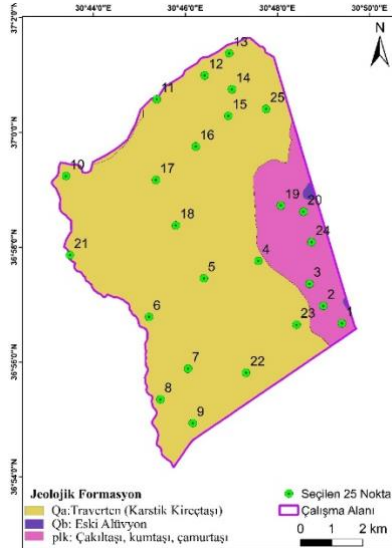


Şekil 3.13. İlk arazi çalışması gerçekleştirilen 50 adet izleme noktası ve jeolojik formasyon (Muhammetoğlu vd. 2017)



Şekil 3.14. İlk arazi çalışması gerçekleştirilen 50 adet izleme noktası ve kuyu derinlikleri (Muhammetoğlu vd. 2017)

Çalışma alanının %85,5'ini karstik kireçtaşı, %14,4'ünü ise kum ve çakıl formasyonu oluşturmaktadır. İzleme çalışması kapsamında mevsimsel olarak izleme/örnekleme yapılmak üzere seçilen 25 adet izleme noktasının lokasyonları Şekil 3.15'te gösterilmiştir. İkinci, üçüncü ve dördüncü izleme çalışmaları 25 noktada devam etmiştir (Muhammetoğlu vd. 2017).



Şekil 3.15. Altınova pilot uygulama sahası için seçilen 25 adet izleme noktası (Muhammetoğlu vd. 2017)

3.3.2. Örneklem, ölçüm ve analizler

YAS kalitesi izleme çalışmalarında, belirlenen lokasyonlardaki kuyulardan alınan su numunelerinde T, TDS, pH, ÇO, Spc, S, bulanıklık ve NO₃ parametreleri sahada ölçülmüştür. T, TDS, pH, ÇO, Spc, S ve NO₃ parametreleri HACH marka HQ 40d dijital multimetre set ve problemleriyle, bulanıklık ise HACH marka 2100Q-is cihazıyla ölçülmüştür. NO₃ parametresi için sahada NO₃ probu ile ölçümler yapılmış ise de daha hassas sonuçlar elde edilebilmesi açısından izleme noktalarından alınan su numuneleri Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilmiş ve laboratuvarında HACH DR5000 spektrofotometresi ve HACH Lange LCK 339 NO₃ kiti kullanılarak (2.6-Dimethylphenol, Standard method: EN 38405 D-2 metodu ile) NO₃ analizleri gerçekleştirilmiştir. Saha ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri Çizelge 3.6'da verilmiştir (Muhammetoğlu vd. 2017).

Çizelge 3.6. Saha ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri

Parametre	Saha ölçüm cihazı	Ölçüm hassasiyeti
Sıcaklık	HACH HQ40d	---
pH	HACH HQ40d	± 0,002 pH
Çözünmüş Oksijen	HACH HQ40d	0,01 mg/L
İletkenlik	HACH HQ40d	okuma değeri ± %0,5
Tuzluluk	HACH HQ40d	±0,01 ppt
Toplam Çözünmüş Madde	HACH HQ40d	± %0,5
Nitrat	HACH HQ40d	±0.02 mV veya %0,05 değerinden büyük olanı
Bulanıklık	HACH 2100Q is	okuma değeri ± %2

YAS kalitesi izleme çalışmaları kapsamında Altınova bölgesinde belirlenen izleme noktalarından iki izleme döneminde (Kasım 2015 ve Mayıs 2016) alınan su numuneleri için T.C. Sağlık Bakanlığı, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu'na bağlı olan Antalya Halk Sağlığı Müdürlüğü-Halk Sağlığı Laboratuvarı'nda detaylı su kalitesi analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2. İstatistiksel Analiz Yöntemleri

3.2.1. Kümeleme analizi (CA)

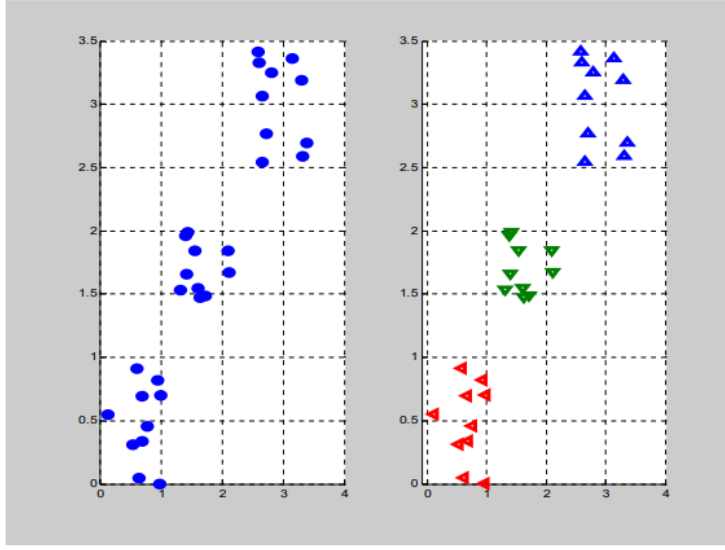
Kümeleme analizinin amacı, gruplanmamış verileri benzerliklerine göre gruplandırmak ve araştırmacıya özetleyici bilgiler sunmaktır. CA, gerçek tiplerin belirlenmesi, gruplar için ön tahmin, hipotez testi, veriler yerine kümelerin değerlendirilmesi ve aykırı değerlerin bulunması gibi amaçlarla da kullanılmaktadır (Romesbourg 1984).

İstatistiksel çalışmalar çok sayıda veriye ihtiyaç duymaktadır. Ancak verilerin çokluğu birçok istatistiksel tekniğin kullanımında sorunlar yaratmaktadır. Bu sebeple verilerin gruplandırılması gerekmektedir. CA, verileri gruplandırmada kullanılan bir "Çok Değişkenli Analiz" tekniğidir (Akın 2008).

Küme, birbirine yakın (benzer) nesnelerin çok boyutlu uzayda oluşturdukları

bulutlar şeklinde tanımlanabilmektedir. CA ise; bu kümeleri oluşturma işlemidir. CA için yapılan başka bir tanım ise; küme adı verilen nispeten homojen grupların iç içe nesnelerini sınıflandırılması için kullanılan teknikler sınıfıdır (Koltan 2011).

CA sonucunda kümeleri oluşturan elemanlar birbirine benzerlik, başka kümelerin elemanlarından farklılık gösterirler. Kümeleme işlemi başarılı olursa, bir geometrik çizim yapıldığında birimler küme içerisinde birbirilerine çok yakın, kümeler ise birbirilerinden uzak olacaktır. Şekil 3.16'da basit bir kümeleme işlemi gösterilmektedir (Vatansever 2008).



Şekil 3.16. Veri birimleri ve kümeleri (Vatansever 2008)

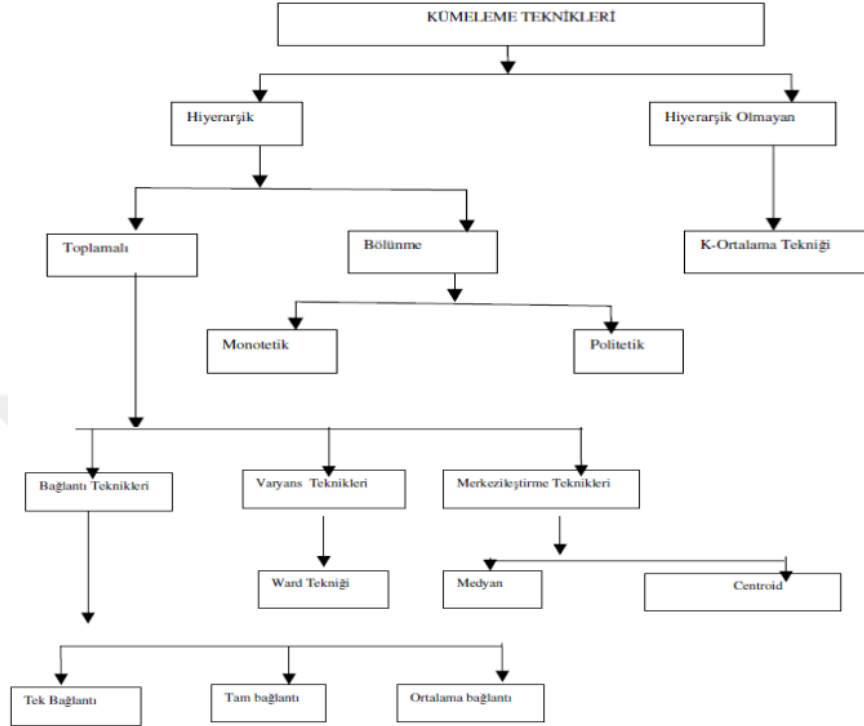
Kümeleme (Clustering) işlemi, heterojen yapıya sahip bir kitleyi daha homojen birkaç alt gruba ya da kümeye bölme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Sınıflama ile kümelemeyi birbirinden ayıran en önemli fark ise, kümeleme işleminin sınıflama işleminde olduğu gibi önceden belirlenmiş birtakım sınıflara göre bölme yapmamasıdır. Sınıflamada her bir veri, önceden sınıflandırılmış birtakım sınıflar üzerinde yapılan bir eğitim neticesinde ortaya çıkan bir modele göre, önceden belirlenmiş olan bir sınıfa atanmaktadır. Kümeleme işleminde ise, önceden tanımlanmış sınıflar ya da örnek sınıflar bulunmamaktadır. Verilerin kümelenebilmesi işlemi, verilerin birbirlerine olan benzerliklerine göre yapılmaktadır.

3.2.2. Kümeleme analizi teknikleri

Kümeleme teknikleri; uzaklık matrisini kullanarak nesneleri veya değişkenleri kendi içinde homojen ve kendi aralarında heterojen gruplar oluşturmaya imkân sağlamaktadır. CA için birçok algoritma öne sürülmüştür. Ancak literatürde bu algoritmalar iki başlık altında toplanmıştır. Bunlar, Hiyerarşik kümeleme teknikleri ve Hiyerarşik olmayan kümeleme tekniğidir (Ketchen ve Shook 1996).

Her iki teknikte de ortak amaç kümeler arasındaki farklılıkları ve kümeler içi benzerlikleri en yüksek düzeye çıkarmayı sağlamaktır. Kısacası, küme içi homojenlik artırılırken kümeler arası homojenlik ise azaltılmaktadır. Hangi tekniğin kullanılacağı

küme sayısına bağlı olmakla birlikte her iki tekniğin beraber kullanılması çok daha faydalıdır. Böylece hem sonuçları hem de iki tekniğin hangisinin daha uygun sonuçlar verdiğini karşılaştırmak mümkün olabilmektedir. Kümeleme tekniklerinin genel yapısı Şekil 3.17’de verilmiştir (Akın 2008).



Şekil 3.17. Kümeleme tekniklerinin genel görünümü (Akın 2008)

3.2.2.1. Hiyerarşik kümeleme yöntemi

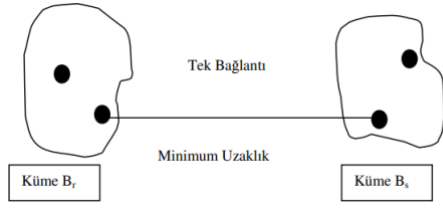
Hiyerarşik kümeleme yöntemleri, nesneler arasındaki uzaklıkların matrisi ile başlamaktadır. Bütün nesneler tek bir nesnenin yer aldığı gruplarda tek başına başlamaktadır. Analizin başında her bir nesne tek başına bir küme olarak düşünülmekte ve birbirine yakın gruplar birleştirilmektedir. Bu birleştirilme işlemi ise ardarda tekrarlanarak sürdürülmektedir.

Hiyerarşik kümeleme yöntemi, kümelerden bir eleman silme veya eklemeye bir ağaca benzeyen yapı göstermektedir (Ketchen ve Shook 1996). Aşamalı (hiyerarşik) kümeleme yöntemleri, veri setindeki birimlerin birbirilerine göre uzaklık veya benzerliklerini dikkate alarak ve birimleri birbirleriyle değişik aşamalarda bir araya getirerek, ardışık biçimde kümeler belirlemeye ve bu kümelere girecek elemanların hangi uzaklık veya benzerlik düzeyinde küme elemanlarının olduğunu belirlemeye yönelik yöntemlerdir (Özdamar 2004).

- **Tek bağlantı kümeleme yöntemi**

Küme elemanları arasındaki en düşük uzaklık değeri temel alınarak kümelerin oluşturulması esasına dayanır ve ilk önce en yakın olan iki küme birleştirilmektedir (Şekil

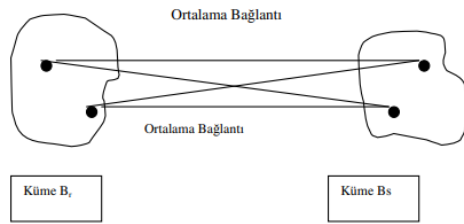
3.18) (Ünlükaplan 2008).



Şekil 3.18. Tek bağlantı tekniği (Ünlükaplan 2008)

- **Ortalama bağlantı kümeleme yöntemi**

Ortalama grup bağlantı tekniğinde, eğer iki grubun aralarındaki uzaklık kısa ise birleşme sağlanır. Ortalama grup bağlantısı tekniğinde, iki küme arasındaki fark, bir küme içindeki nesne çiftleri ile, diğer bir kümedeki nesne çiftleri arasındaki ortalama fark olarak alınmaktadır. Kısaca, tek bağlantı ve tam bağlantı tekniği ile paralel olarak, kümeler arasındaki ortalama uzaklığın en düşük değerini temel almaktadır (Ünlükaplan 2008) (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Ortalama grup bağlantı tekniği (Ünlükaplan 2008)

- **Tam bağlantı kümeleme yöntemi**

Diğer adıyla ‘En Uzak Komşuluk’ Tekniği, tek bağlantı tekniği ile benzer özellikler göstermektedir. İki tekniği birbirinden ayıran en önemli fark ise tek bağlantı tekniğindeki minimum uzaklık yerine, tam bağlantı tekniğinde iki nesne arasındaki maksimum uzaklığın kullanılmasıdır. Kısaca, iki kümenin elemanları arasındaki en yüksek uzaklığın minimum değerini temel alır (Şekil 3.20) (Ünlükaplan 2008).



Şekil 3.20. Tam bağlantı tekniği (Ünlükaplan 2008)

- **Küresel ortalama bağlantı kümeleme yöntemi**

Bir kümeyi oluşturan gözlemlerin ortalamalarını esas alır. Kümede sadece bir merkez varsa onun değeri merkez olarak kabul edilir (Ünlükaplan 2008).

- **Ward bağlantı kümeleme yöntemi**

Bu yaklaşım, “Minimum Varyans Yöntemi” olarak da bilinmektedir. Bu yöntem, bir kümenin ortasına düşen gözlemin, aynı kümenin içinde bulunan gözlemlerden ortalama uzaklığını ele alır ve toplam sapma karelerinden yararlanır. Sıklıkla kullanılan bir hiyerarşik kümeleme yöntemidir (Ünlükaplan 2008).

- **Medyan bağlantı yöntemi**

İki küme arasındaki uzaklık, iki kümenin merkezleri arasındaki uzaklığın eşit ağırlıklı olarak hesaplanmasıyla elde edilir (Ünlükaplan 2008).

3.2.2.2. Hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri

Küme sayısı hakkında ön bilgi varsa veya araştırmacı küme sayısına karar vermiş ise bu durumda hiyerarşik teknikler yerine hiyerarşik olmayan kümeleme tekniklerinin kullanılması gerekmektedir. Bu kümeleme yönteminde, birimlerin kümelere parçalanması rastgele yapılabilmektedir. Birimlerin ayrılacakları küme sayısı belirlendikten sonra, küme belirleme kriterine göre birimlerin hangi kümelere gireceklerine karar verilir ve atama işlemleri yapılır.

Hiyerarşik olmayan kümeleme tekniklerinin dezavantajı küme sayılarının daha önceden belirlenmesi ve küme sayısı seçimlerinin keyfi olmasıdır. Birçok hiyerarşik olmayan teknik, küme merkezlerini k küme sayısı olarak kabul etmektedir. Böylece kümeleme sonuçları verideki nesnelerin dizisine bağlı olmaktadır. Hiyerarşik olmayan kümeleme teknikleri, hiyerarşik tekniklere oranla daha hızlıdır. Ayrıca, nesne sayısı ne kadar büyük ise o kadar anlamlı sonuçlar elde etmeye olanak sağlar. Ancak bütün bu avantaj ve dezavantajlara rağmen hiyerarşik tekniklerle hiyerarşik olmayan tekniklerin beraber kullanılması tavsiye edilmektedir (Akın 2008).

- **K-Ortalama tekniği**

Mac Queen tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde, önce araştırmacının ön bilgisine ve tecrübesine dayanarak küme sayısı belirlenmektedir. Sonra her kümenin tipik bir gözlemi seçilir ve benzer gözlemler tipik gözlemin etrafında birer birer kümelendirilir. Burada bazı istatistiksel testler kullanılarak her kümeyi oluşturan gözlemlerin değişkenlere göre ortalamalarına bakılır. K-ortalama tekniğinin, güvenilir olması en belirgin üstünlüğüdür. Buna karşılık yorumlaması oldukça zordur (Everitt vd. 1992; Tatlıdıl 1996).

- **En çok olabilirlik tekniği**

Her bir gözlem (birey) en büyük olabilirlik değeri verecek biçimde daha önceden belirlenen kümelere atanmaktadır. Bu yöntem kuramsal dayanağı güçlü bir yöntemdir

(Everitt vd. 1992; Tatlıdil 1996).

3.1.2. Uzaklık ölçüleri

Kümeleme analizinde birey ya da nesneler arasındaki uzaklıkları hesaplamak için en yaygın kullanılan uzaklık ölçüsü “Öklid Uzaklığı”dır. Öklid uzaklığı, iki obje arasındaki benzerliği ölçmede en yaygın kullanılan uzaklık ölçüsü olup iki obje arasına çizilecek bir düz doğrunun uzunluğunu temel alır. Bu uzaklık ölçüsü dışında kullanılan diğer uzaklık ölçüleri de mevcuttur. Bunlar, Minkowski Uzaklığı, Pearson Uzaklığı, Manhattan (City Block) Uzaklığı, Mahalanobis D^2 Uzaklığı, Hotelling T^2 Uzaklığı, Canberra Uzaklığı’dır (Ünlükaplan 2008).

- **Öklit uzaklık ölçüsü**

Öklit uzaklığı, veri nesneleri arasındaki uzaklığı ölçmede kullanılan en yaygın ölçüm tekniğidir. Nesne sayısının 100’den fazla olması durumunda Öklit uzaklığının kullanılması tavsiye edilmektedir (Tung-Chun 2001).

Öklit uzaklığı çok sık kullanılsa da bir değişkenin ölçü birimine çok duyarlı olduğu için uzaklıkların sıralanması üzerinde önemli etkilere sahiptir. Ölçü birimine bağımlılık giderilebilmekle birlikte, bunun giderilmesi de diğer bazı problemlere neden olmaktadır. Örneğin en iyi ayırıcı durumda olan değişkenler ilgili kümeler arasındaki belirgin farklılığı azaltabilmektedir. Küme içindeki nesneler arası uzaklıklar, kümeler arası uzaklıklardan oransal olarak daha büyük olup kümelemenin açıklayabilirliğinin azalmasına da neden olabilmektedir (Akın 2008).

Öklit uzaklık ölçüsü, değişkenler uzayının ortogonal olduğunu yani değişkenlerin birbirinden bağımsız olduğunu varsayar. Ayrıca teorik olarak Öklit uzaklık ölçüsünün uygulanabilmesi için değişkenlerin en azından aralıklı ölçekte ölçülmüş olması koşulunun sağlanması gerekir (Akın 2008).

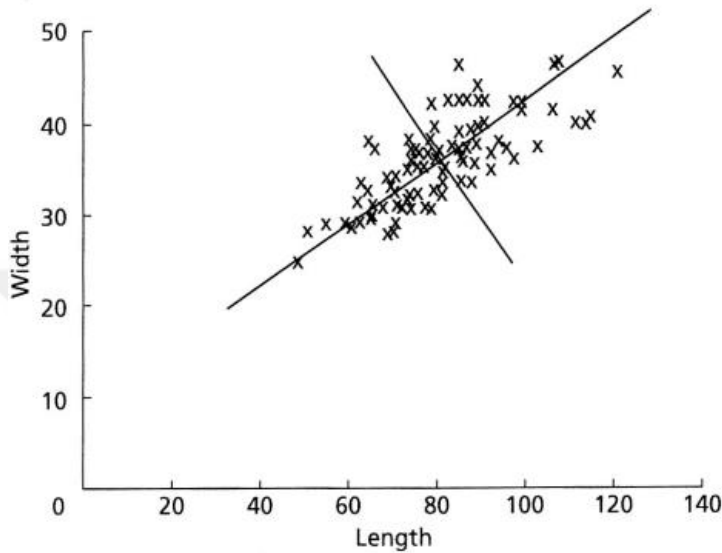
3.3. Temel Bileşen Analizi (TBA)

TBA en popüler çok değişkenli istatistiksel tekniklerden biridir ve neredeyse tüm bilimsel disiplinler tarafından kullanılmaktadır. Aynı zamanda en eski çok değişkenli teknik olması da muhtemeldir. TBA, genel olarak birbiriyle ilişkili olan birkaç bağımlı değişken tarafından açıklanan gözlemleri temsil eden bir veri tablosunu analiz eder. Amacı, veri tablosundan önemli bilgileri çıkarmak ve bu bilgiyi “Temel Bileşenler” adı verilen bir dizi yeni ortogonal değişken olarak ifade etmektir. TBA ayrıca, gözlemlerin ve değişkenlerin benzerlik durumunu, haritalar üzerinde noktalar halinde görselleştirme imkânı da sunar (Abdi ve Williams 2010).

Başka bir deyişle TBA, verilerdeki kalıpları tanımlamanın, benzerliklerini ve farklılıklarını vurgulayacak şekilde ifade etmenin bir yoludur. Grafik gösterim lüksünün olmadığı yüksek boyutlu verilerde, verilerdeki örüntüleri bulmak zor olabileceğinden, TBA, verileri analiz etmek için güçlü bir araç sağlamaktadır. TBA'nın diğer bir avantajı ise, verilerde fazla bilgi kaybı olmadan boyutların sayısını azaltarak sıkıştırmasıdır. Bu teknik, görüntü sıkıştırma amacıyla kullanılır (Smith 2002).

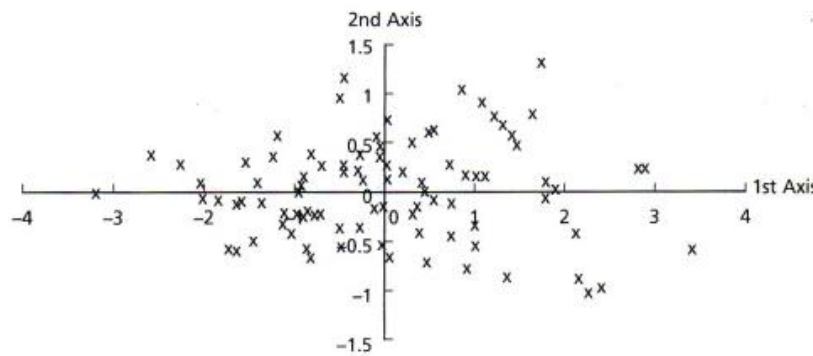
3.3.1. TBA çalışması örneği

Uzunluk ve genişlik olmak üzere iki değişken ölçülüp, Şekil 3.21’de gösterildiği gibi çizildiğinde, her iki değişken de yaklaşık olarak aynı varyansa sahip ve birbirleriyle oldukça ilişkili görülmektedir. Ardından nokta bulutunun uzun ekseninden bir vektörü ve her iki vektör de verilerin merkezinden geçen ikinci bir vektörü birinciye dik açılarda olacak şekilde geçirilir (Swan ve Sandilands 1995)



Şekil 3.21. TBA çizim örneği (Swan ve Sandilands 1995)

Bu vektörler oluşturulduktan sonra, bu iki dikey vektöre göre tüm veri noktalarının koordinatları bulunur ve Şekil 3.22’de gösterildiği gibi veriler yeniden çizilir (Swan ve Sandilands 1995).



Şekil 3.22. Dikey vektörlere göre veri noktalarının yeniden çizilmiş gösterimi (Swan ve Sandilands 1995)

Bu yeni referans çerçevesinde, eksen 1 boyunca varyansın eksen 2'dekinden daha büyük olduğu ve noktaların mekânsal ilişkilerinin de değişmediği görülmektedir. Bu işlem yalnızca verileri döndürmüştür. Böyle bir döndürme gerçekleştirdikten sonra yeni

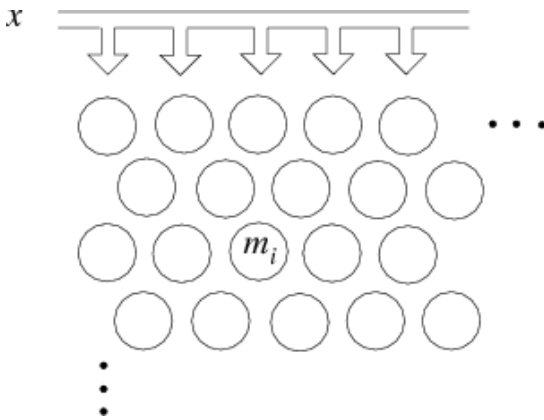
eksenlerin özel açıklamaları olabilir. Bu durumda, eksen 1, soldaki verilerin hem küçük uzunluk hem de genişliğe sahip olduğu ve sağdaki verilerin ise büyük uzunluk ve genişliğe sahip olduğu bir boyut ölçüsü olarak kabul edilebilir. Eksen 2, herhangi bir eksen 1 konumunda (belirli bir boyutta) numunelerin farklı uzunluk-genişlik oranlarına sahip olduğu bir şekil ölçüsü olarak kabul edilebilir. PC eksenleri genellikle orijinal değişkenlerin hiçbirisiyle tam olarak örtüşmeyecektir. Bu ilişkiler açık görünse de birçok değişkenle uğraşırken, bu süreç değişkenler arasındaki herhangi bir ilişkiyi çok daha hızlı bir şekilde değerlendirmeye izin vermektedir. Çok değişkenli veri kümeleri için bazı eksenlerin varyansı büyük olabilirken, diğerleri küçük olabilir, öyle ki bunlar göz ardı edilebilir. Bu, bir veri setinin boyutsallığının azaltılması olarak da bilinir. Öyle ki, biri otuz orijinal değişkenle başlayabilir, ancak sadece iki veya üç anlamlı eksenle bitebilir. Her bir ardışık eksen azalan bir varyans gösterecek şekilde bu veri döndürme yaklaşımının resmi adı “Temel Bileşenler Analizi” olarak bilinir. TBA, ana bileşenler veya PC'ler olarak da bilinen eksenleri oluşturmak için orijinal değişkenlerin doğrusal kombinasyonlarını üretir (Swan ve Sandilands 1995).

3.4. Kohonen Ağı – Self Organizing Map (SOM)

Yaygın olarak “Kohonen ağı” (Kohonen 1982; Kohonen 2001) olarak da bilinen “Self-Organizing Map (SOM)”, yüksek boyutlu verilerin, özellikle deneysel olarak elde edilen bilgilerin görselleştirilmesi ve analizi için bir hesaplama yöntemidir.

Kendi Kendini Düzenleyen Haritalar (SOM) metodu, ilk defa 1990 yılında Kohonen tarafından yayınlanan “The Self-Organizing Map” isimli makale ile tanınmıştır. Bu tarihten sonra da başta Kohonen olmak üzere, birçok gelişim ve adaptasyonlar görmüş ve çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Birçok sinirsel ağ uygulamalarında diğer metotlardan üstünlüğünü kanıtlamış olup üzerinde en çok çalışılan yöntemlerden biri olmuştur (Yürüklü ve Koçal 2012).

SOM, bir dizi veri ögesinden düzenli, genellikle iki boyutlu bir ızgara üzerine bir tür izdüşüm olan sıralı bir eşleme tanımlamaktadır. Bir model m_i , her bir ızgara düğümü ile ilişkilendirilir (Şekil 3.23). Bu modeller SOM algoritması ile hesaplanmaktadır. Bir veri ögesi, modeli veri ögesine en çok benzeyen, diğer anlamda bazı metriklerde veri ögesinden en küçük mesafeye sahip olan düğüme tanımlayacaktır.



Şekil 3.23. İki boyutlu bir SOM ızgarasındaki düğüm dizisi (Kohonen 2001)

Bu durumda model, genellikle, veri alanında verilen veri öğelerinin belirli bir ağırlıklı yerel ortalamasıdır. Ancak, modeller SOM algoritması ile hesaplandığında, yakındaki düğümler, ızgara üzerinde birbirinden daha uzakta bulunan düğümlerden daha benzerdirler. Kısaca, model kümesinin, veri öğelerinin dağılımının bir benzerlik grafiğini ve yapılandırılmış 'iskeletini' oluşturduğu söylenebilmektedir.

SOM'un ilk uygulama alanı konuşma tanıma olmuştur. Daha sonra ise, SOM, veri analizi ve veri keşfinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Kaski vd. 1998; Oja vd. 2003; Pöllä vd. 2007).

Temel olarak, SOM ağı şu şekilde çalışır: bir girdi modeli sunulduğunda, ağ kendisine daha benzer birimi arar. Bu şekilde ağ, topolojik olarak en yakın düğümlerin, benzer girdi modellerine benzeyen şekilde yanıt verdiği bir topolojik harita oluşturur (Braga vd. 2000).

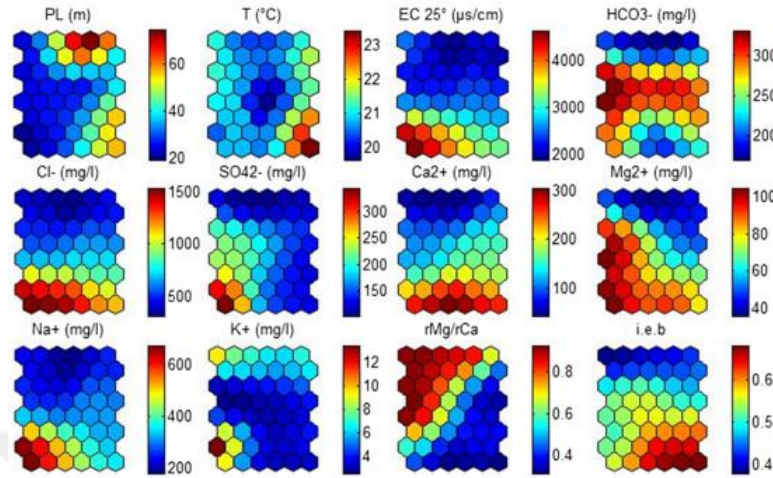
SOM, girdi ve çıktı olarak ikiye ayrılmakta olup, bu iki katmandan meydana gelmektedir. Kohonen katmanı olarak da isimlendirilen bu çıktı katmanı, genel olarak iki boyutlu bir düzlemdir ve veri setindeki kümelenmenin gözlenebilmesini sağlayan haritanın olduğu katmandır (Atasoy 2019). SOM ağlarında giriş nöronlarının sayısı, ağ içerisinde bulunan değişken sayısına bağlı olmakla birlikte, çıkış katmanındaki her birim de bir kümeyi temsil etmektedir. Çıkış katmanı dizilimleri doğrusal, küp, dikdörtgensel veya altıgen şeklinde olabilmektedir. Dizilimin topolojik komşuluk önemi açısından dolayı çoğunlukla dikdörtgensel ve altıgen şeklinde dizilimler tercih edilmekte olup, dizilimdeki her bir birime nöron adı verilmektedir. Bu durum, topolojinin korunmasını ve benzer özelliklere sahip değişkenlerin harita üzerinde bir araya getirilmesini sağlamaktadır. Topoloji korumasındaki doğruluk haritası, ortalama niceleme hatası (QE) ve topolojik hata (TE) ile değerlendirilmektedir (Kohonen 2001; Kohonen 2014). SOM hücrelerinin miktarını seçip, belirlemek ve harita boyutunu hesaplamak için topolojik değerler dikkate alınmaktadır ve bunlar çıktı sonuçları olan QE ve TE'nin minimum değerlerine bağlıdır. QE, orijinal girdi verilerini ayırt etmede kurulan sinir ağının kapasitesini belirlemek için kullanılırken, TE ise, sinir ağı kalitesini ölçmek, diğer bir deyişle, ağın eğitim için uygun olup olmadığını değerlendirmek için kullanılır (Kohonen 2001).

Bileşen düzlemleri, her bir nörondaki her bileşenin değerlerini ve her girdi vektörünün çıktı uzayı düzleminde nasıl değiştiğini gösterir. Aynı anda birkaç bileşen düzlemlerini görüntülerken ilişkili değişkenlerin saptanmasına izin verirler. Değişkenler arasında aynı renkteki desenler, bir değişkenin arttığını veya azaldığını gösterir (Ouzerbane vd. 2021). Bu durumda, bunlar pozitif korelasyonlardır. Tersine, değişkenler arasındaki negatif korelasyonlar ise aynı desenlere sahip olacak, ancak zıt renk dağılımına sahip olacaktır. Şekil 3.24'te örnek bir SOM haritası yer almaktadır.

Tez çalışmasında HCA uygulaması için Statistica StatSoft 12 programı kullanılmıştır. Uygulamada bağlantı mesafelerinin D_{link} / D_{max} olarak ifade edildiği kümeleme için Wards yöntemi ve uzaklık katsayısı olarak Öklidyen Mesafesi (Euclidean Distance) kullanılmıştır. HCA uygulaması farklı izleme noktaları ve izleme dönemlerinin benzerlik ve farklılıklarının yorumlanması için destek sağlamaktadır.

TBA analizi öncesinde aykırı verilerin veri setinden uzaklaştırılması amacı ile

GraphPad Prism 8 programından faydalanılmış ve veri normalizasyonu için logaritmik ve/veya range dönüşümü sağlanmıştır. TBA uygulaması Statistica StatSoft 12 programında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.24. Essaouira, Morocco’da yapılan bir çalışmada SOM ile analiz edilen hidrokimyasal parametreler için bileşen düzlemleri (kırmızı renkler yüksek değerleri, mavi renkler ise düşük değerleri temsil eder) (Ouzerbane vd. 2021)

Kohonen Ağları-SOM yöntemi için öncelikle veri seti için range normalizasyonu uygulanmış ve elde edilen yeni veri setleri ile MATLAB R2021a Kohonen-SOM programında uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Kohonen ağları yönteminin uygulanmasında ilk aşama uygun harita boyutunun seçilmesidir ve Vesanto ve Alhoniemi (2000), optimal nöron sayısının hesaplanması için $5\sqrt{n}$ ’in uygun bir yöntem olduğunu öne sürmüştür (n, analiz edilen örnek sayısını ifade eder). Ek olarak Li vd. (2018) tarafından yapılan çalışma da referans alınarak uygun harita boyutu için MATLAB R2021a Kohonen-SOM programında kantitatif hata ve topoğrafik hata değerleri incelenerek uygun harita boyutu belirlenmiştir. Kohonen Ağları sayesinde veri kümelemesi ile birlikte verilerin zamansal ve mekânsal analizleri de eş zamanlı olarak gerçekleştirilebilmektedir.

3.5. YASın Kirliliğe Karşı Hassasiyetinin Değerlendirmesi

YASın kirleticilere karşı gerçek hassasiyeti bölgenin jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik özelliklerini dikkate almaktadır. Ancak kirleticilerin yapısından bağımsızdır (Zwahlen 2003). YASın kirliliğe karşı hassasiyetini belirlemek amacıyla pek çok yöntem geliştirilmiş olup, buna yönelik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Gerçek hassasiyet değerlendirmesi için DRASTIC (Aller vd. 1987), SINTACS (Civita ve De Maio 1997), GOD (Foster 1987), EPIK (Doerfliger ve Zwahlen 1997), PI (Goldscheider vd. 2000) ve COP (Vias vd. 2006) en çok uygulanan yöntemlerdir. DRASTIC, SINTACS ve GOD yöntemleri bütün akifer türlerinde yaygın olarak kullanılmış olup, adapte edilmiştir. EPIK, PI ve COP yöntemleri ise genel olarak karstik akiferler için tanımlanmıştır (Polemio vd. 2009). Dünya genelinde en çok uygulanan yöntemler ile kullanılan parametrelerin karşılaştırması Çizelge 3.7’de yer almaktadır (Polemio vd. 2009).

Çizelge 3.7. YAS kirliliğine karşı hassasiyet değerlendirmesinde kullanılan yöntemler ve parametreleri (Polemio vd. 2009)

Parametreler	Yöntem					
	GOD	DRASTIC	SINTACS	PI	EPIK	COP
Topografik eğim		x	x	x	x	x
Hidrolik ağ			x	x		x
Toprak karakteristikleri		x	x	x	x	x
Net beslenme		x	x	x	x	x
Doygun olmayan bölgenin karakteristikleri	x	x	x	x	x	x
YASa olan derinlik	x	x	x	x		
Hidrojeolojik özellikler	x	x	x	x	x	
Akiferin hidrolik iletkenliği		x	x			
Akifer kalınlığı			x			
Arazi kullanımı			x	x	x	x

Tez çalışması kapsamında YAS kirliliğine karşı hassasiyetin belirlenmesi için daha önce tamamlamış olan TÜBİTAK 114Y696 nolu proje kapsamında uygulanan DRASTIC, SINTACS, PI, EPIK ve COP yöntemlerinin sonuçları kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin dayandığı parametrelere yönelik özet bilgiler aşağıda verilmektedir:

- **DRASTIC**

DRASTIC yöntemi Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı tarafından geliştirilmiş olup, bu yöntem içinde yedi parametre yer almaktadır: YASa olan derinlik, akifer malzemesi, net beslenme, topografya, toprak bünyesi, hidrolik iletkenlik ve vadoz bölge özelliği (Aller vd. 1987). Her parametre için 1-10 aralığında bir değerlendirme skalası mevcut olup, farklı akifer ve toprak özelliklerine bağlı olarak parametrelere ilişkin değerler kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Ayrıca, her parametre için ağırlık faktörleri de tanımlanmıştır. Böylece, ağırlık faktörleri her parametrenin toplam hassasiyet üzerindeki katkısını belirleyebilmektedir. Hassasiyet değerlendirmesindeki nihai veriyi elde etmek için ağırlık faktörleri ile çarpılmış olan parametre değerleri toplanmaktadır. DRASTIC modelinde ağırlık faktörleri iki farklı koşul için tanımlanmakta olup, normal durum ve yoğun tarımsal faaliyetleri içeren durum olarak ayrılmaktadır (Gogu ve Dassargues 2000).

- **SINTACS**

SINTACS yöntemi DRASTIC yöntemini iyileştirmek amacı ile geliştirilmiş olup, hemen hemen aynı parametreleri içermektedir (Civita 1994; Civita ve De Maio 1997). SINTACS yöntemi, İtalyan hidrojeologlar tarafından farklı hidrojeolojik ve iklim koşullarında gerçekleştirilen çeşitli test sahalarından elde edilen verilere dayanmaktadır. Yöntemin geliştirilmesindeki temel amaç ise, İtalya'daki her homojen yapı için uygulanabilir olmasıdır (Civita ve De Maio 1997). Model, beş farklı ağırlık setinin (drenaj, normal etki, uygun etki, çatlaklı akifer, karstik) büyük alanların değerlendirilmesinde eş zamanlı olarak kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Farklı ağırlık setleri sayesinde,

antropojenik faaliyetler sonucu büyük değişim gözlenen yerleşim bölgelerini veya yoğun kimyasal kullanımı görülen tarımsal alanlar ile farklı akifer çeşitlerini (karstik, çatlaklı veya gözenekli akiferler) dikkate almaktadır.

• EPIK

EPIK yöntemi, İsviçre’de tanımlanmış olup, sadece karstik akiferlerin hassasiyet değerlendirmesinde kullanılmaktadır (Doerfliger ve Zwahlen 1997; Doerfliger vd. 1999). Yöntem içinde dört parametre ele alınmaktadır: koruyucu tabaka (P), epikarst (E), karst ağının gelişimi (K), infiltrasyon koşulları (I). E parametresi, suyun depolanması (kar erimesi veya yağış sırasında) ve dikey kanallara doğru akış yoğunluğunun etkisini dikkate almaktadır. P parametresi, yer yüzeyi ve YAS tablası arasında kalan tabakaların koruyucu etkisini tanımlamaktadır. I parametresi, yayılı infiltrasyon alanları ile etkin noktasal infiltrasyon alanlarının ayrılması ile değerlendirilmektedir. K parametresi ise, akifer içindeki karst ağı gelişim derecesini temsil etmektedir. Hassasiyet indeksi olarak tanımlanan nihai verinin hesaplanması için her parametre değeri bir ağırlık faktörü ile çarpılır ve oluşan sonuçlar toplanır.

• PI

PI yöntemi, Avrupa Birliği’nin COST 620 çalışması öncesinde geliştirilmiş olup kavramsal olarak benzer olmasına rağmen terminolojisi biraz farklıdır (Goldscheider vd. 2000). Bu yöntem, tüm akifer çeşitleri için uygulanabilmekte olup, karstik alanlar için ayrı araçlar tanımlanmıştır. Koruyucu faktör (π), iki faktörün çarpımı ile değerlendirilmektedir ($\pi = P \cdot I$). Bu faktörler, koruyucu tabaka (P) ve infiltrasyon koşulları (I) olarak tanımlanmaktadır. Yüksek koruma faktörü düşük hassasiyeti, düşük koruma faktörü ise yüksek hassasiyeti ifade etmektedir.

• COP

COP yöntemi, Avrupa Birliği’nin COST 620 çalışmasında bahsedilen yaklaşıma dayalı olarak gerçek hassasiyet haritalaması için geliştirilmiştir (Vias vd. 2002, 2004). Hassasiyet üç faktörün çarpımı ile değerlendirilmektedir:

$$COP = C \cdot O \cdot P \quad (3.1)$$

Eşitlikte; C= akış yoğunluğu, O= üst tabaka, P= yağış olarak tanımlanmaktadır. O faktörü, akiferin doymun olmayan bölgesinin bir kontaminasyon olayına karşı koruyuculuğunu ifade etmektedir. C ve P faktörleri ise, üst tabakada sağlanan koruma derecesinin düzeltilmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca, C faktörü hızlı infiltrasyon bölgelerine doğru suyun akışını kontrol eden yüzey koşullarını dikkate almaktadır. P faktörü ise, yağış miktarı ile yoğunluğunun kirleticilerin taşınımı ve dolayısıyla hassasiyet oluşumu üzerindeki etkisini dikkate almaktadır. Belirtilen üç faktörün çarpılması sonucunda elde edilen nihai hassasiyet indeksi için beş farklı sınıf tanımlanmış olup, bu sınıflar çok düşükten, çok yüksek doğru sıralanmaktadır.

Tez çalışması kapsamında YAS kalite parametreleri ile kirlilik hassasiyeti arasındaki istatistiksel bağıntıların varlığı da incelenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yüzey suyu kalitesi hem antropojenik faaliyetlerden hem de doğal süreçlerden etkilenmektedir. Su kalitesini etkileyen doğal süreçler, yağış oranı, ayrışma süreçleri ve tortu taşınmasını içerirken, antropojenik faaliyetler kentsel gelişim ve genişleme ile endüstriyel ve tarımsal uygulamaları içermektedir. Bu faaliyetler genellikle su kalitesinin, fiziksel habitatın ve lotik sistemin, akarsu sisteminin, biyolojik bütünlüğünün bozulmasına neden olur. Bu nedenle, su kirliliğini kontrol etmek, akarsu havzasındaki su kalitesini izlemek ve su kalitesindeki zamansal ve mekânsal değişiklikleri yorumlamak önemlidir (Varol ve Şen 2009).

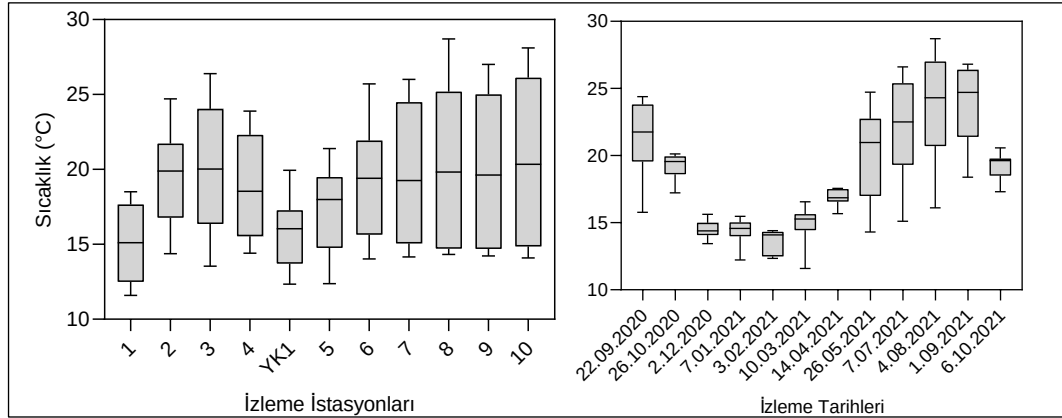
Tez çalışması kapsamında ilk olarak Aksu Çayı'nda belirlenmiş olan on iki adet izleme istasyonunda, on iki ay boyunca izlenen su kalitesi izleme verilerine, bilgi edinmek ve çıkarımlarda bulunabilmek amacıyla çeşitli analiz yöntemleri uygulanmıştır. İlk önce tanımlayıcı istatistikler (ölçüm veri setinin az olması nedeniyle YK2 istasyonu dahil edilmemiştir) uygulanarak ön bilgiler edinilmeye çalışılmıştır. Ardından çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden CA ve TBA ile Kohonen ağları yöntemleri kullanılarak su kalitesinin zamansal ve mekânsal olarak irdelenmesi hedeflenmiş olup, bulgular tartışılmıştır. Tezin ikinci çalışma alanı olan Altınova bölgesi için YAS kalitesinin zamansal ve mekânsal değişimi CA, TBA ve Kohonen ağları yöntemleri kullanılarak incelenmiş, su kalitesi parametreleri ile YAS kirlilik hassasiyeti değerlendirme yöntemlerinin sonuçları için de istatistiksel uygulamalar yapılmıştır.

4.1. Aksu Çayı Su Kalitesi İçin Tanımlayıcı İstatistikler

Aksu Çayı'nda gerçekleştirilen su kalitesi izleme çalışmaları kapsamında hem örnekleme noktalarında gerçekleştirilen ölçümler hem de Akdeniz Su Ürünleri Araştırma Üretim ve Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü'ne ait laboratuvarlarda gerçekleştirilen analiz çalışmaları ile çalışma alanına ait su kalitesi verileri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında örnekleme noktalarında (Aksu 1, 2, 3, 4, YK1, YK2, 5, 6, 7, 8, 9, 10) T, pH, EC, S, ÇÖ, %ÇÖ, Bulanıklık, AKM, F, Cl⁻, Br⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, o-PO₄³⁻, SO₄²⁻, Li, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, TOK, TN, TP, KOİ, BOİ₅, Alk, HCO₃⁻, CO₃²⁻, klorofil-a (Chl-a), renk (R436, R525, R620), TC, FC, FS ve *Escherichia Coli* parametrelerine ait ölçüm ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Aksu-1, Aksu-2 ve Aksu-3 istasyonları Nisan 2021 tarihinde kurumuştur. Ek olarak, Aksu-2 ve Aksu-3 istasyonları Aralık 2020 ile Ocak 2021 tarihlerinde de kuru olarak kaydedilmiştir. YK2 istasyonu ise, Eylül-Ekim 2020 ile Şubat 2021 tarihleri dışındaki tüm aylarda kuru olarak tespit edilmiştir. Bu sebeple, bazı dönemlerde numune alınamamış olup analizlerin gerçekleştirilemediği durumlar ortaya çıkmıştır.

- Sıcaklık (T)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük su sıcaklığı Mart 2021 döneminde (11,59 °C) İst-1'de ölçülmüştür. En yüksek su sıcaklığı ise hava sıcaklıklarının da yüksek olduğu Ağustos 2021 döneminde (28,70 °C) İst-8'de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama su sıcaklıkları sırasıyla 15,10 ± 2,45 °C ile 20,20 ± 5,21 °C arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.1). Çizelge 4.1'de T için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



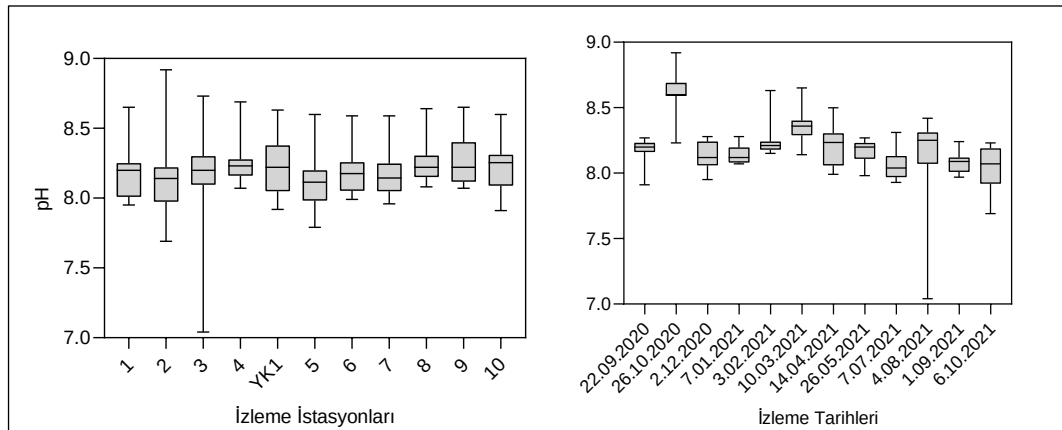
Şekil 4.1. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre su sıcaklığının (°C) değişimi

Çizelge 4.1. Araştırma dönemi içerisinde su sıcaklığının (°C) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	11,59	14,37	13,54	14,40	12,34	12,38	14,02	14,16	14,32	14,22	14,10
Max	18,51	24,70	26,40	23,90	19,94	21,40	25,70	26,00	28,70	27,00	28,10
Ort	15,10	19,56	20,28	19,03	15,91	17,42	19,22	19,71	20,20	19,95	20,61
SS	2,45	3,15	4,50	3,49	2,32	2,77	3,72	4,57	5,21	4,94	5,35

• pH

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük pH değeri Ağustos 2021 döneminde (7,04) İst-3'te ölçülmüştür. En yüksek pH değeri ise Ekim 2020 döneminde (8,92) İst-2'de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama pH değerleri sırasıyla $8,13 \pm 0,45$ ile $8,15 \pm 0,33$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.2). Çizelge 4.2'de pH için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



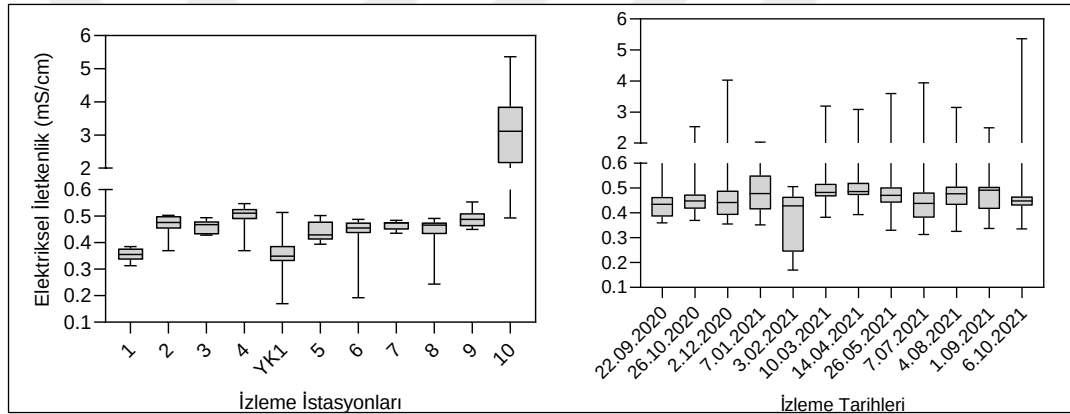
Şekil 4.2. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre pH'ın değişimi

Çizelge 4.2. Araştırma dönemi içerisinde pH'ın istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	7,95	7,69	7,04	8,07	7,92	7,79	7,99	7,96	8,08	8,07	7,91
Max	8,65	8,92	8,73	8,69	8,63	8,60	8,59	8,59	8,64	8,65	8,60
Ort	8,21	8,15	8,13	8,25	8,22	8,14	8,18	8,17	8,25	8,27	8,22
SS	0,23	0,33	0,45	0,15	0,22	0,22	0,16	0,17	0,15	0,18	0,18

• Elektriksel İletkenlik (EC)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük EC değeri Şubat 2021 döneminde (0,17 mS/cm) İst-YK1'de ölçülmüştür. En yüksek EC değeri ise Ekim 2021 döneminde (5,36 mS/cm) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama EC değerleri sırasıyla $0,36 \pm 0,08$ mS/cm ile $2,89 \pm 1,37$ mS/cm arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.3). Çizelge 4.3'te EC değeri için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



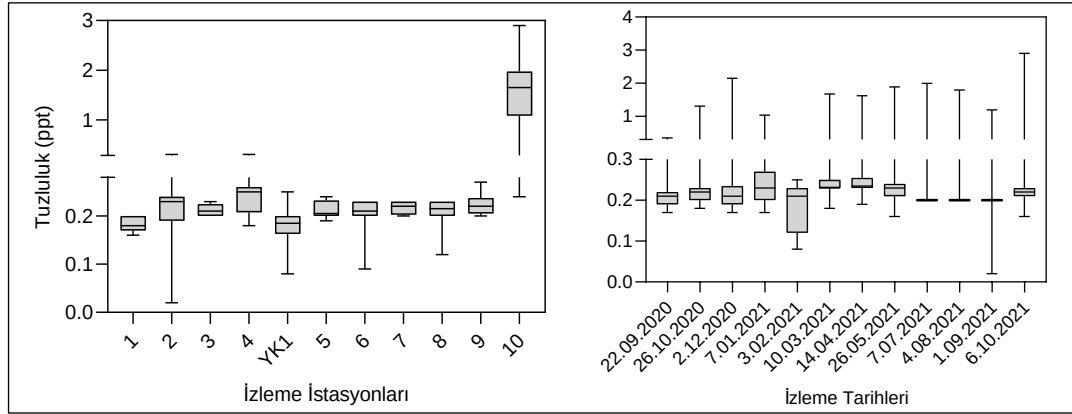
Şekil 4.3. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre EC değişimi

Çizelge 4.3. Araştırma dönemi içerisinde EC (mS/cm) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,31	0,37	0,43	0,37	0,17	0,39	0,19	0,44	0,24	0,45	0,49
Max	0,39	0,50	0,49	0,55	0,51	0,50	0,49	0,48	0,49	0,55	5,36
Ort	0,35	0,47	0,46	0,49	0,36	0,44	0,44	0,46	0,44	0,49	2,89
SS	0,02	0,04	0,03	0,06	0,08	0,04	0,08	0,02	0,07	0,03	1,37

• Tuzluluk (S)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük S değeri Eylül 2021 döneminde (0,02 ppt) İst-2'de ölçülmüştür. En yüksek S değeri ise Ekim 2021 döneminde (2,90 ppt) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama S değerleri sırasıyla $0,21 \pm 0,08$ ppt ile $1,52 \pm 0,75$ ppt arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.4). Çizelge 4.4'te S için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.4. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre tuzluluğun değişimi

Çizelge 4.4. Araştırma dönemi içerisinde tuzluluğun (ppt) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

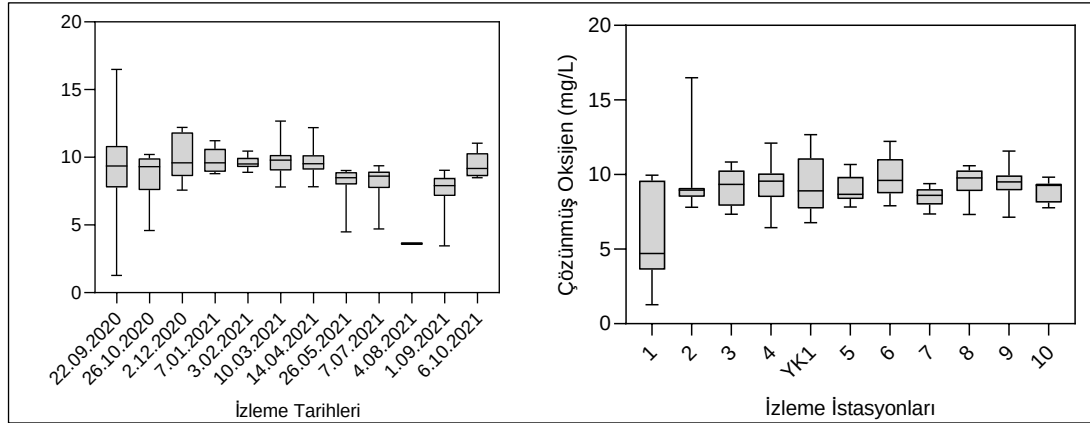
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,16	0,02	0,20	0,18	0,08	0,19	0,09	0,20	0,12	0,20	0,24
Max	0,20	0,30	0,23	0,30	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23	0,27	2,90
Ort	0,18	0,21	0,21	0,24	0,18	0,21	0,21	0,22	0,21	0,23	1,52
SS	0,01	0,08	0,01	0,03	0,04	0,02	0,04	0,01	0,03	0,02	0,75

• Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonu (ÇO)

Aksu Çayı’nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük ÇO konsantrasyonu değeri Eylül 2020 döneminde (1,27 mg/L) İst-1’de ölçülmüştür. En yüksek ÇO konsantrasyonu değeri ise yine Eylül 2020 döneminde (16,49 mg/L) İst-2’de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama ÇO konsantrasyonu değerleri sırasıyla $6,15 \pm 3,04$ mg/L ile $9,69 \pm 2,78$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.5). Çizelge 4.5’te ÇO konsantrasyonu için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 4.5. Araştırma dönemi içerisinde ÇO konsantrasyonunun (mg/L) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

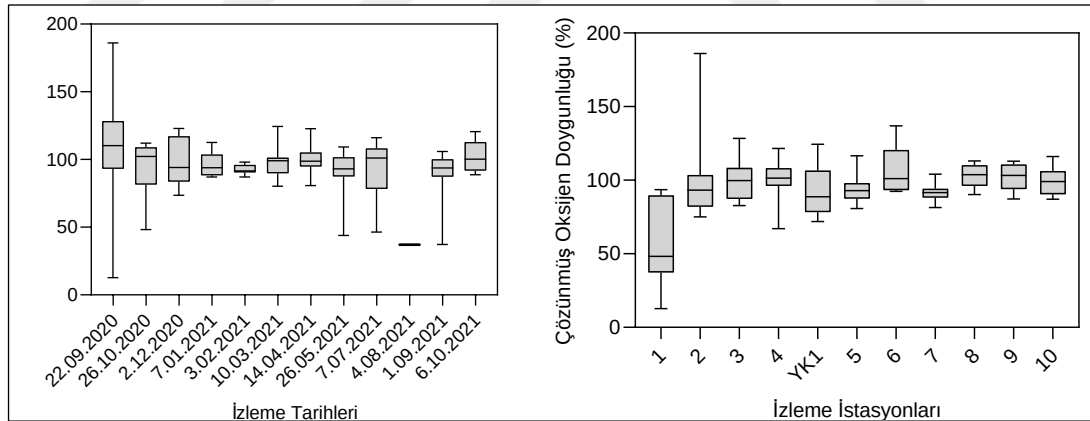
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	1,27	7,81	7,34	6,44	6,77	7,83	7,90	7,36	7,33	7,14	7,77
Max	9,96	16,49	10,84	12,10	12,68	10,68	12,23	9,39	10,59	11,57	9,83
Ort	6,15	9,69	9,17	9,51	9,39	9,08	9,86	8,45	9,53	9,48	8,97
SS	3,04	2,78	1,25	1,48	1,99	0,93	1,47	0,66	0,96	1,09	0,73



Şekil 4.5. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre ÇO konsantrasyonunun değişimi

• Çözülmüş Oksijen Doygunluğu (%ÇO)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük %ÇO doygunluğu değeri Eylül 2020 döneminde (12,80 mg/L) İst-1'de ölçülmüştür. En yüksek %ÇO doygunluğu değeri ise yine Eylül 2020 döneminde (186,10 mg/L) İst-2'de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama %ÇO doygunluğu değerleri sırasıyla $60,34 \pm 28,18$ mg/L ile $102,50 \pm 35,17$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.6). Çizelge 4.6'da %ÇO doygunluğu için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



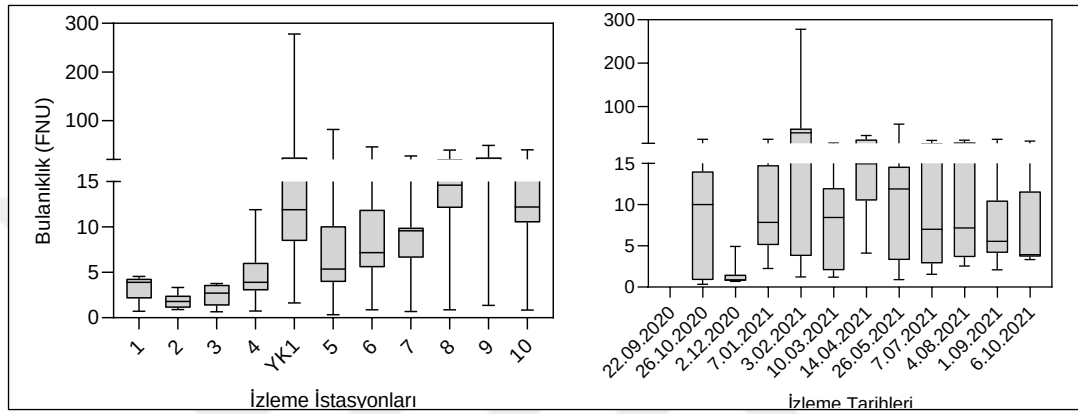
Şekil 4.6. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre %ÇO doygunluğunun değişimi

Çizelge 4.6. Araştırma dönemi içerisinde %ÇO doygunluğunun (%) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	12,80	75,10	82,80	67,10	71,90	80,80	92,40	81,40	90,20	87,30	87,00
Max	93,60	186,10	128,40	121,50	124,40	116,50	136,90	104,00	113,00	112,90	116,10
Ort	60,34	102,50	100,40	101,50	94,34	94,09	105,40	91,14	103,10	102,30	98,84
SSS	28,18	35,17	14,64	13,71	18,15	10,20	15,15	60,17	70,94	90,15	90,17

• Bulanıklık

Aksu Çayı’nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük bulanıklık değeri Ekim 2020 döneminde (0,33 FNU) İst-5’te ölçülmüştür. En yüksek bulanıklık değeri ise Şubat 2021 döneminde (278 FNU) İst-YK1’de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama bulanıklık değerleri sırasıyla $14,87 \pm 23,85$ FNU ile $40,14 \pm 80,39$ FNU arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.7). Çizelge 4.7’de bulanıklık için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



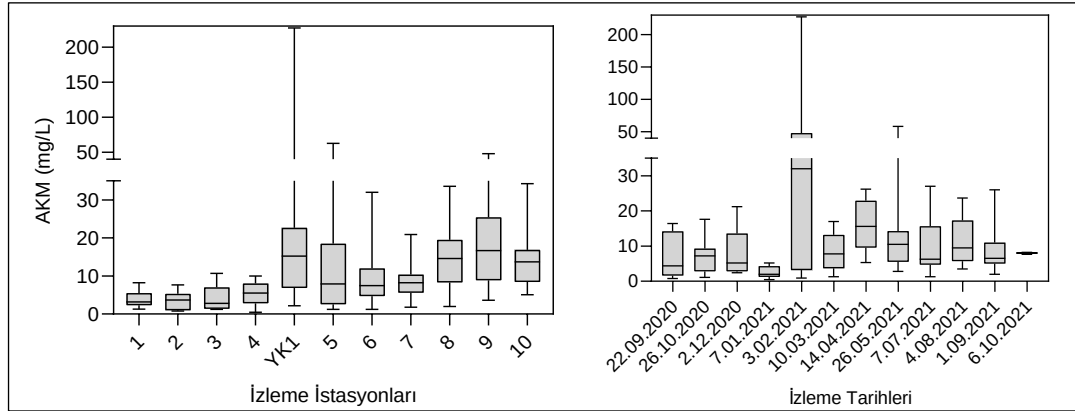
Şekil 4.7. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre bulanıklığın değişimi

Çizelge 4.7. Araştırma dönemi içerisinde bulanıklığın (FNU) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,72	0,91	0,67	0,74	1,64	0,33	0,87	0,69	0,89	1,36	0,84
Max	4,56	3,35	3,78	11,90	278	81,80	46,10	27,20	39,60	49,20	39,90
Ort	3,32	1,84	2,49	4,68	40,14	14,87	10,98	9,79	16,43	20,40	15,39
SS	1,39	0,83	1,16	3,02	80,39	23,85	12,15	6,60	9,72	11,58	9,96

• Askıda Katı Madde (AKM)

Aksu Çayı’nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük AKM değeri Ocak 2021 döneminde (0,50 mg/L) İst-4’te ölçülmüştür. En yüksek AKM değeri ise Şubat 2021 döneminde (227,50 mg/L) İst-YK1’de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama AKM değerleri sırasıyla $5,30 \pm 2,96$ mg/L ile $34,04 \pm 62,67$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.8 ve Çizelge 4.8). Çizelge 8’de AKM için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



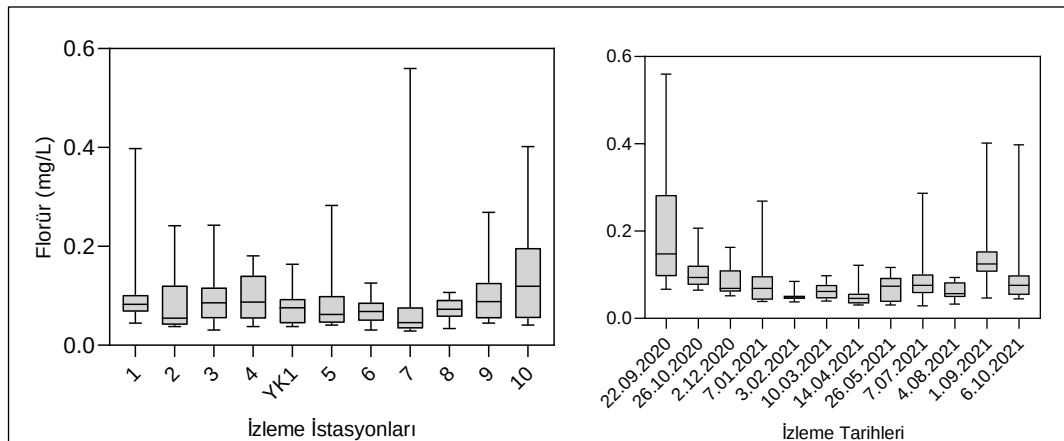
Şekil 4.8. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre AKM değişimi

Çizelge 4.8. Araştırma dönemi içerisinde AKM (mg/L) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	1,30	0,80	1,20	0,50	2,20	1,20	1,20	1,80	2,00	3,60	5,10
Max	8,23	7,69	10,70	10,00	227,50	62,80	32,00	20,90	33,60	48,00	34,30
Ort	4,08	3,51	4,22	5,30	34,04	13,40	9,28	8,95	14,61	18,74	14,18
SS	2,41	2,38	3,42	2,96	62,67	17,33	8,02	4,93	8,39	12,13	7,69

• Florür (F)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük F değeri Temmuz 2021 döneminde (0,029 mg/L) İst-7'de ölçülmüştür. En yüksek F değeri ise Eylül 2020 döneminde yine (0,560 mg/L) İst-7'de ölçülmüştür. İst-7'deki ortalama F değeri $0,092 \pm 0,149$ mg/L olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.9). Çizelge 4.9'da F için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



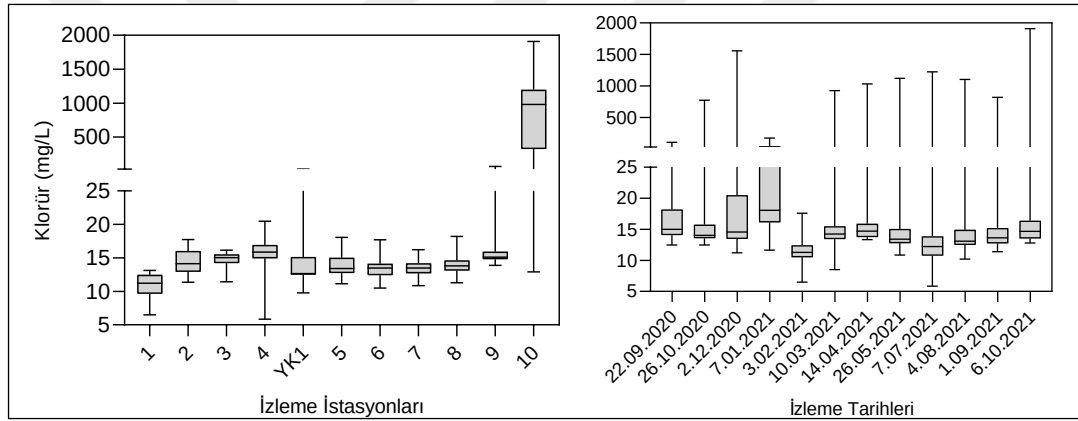
Şekil 4.9. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre F değişimi

Çizelge 4.9. Araştırma dönemi içerisinde F (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,045	0,038	0,031	0,038	0,038	0,041	0,031	0,029	0,034	0,045	0,041
Max	0,398	0,242	0,243	0,181	0,164	0,283	0,126	0,560	0,107	0,269	0,402
Ort	0,130	0,086	0,097	0,096	0,077	0,085	0,069	0,092	0,073	0,103	0,146
SS	0,120	0,069	0,062	0,049	0,035	0,068	0,027	0,149	0,022	0,062	0,110

• Klorür (Cl)

Aksu Çayı’nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük Cl değeri Temmuz 2021 döneminde (5,83 mg/L) İst-4’te ölçülmüştür. En yüksek Cl değeri ise Ekim 2021 döneminde (1909 mg/L) İst-10’da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama Cl değerleri sırasıyla $15,30 \pm 3,57$ mg/L ile $896,70 \pm 574,60$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.10). Çizelge 4.10’da Cl için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.10. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Cl değişimi

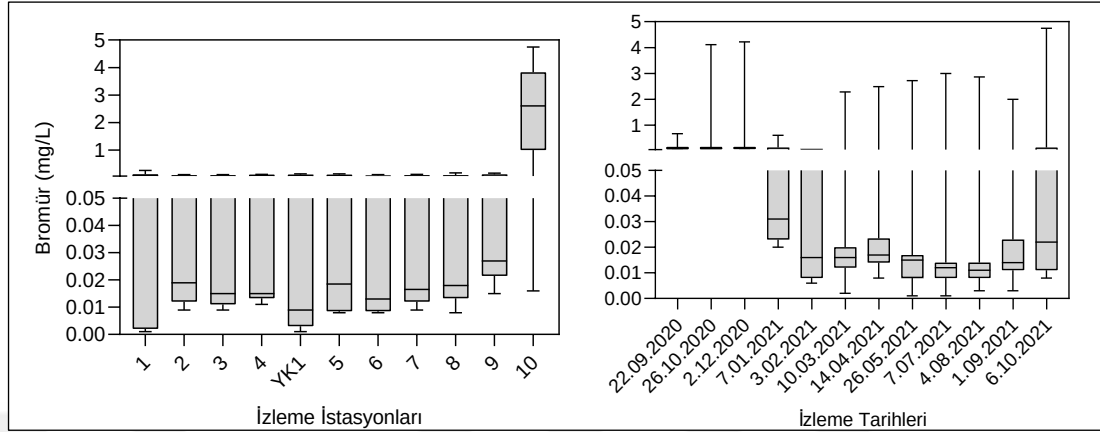
Çizelge 4.10. Araştırma dönemi içerisinde Cl (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	60,48	11,36	11,45	50,83	90,79	11,16	10,48	10,84	11,29	13,89	12,90
Max	13,14	17,74	16,17	20,48	25,16	18,07	17,70	16,21	18,22	66,89	1909
Ort	10,74	14,38	14,63	15,30	14,79	13,88	13,47	13,55	14,08	19,56	896,70
SS	10,96	10,98	10,38	30,57	50,04	10,82	10,73	10,48	10,80	14,94	574,60

• Bromür (Br)

Aksu Çayı’nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük Br değerleri Mayıs ve Temmuz 2021 dönemlerinde (0,001 mg/L) ve İst-1 ile İst-YK1’de ölçülmüştür. En yüksek Br değeri ise Ekim 2021 döneminde (4,743 mg/L) İst-10’da ölçülmüştür. İstasyonlardaki en düşük değerlere sahip olan Br değerleri için ortalama hesaplamaları ise Mayıs 2021 dönemi için $0,079 \pm 0,087$ mg/L iken, Temmuz 2021 dönemi için $0,043 \pm 0,055$ mg/L arasında bulunmuştur. En

yüksek değere sahip olan Br^- değerinin ise ortalaması $2,476 \pm 1,489$ mg/L olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.11). Çizelge 4.11’de Br^- için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.11. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Br^- değişimi

Çizelge 4.11. Araştırma dönemi içerisinde Br^- (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

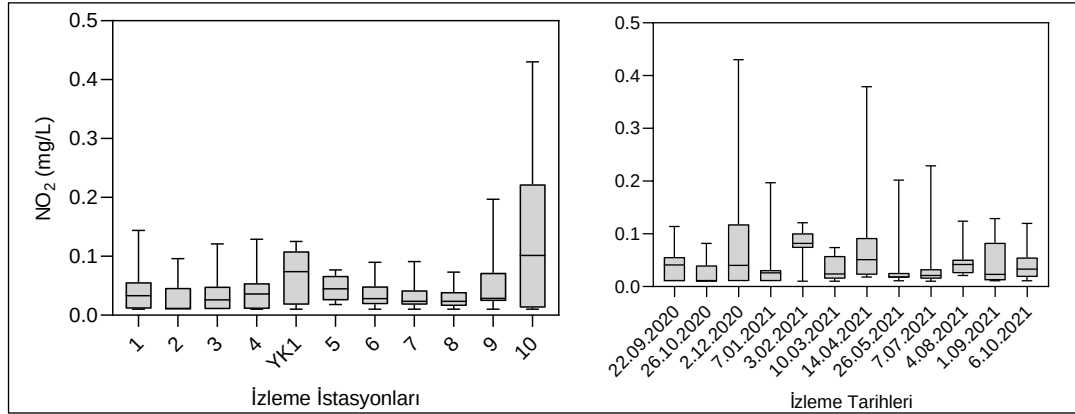
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,001	0,009	0,009	0,011	0,001	0,008	0,008	0,009	0,008	0,015	0,016
Max	0,256	0,106	0,109	0,117	0,136	0,135	0,111	0,116	0,168	0,162	4,743
Ort	0,079	0,050	0,045	0,046	0,043	0,048	0,036	0,040	0,046	0,058	2,476
SS	0,087	0,043	0,043	0,047	0,055	0,051	0,044	0,045	0,054	0,053	1,489

• Nitrit (NO_2^-)

Aksu Çayı’nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük NO_2^- değerleri Eylül 2020-Mart 2021 ile Temmuz 2021 dönemlerinde gerçekleşmiş olup, (0,010 mg NO_2^- /L) İst-5 hariç tüm istasyonlarda ölçülmüştür. En yüksek NO_2^- değeri ise Aralık 2020 döneminde (0,430 mg NO_2^- /L) İst-10’da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama NO_2^- değerleri ise Şekil 4.12 ve Çizelge 4.12’deki gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.12. Araştırma dönemi içerisinde NO_2^- (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

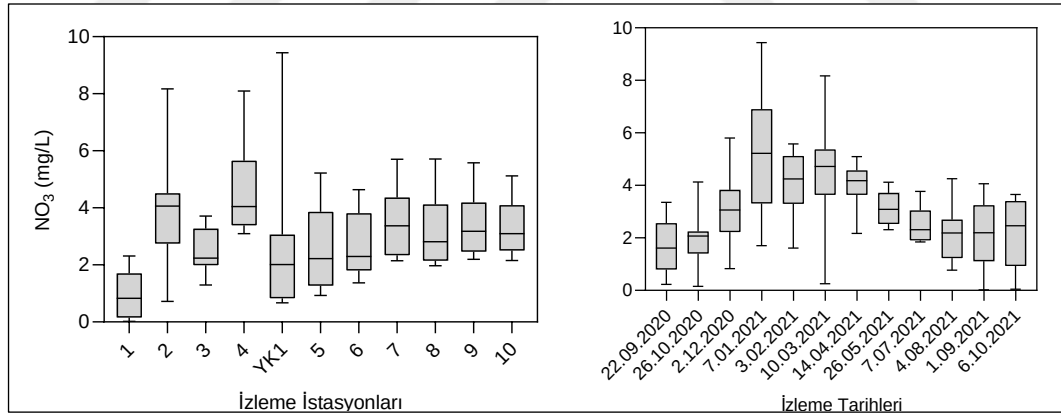
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,018	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Max	0,144	0,096	0,121	0,129	0,125	0,077	0,090	0,091	0,073	0,197	0,430
Ort	0,046	0,030	0,036	0,042	0,064	0,045	0,035	0,035	0,030	0,050	0,137
SS	0,044	0,030	0,036	0,038	0,046	0,022	0,022	0,026	0,018	0,053	0,146



Şekil 4.12. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre NO_2 parametresinin değişimi

- Nitrat (NO_3)**

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük NO_3^- değeri Eylül 2021 döneminde ($0,02 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$) İst-1'de ölçülmüştür. En yüksek NO_3^- değeri ise Ocak 2021 döneminde ($9,44 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$) İst-YK1'de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama NO_3^- değerleri sırasıyla $0,90 \pm 0,84 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ ile $2,55 \pm 2,51 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.13). Çizelge 4.13'te pH için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



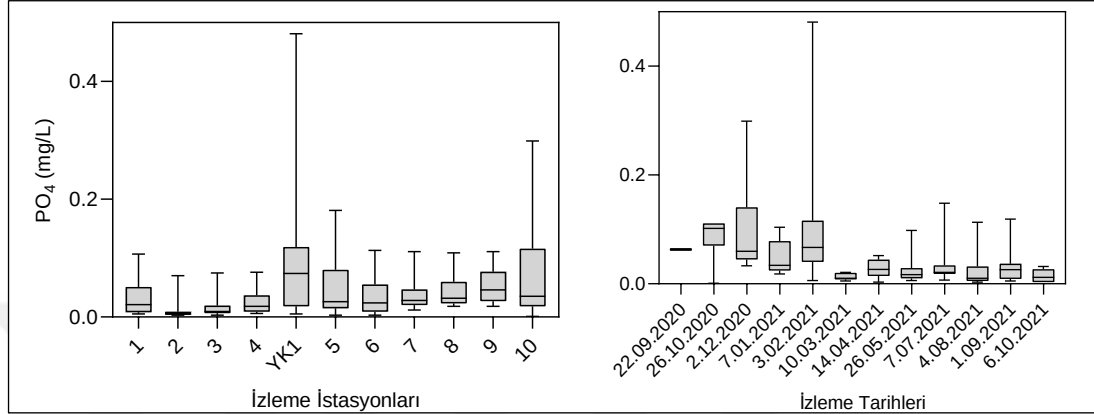
Şekil 4.13. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre NO_3 parametresinin değişimi

Çizelge 4.13. Araştırma dönemi içerisinde NO_3 (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,02	0,72	1,29	3,09	0,67	0,93	1,37	2,15	1,97	2,20	2,16
Max	2,32	8,17	3,71	8,10	9,44	5,22	4,64	5,71	5,71	5,58	5,12
Ort	0,90	3,93	2,47	4,62	2,55	2,52	2,74	3,47	3,16	3,46	3,32
Sd	0,84	2,04	0,78	1,53	2,51	1,41	1,10	1,21	1,21	1,15	0,97

• Orto-Fosfat (PO_4^{3-})

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük PO_4^{3-} değeri Ekim 2020 döneminde ($0,003 \text{ mg PO}_4^{3-}/\text{L}$) ve İst-2, İst-3, İst-5 ile İst-6 istasyonlarında ölçülmüştür. En yüksek PO_4^{3-} değeri ise Şubat 2021 döneminde ($0,481 \text{ mg PO}_4^{3-}/\text{L}$) İst-YK1'de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama PO_4^{3-} değerleri ise Şekil 4.14 ve Çizelge 4.14'deki gibi bulunmuştur.



Şekil 4.14. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara PO_4^{3-} parametresinin değişimi

Çizelge 4.14. Araştırma dönemi içerisinde PO_4^{3-} (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

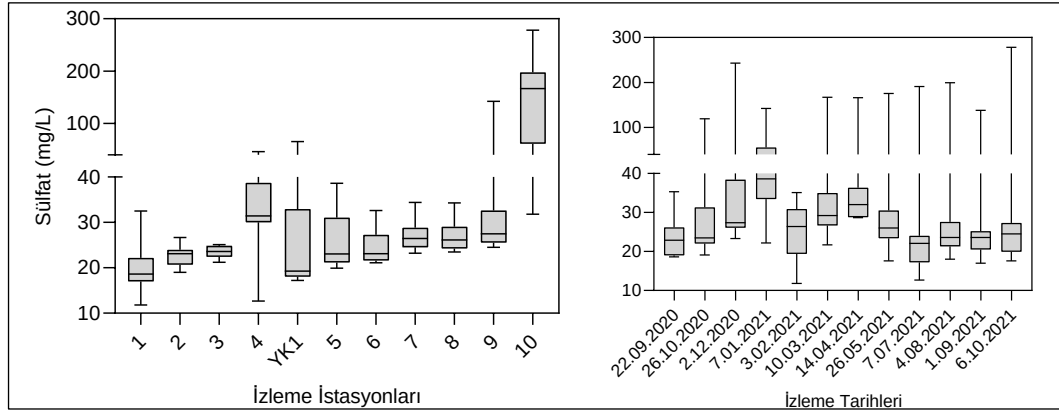
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,005	0,003	0,003	0,006	0,005	0,003	0,003	0,012	0,018	0,018	0,001
Max	0,107	0,070	0,075	0,076	0,481	0,181	0,113	0,111	0,109	0,111	0,299
Ort	0,033	0,014	0,018	0,025	0,104	0,048	0,037	0,036	0,042	0,051	0,081
SS	0,031	0,023	0,024	0,021	0,136	0,054	0,040	0,028	0,027	0,028	0,089

• Sülfat (SO_4^{2-})

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük SO_4^{2-} değeri Şubat 2021 döneminde ($11,80 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{L}$) İst-1'de ölçülmüştür. En yüksek SO_4^{2-} değeri ise Ekim 2021 döneminde ($278,40 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{L}$) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama SO_4^{2-} değerleri sırasıyla $19,94 \pm 5,54 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{L}$ ile $149 \pm 80 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{L}$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.15). Çizelge 4.15'te SO_4^{2-} için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 4.15. Araştırma dönemi içerisinde SO_4^{2-} (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

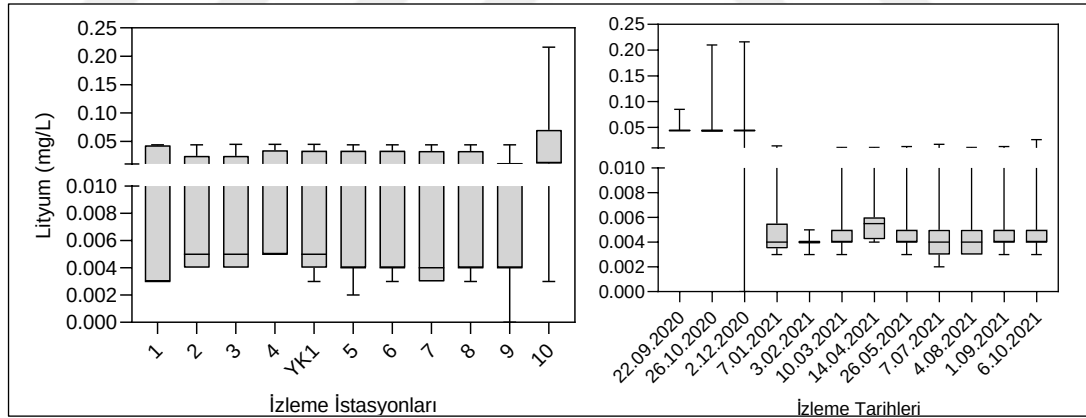
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	11,80	19,00	21,20	12,70	17,20	19,90	21,10	23,20	23,50	24,50	31,80
Max	32,50	26,70	25,10	46,10	65,40	38,60	32,60	34,40	34,30	142,30	278,40
Ort	19,94	22,63	23,61	32,95	25,99	25,78	24,58	26,81	27,22	37,99	149
SS	5,54	2,42	1,37	8,54	14,13	6,13	3,67	3,10	3,43	33,02	80



Şekil 4.15. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre SO_4^{2-} parametresinin değişimi

- **Lityum (Li)**

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük Li değeri Aralık 2020 döneminde (0 mg/L) İst-9'da ölçülmüştür. En yüksek Li değeri ise yine Aralık 2020 döneminde (0,216 mg/L) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama Li değerleri sırasıyla $0,011 \pm 0,016$ mg/L ile $0,052 \pm 0,078$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.16 ve Çizelge 4.16). Çizelge 4.16'da Li için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



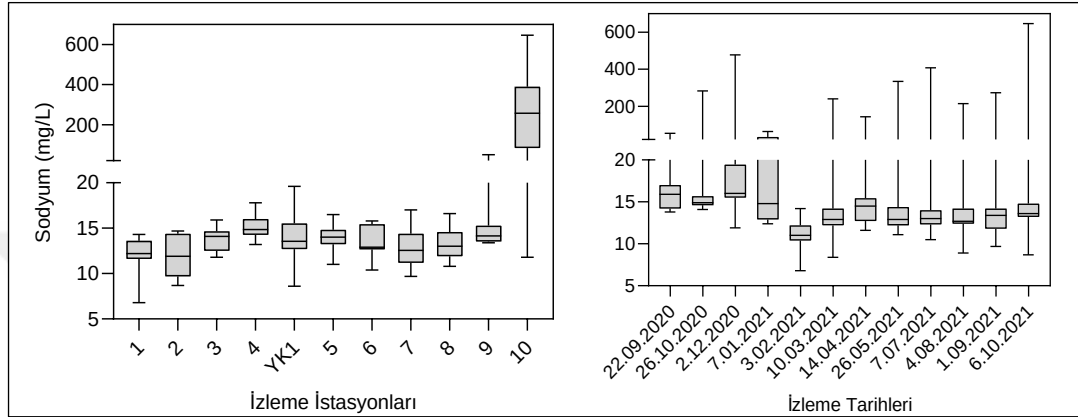
Şekil 4.16. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Li parametresinin değişimi

Çizelge 4.16. Araştırma dönemi içerisinde Li (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,003	0,004	0,004	0,005	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0	0,003
Max	0,044	0,044	0,045	0,045	0,045	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,216
Ort	0,014	0,013	0,013	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,011	0,052
SS	0,019	0,017	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,016	0,078

• Sodyum (Na⁺)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük Na⁺ değeri Şubat 2021 döneminde (6,80 mg/L) İst-1'de ölçülmüştür. En yüksek Na⁺ değeri ise Ekim 2021 döneminde (647,20 mg/L) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama Na⁺ değerleri sırasıyla $11,79 \pm 2,29$ mg/L ile $262,50 \pm 186,90$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.17). Çizelge 4.17'de Na⁺ için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



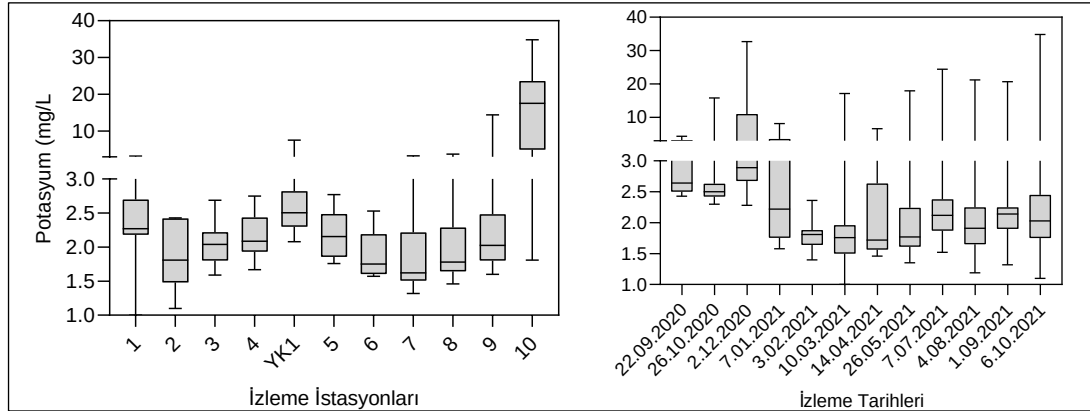
Şekil 4.17. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Na⁺ parametresinin değişimi

Çizelge 4.17. Araştırma dönemi içerisinde Na⁺ (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	6,80	8,70	11,80	13,20	8,60	11,00	10,40	9,70	10,80	13,40	11,80
Max	14,30	14,70	15,90	17,80	19,60	16,50	15,80	17,00	16,60	50,60	647,20
Ort	11,79	12,02	13,81	15,08	14,18	13,96	13,49	12,78	13,31	17,59	262,50
SS	2,29	2,31	1,31	1,23	2,91	1,42	1,66	2,10	1,79	10,52	186,90

• Potasyum (K⁺)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük K⁺ değeri Mart 2021 döneminde (0,99 mg/L) İst-1'de ölçülmüştür. En yüksek K⁺ ise Ekim 2021 döneminde (34,86 mg/L) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama K⁺ değerleri sırasıyla $2,30 \pm 0,65$ mg/L ile $16,80 \pm 10,98$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.18). Çizelge 4.18'de K⁺ için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.18. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre K^+ parametresinin değişimi

Çizelge 4.18. Araştırma dönemi içerisinde K^+ (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

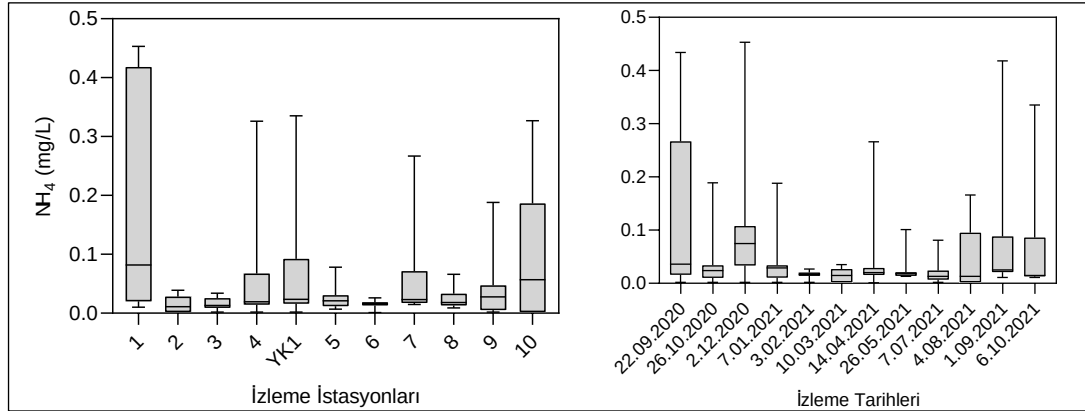
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,99	1,10	1,59	1,67	2,08	1,76	1,57	1,32	1,46	1,60	1,81
Max	3,26	2,43	2,69	2,75	7,58	2,77	2,53	3,30	3,74	14,43	34,86
Ort	2,30	1,87	2,04	2,16	2,96	2,18	1,89	1,87	2,01	3,53	16,80
SS	0,65	0,50	0,32	0,32	1,49	0,36	0,35	0,64	0,64	3,87	10,98

- Amonyum (NH_4^+)**

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük NH_4^+ Nisan 2021 döneminde ($0,001 \text{ mg } NH_4^+/L$) İst-6'da ölçülmüştür. En yüksek NH_4^+ ise Aralık 2020 döneminde ($0,453 \text{ mg } NH_4^+/L$) İst-1'de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama NH_4^+ değerleri sırasıyla $0,015 \pm 0,007 \text{ mg } NH_4^+/L$ ile $0,168 \pm 0,182 \text{ mg } NH_4^+/L$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.19). Çizelge 4.19'da NH_4^+ için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 4.19. Araştırma dönemi içerisinde NH_4^+ (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

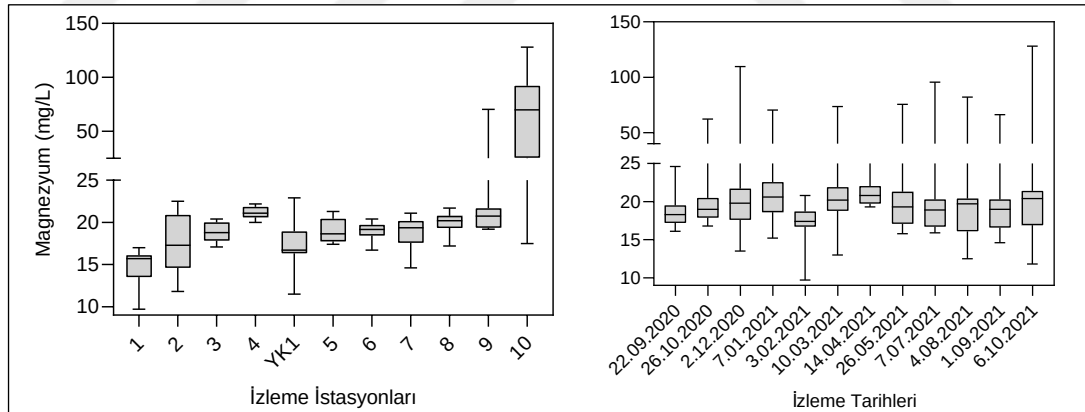
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,010	0,002	0,002	0,002	0,002	0,007	0,001	0,015	0,009	0,002	0,002
Max	0,453	0,039	0,034	0,326	0,335	0,078	0,026	0,267	0,066	0,188	0,327
Ort	0,168	0,014	0,017	0,056	0,062	0,028	0,015	0,055	0,024	0,041	0,095
SS	0,182	0,015	0,010	0,091	0,093	0,024	0,007	0,072	0,016	0,052	0,115



Şekil 4.19. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre NH_4^+ parametresinin değişimi

- **Magnezyum (Mg^{2+})**

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük Mg^{2+} değeri Şubat 2021 döneminde (9,70 mg/L) İst-1'de ölçülmüştür. En yüksek Mg^{2+} değeri ise Ekim 2021 döneminde (128 mg/L) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama Mg^{2+} değerleri sırasıyla $14,86 \pm 2,10$ mg/L ile $65,18 \pm 36,64$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.20). Çizelge 4.20'de Mg^{2+} için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



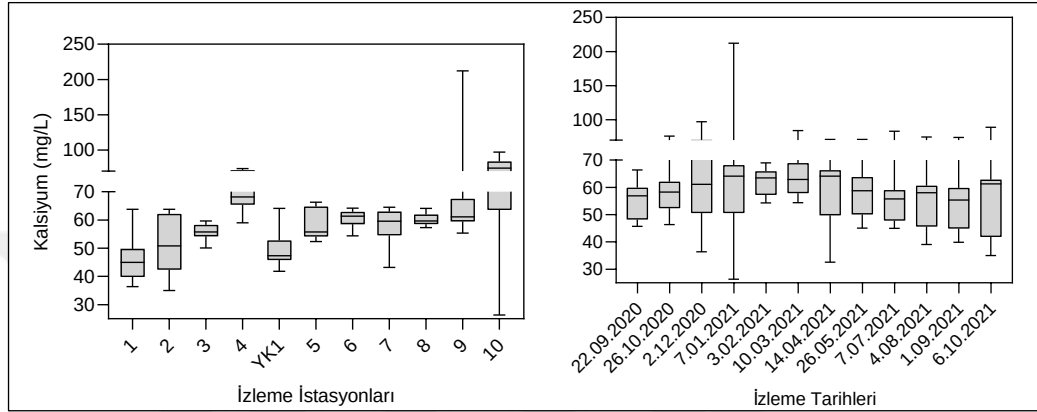
Şekil 4.20. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Mg^{2+} parametresinin değişimi

Çizelge 4.20. Araştırma dönemi içerisinde Mg^{2+} (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	9,70	11,80	17,10	20,00	11,50	17,40	16,70	14,60	17,20	19,20	17,50
Max	17,00	22,50	20,40	22,20	22,90	21,30	20,40	21,10	21,70	70,40	128
Ort	14,86	17,61	18,84	21,18	17,20	18,98	19,03	18,83	19,90	24,64	65,18
SS	2,10	3,68	1,16	0,75	2,68	1,41	0,98	1,83	1,21	14,44	36,64

• Kalsiyum (Ca^{2+})

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük Ca^{2+} değeri Ocak 2021 döneminde (26,30 mg/L) İst-10'da ölçülmüştür. En yüksek Ca^{2+} değeri ise yine Ocak 2021 döneminde (212,30 mg/L) İst-9'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama Ca^{2+} değerleri sırasıyla $69,72 \pm 21,15$ mg/L ile $74,78 \pm 43,52$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.21 ve Çizelge 4.21). Çizelge 4.21'de Ca^{2+} için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



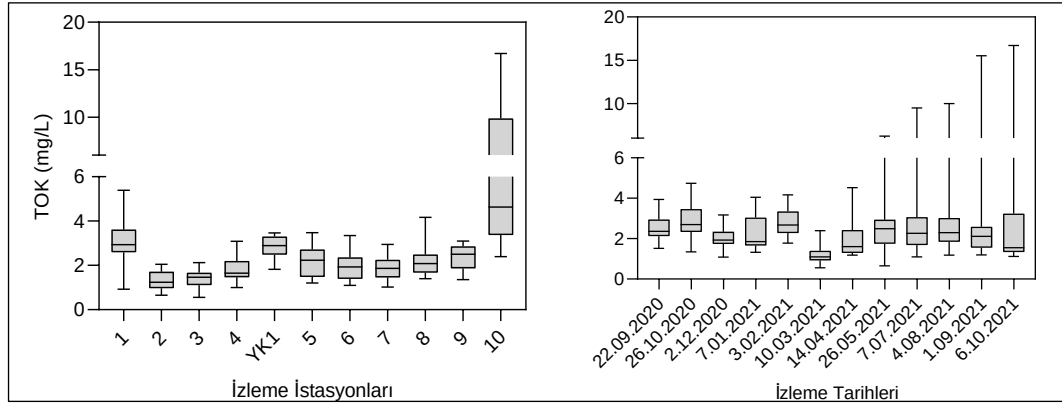
Şekil 4.21. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Ca^{2+} parametresinin değişimi

Çizelge 4.21. Araştırma dönemi içerisinde Ca^{2+} (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	36,40	35,00	50,10	59,00	41,80	52,40	54,40	43,20	57,30	55,40	26,30
Max	63,80	63,80	59,70	73,60	64,10	66,30	64,20	64,50	64,10	212,30	97,10
Ort	46,18	51,53	55,88	67,89	49,47	58,59	60,46	58,38	60,10	74,78	69,72
SS	8,35	10,53	2,88	4,10	6,37	5,30	2,99	6,25	2,18	43,52	21,15

• Toplam Organik Karbon (TOK)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük toplam organik karbon değeri Mart 2021 döneminde (0,56 mg/L) İst-3'te ölçülmüştür. En yüksek toplam organik karbon değeri ise Ekim 2021 döneminde (16,70 mg/L) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama toplam organik karbon değerleri sırasıyla $1,37 \pm 0,45$ mg/L ile $6,94 \pm 4,94$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.22 ve Çizelge 4.22). Çizelge 4.22'de toplam organik karbon için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



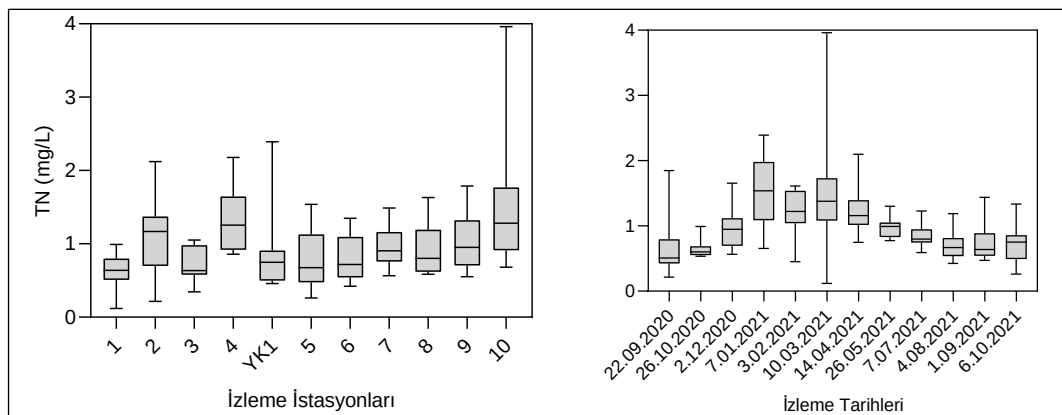
Şekil 4.22. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre toplam organik karbon parametresinin değişimi

Çizelge 4.22. Araştırma dönemi içerisinde toplam organik karbon (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,92	0,65	0,56	1,00	1,82	1,21	1,10	1,02	1,40	1,36	2,39
Max	5,39	2,05	2,12	3,09	3,47	3,48	3,35	2,95	4,17	3,10	16,70
Ort	3,08	1,31	1,37	1,78	2,84	2,21	1,97	1,91	2,21	2,37	6,94
SS	1,16	0,48	0,45	0,58	0,53	0,75	0,67	0,56	0,73	0,54	4,94

• Toplam Azot (TN)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük toplam azot değeri Mart 2021 döneminde (0,12 mg N/L) İst-1'de ölçülmüştür. En yüksek toplam azot değeri ise yine Mart 2021 döneminde (3,96 mg N/L) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama toplam azot değerleri sırasıyla $0,63 \pm 0,23$ mg N/L ile $1,48 \pm 0,89$ mg N/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.23 ve Çizelge 4.23). Çizelge 4.23'te toplam azot için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



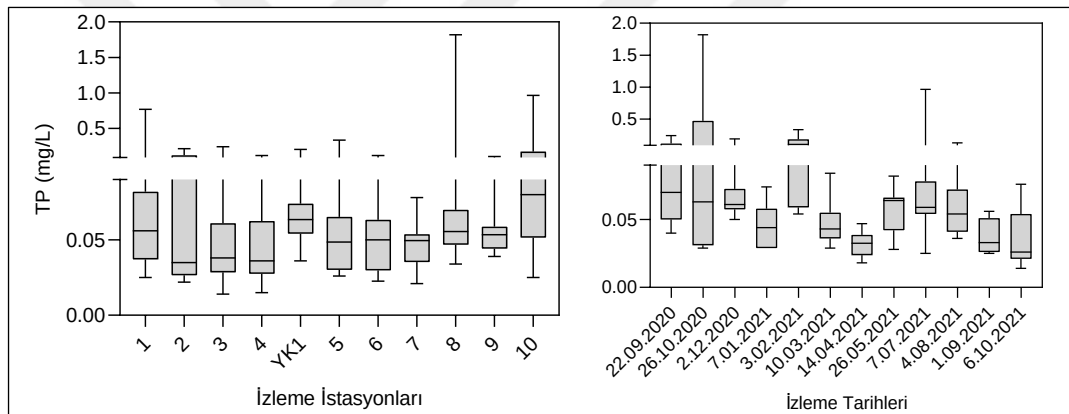
Şekil 4.23. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre toplam azot parametresinin değişimi

Çizelge 4.23. Araştırma dönemi içerisinde toplam azot (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,12	0,22	0,35	0,86	0,46	0,26	0,42	0,57	0,59	0,55	0,68
Max	0,99	2,12	1,05	2,18	2,39	1,54	1,35	1,49	1,63	1,79	3,96
Ort	0,63	1,11	0,72	1,31	0,85	0,77	0,80	0,97	0,91	1,03	1,48
SS	0,23	0,55	0,24	0,42	0,55	0,38	0,32	0,29	0,34	0,40	0,89

• Toplam Fosfor (TP)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük toplam fosfor değeri Ekim 2021 döneminde (0,014 mg P/L) İst-3'te ölçülmüştür. En yüksek toplam fosfor değeri ise Ekim 2020 döneminde (1,820 mg P/L) İst-8'de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama toplam fosfor değerleri sırasıyla $0,061 \pm 0,070$ mg P/L ile $0,205 \pm 0,509$ mg P/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.24 ve Çizelge 4.24). Çizelge 4.24'te toplam fosfor için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.24. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre toplam fosfor parametresinin değişimi

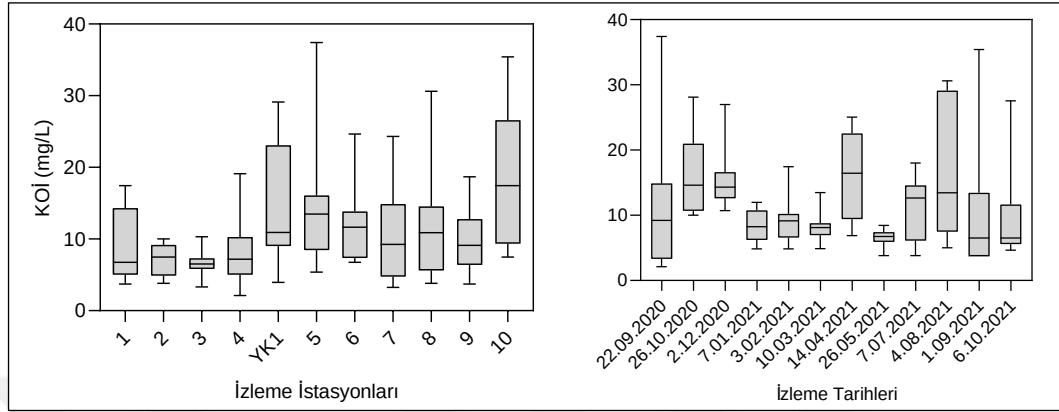
Çizelge 4.24. Araştırma dönemi içerisinde toplam fosfor (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,025	0,022	0,014	0,015	0,036	0,026	0,023	0,021	0,034	0,039	0,025
Max	0,768	0,216	0,244	0,120	0,204	0,335	0,118	0,078	1,820	0,104	0,966
Ort	0,127	0,071	0,061	0,050	0,073	0,075	0,052	0,047	0,205	0,056	0,189
SS	0,215	0,075	0,070	0,034	0,043	0,086	0,026	0,016	0,509	0,018	0,273

• Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük kimyasal oksijen ihtiyacı değeri Eylül 2020 döneminde (2,13 mg O₂/L) İst-4'te ölçülmüştür. En yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı değeri ise yine

Eylül 2020 döneminde (37,43 mg O₂/L) İst-5'te ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri sırasıyla 8,23 ± 4,73 mg O₂/L ile 15,30 ± 9,08 mg O₂/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.25 ve Çizelge 4.25). Çizelge 4.25'te kimyasal oksijen ihtiyacı için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.25. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre parametresinin değişimi

Çizelge 4.25. Araştırma dönemi içerisinde kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

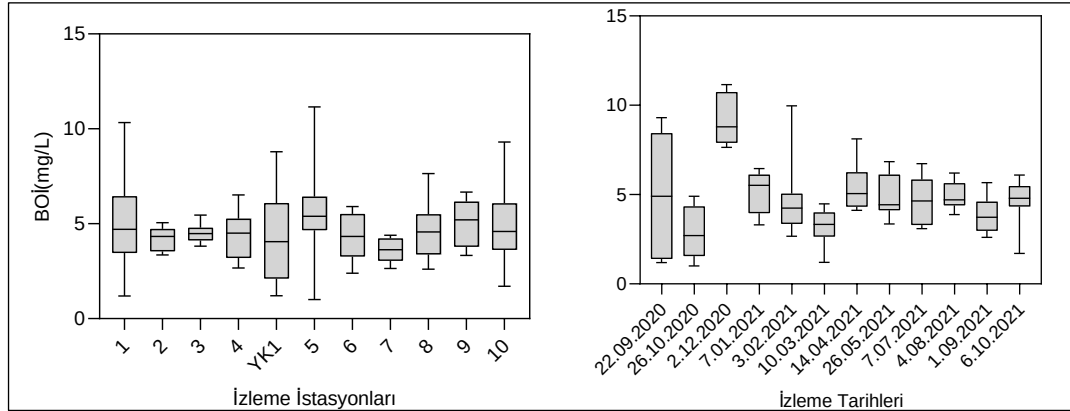
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	3,73	3,83	3,32	2,13	3,95	5,38	6,76	3,26	3,81	3,73	7,49
Max	17,44	10,01	10,30	19,12	29,11	37,43	24,66	24,33	30,63	18,68	35,40
Ort	8,95	7,19	6,56	8,23	14,23	15,30	11,83	10,97	11,83	9,64	18,46
SS	4,71	2,23	1,87	4,73	8,42	9,08	4,97	6,86	7,42	4,42	9,06

• Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük BOİ₅ konsantrasyonu Ekim 2020 döneminde (1 mg O₂/L) İst-5'te ölçülmüştür. En yüksek BOİ₅ konsantrasyonu ise Aralık 2020 döneminde yine (11,15 mg O₂/L) İst-5'te ölçülmüştür. İst-5 istasyonuna ait ortalama BOİ₅ konsantrasyonu değeri ise 5,49 ± 2,32 mg O₂/L olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.26 ve Çizelge 4.26). Çizelge 4.26'da BOİ₅ konsantrasyonu için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 4.26. Araştırma dönemi içerisinde BOİ₅ (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

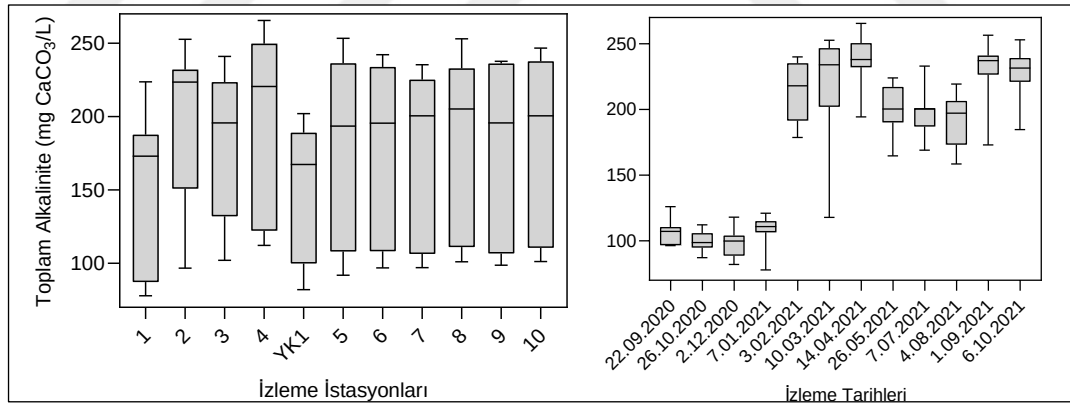
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	1,20	3,36	3,82	2,67	1,21	1	2,39	2,64	2,61	3,33	1,70
Max	10,33	5,06	5,45	6,52	8,79	11,15	5,91	4,39	7,64	6,67	9,30
Ort	5,37	4,18	4,51	4,41	4,41	5,49	4,29	3,62	4,64	5,13	5,00
SS	2,84	0,64	0,53	1,26	2,53	2,32	1,22	0,65	1,67	1,24	2,11



Şekil 4.26. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre BOI_5 parametresinin değişimi

• Toplam Alkalinite

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük toplam alkalinite değeri Ocak 2021 döneminde (77,9 mg $CaCO_3/L$) İst-1'de ölçülmüştür. En yüksek toplam alkalinite değeri ise Nisan 2021 döneminde (265,6 mg $CaCO_3/L$) İst-4'te ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama toplam alkalinite değerleri sırasıyla $150 \pm 52,3$ mg $CaCO_3/L$ ile $198,8 \pm 60,5$ mg $CaCO_3/L$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.27). Çizelge 4.27'de toplam alkalinite için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



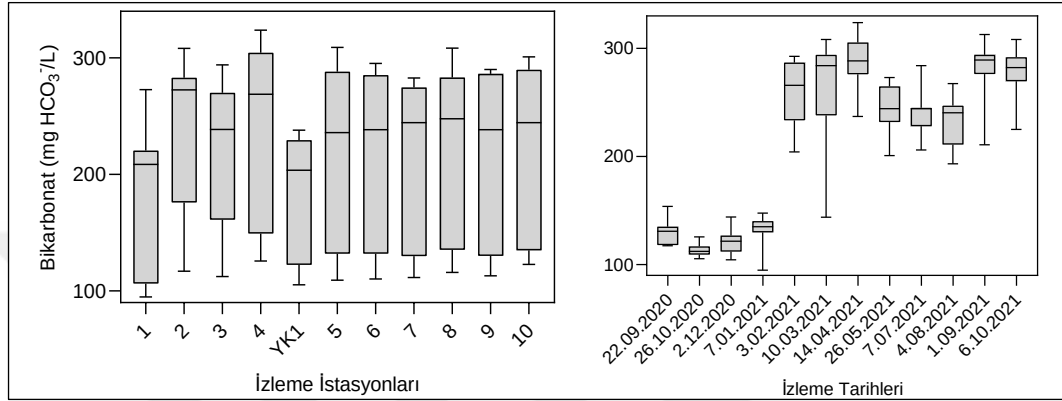
Şekil 4.27. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre toplam alkalinite parametresi değişimi

Çizelge 4.27. Araştırma dönemi içerisinde toplam alkalinite (mg $CaCO_3/L$) parametresi istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	77,9	96,8	102,1	112,3	82,1	91,9	96,9	97,1	101,1	98,7	101,3
Max	223,8	252,8	241,1	265,6	202,0	253,4	242,2	235,4	253,0	237,8	246,8
Ort	150	196,7	182,9	198,8	153,1	179,6	172,1	178,4	183,9	181,5	185,4
SS	52,3	55,6	50,7	60,5	44,9	62,4	60,4	57,3	59,3	59,1	59,8

• Bikarbonat (HCO_3^-)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük HCO_3^- değeri Ocak 2021 döneminde ($94,9 \text{ mg HCO}_3^-/\text{L}$) İst-1'de ölçülmüştür. En yüksek HCO_3^- değeri ise Nisan 2021 döneminde ($323,9 \text{ mg HCO}_3^-/\text{L}$) İst-4'te ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama HCO_3^- değerleri sırasıyla $180,1 \pm 61,9 \text{ mg HCO}_3^-/\text{L}$ ile $241,4 \pm 75,3 \text{ mg HCO}_3^-/\text{L}$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.28 ve Çizelge 4.28). Çizelge 4.28'de HCO_3^- için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



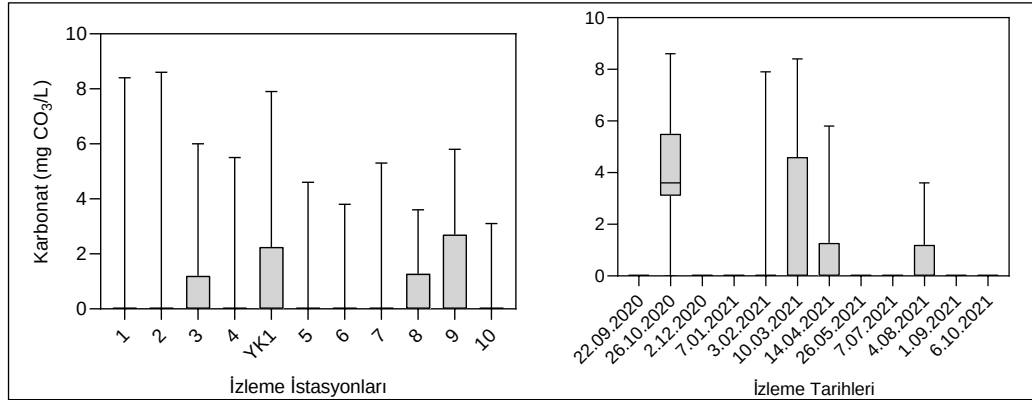
Şekil 4.28. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre HCO_3^- parametresinin değişimi

Çizelge 4.28. Araştırma dönemi içerisinde HCO_3^- ($\text{mg HCO}_3^-/\text{L}$) parametresinin değişimi istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	94,9	116,9	112,3	125,7	105,4	109,3	110,3	111,5	115,9	113,0	122,8
Max	272,9	308,3	294,0	323,9	238,0	309,0	295,3	282,9	308,5	290,0	300,9
Ort	180,1	238,0	221,1	241,4	185,2	217,7	209,2	216,0	223,0	219,2	225,4
SS	61,9	71,3	63,9	75,3	51,9	76,0	74,5	69,8	72,8	72,1	73,6

• Karbonat (CO_3^{2-})

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük CO_3^{2-} değeri tüm aylarda ($0 \text{ mg CO}_3/\text{L}$) ve tüm istasyonlarda gözlenmiştir. En yüksek CO_3^{2-} değeri ise Ekim 2020 döneminde ($8,60$) İst-2'de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama CO_3^{2-} değerleri ise Şekil 4.29 ve Çizelge 4.29'daki gibi bulunmuştur.



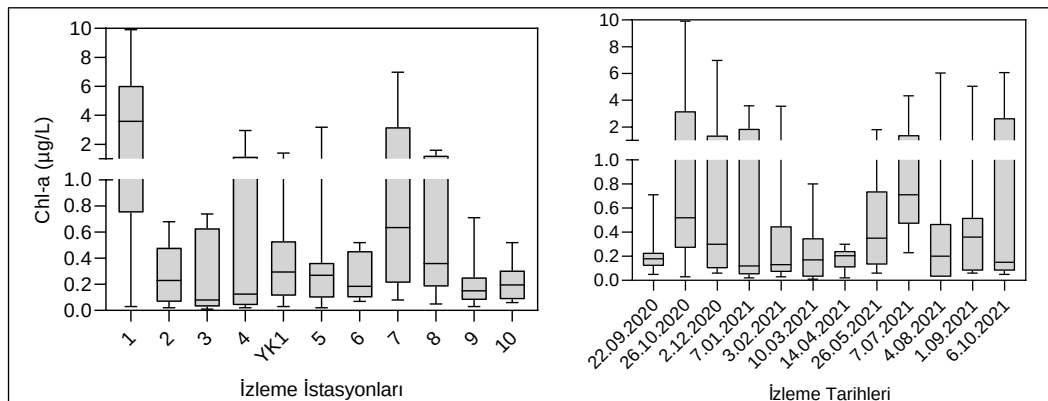
Şekil 4.29. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre CO_3^{2-} parametresi değişimi

Çizelge 4.29. Araştırma dönemi içerisinde CO_3^{2-} (mg CO_3/L) parametresi istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	8,40	8,60	6,00	5,50	7,90	4,60	3,80	5,30	3,60	5,80	3,10
Ort	1,37	0,96	0,93	0,46	1,32	0,64	0,32	0,73	0,64	1,08	0,34
SS	3,08	2,87	2,06	1,59	2,46	1,53	1,10	1,74	1,23	2,03	0,92

- Klorofil-a (Chl-a)**

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük Chl-a konsantrasyonu Mart 2021 döneminde ($0,01 \mu\text{g}/\text{L}$) İst-3'te ölçülmüştür. En yüksek Chl-a konsantrasyonu ise Ekim 2020 döneminde ($9,91 \mu\text{g}/\text{L}$) İst-1'de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama Chl-a konsantrasyonu değerleri sırasıyla $0,29 \pm 0,31 \mu\text{g}/\text{L}$ ile $3,81 \pm 2,97 \mu\text{g}/\text{L}$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.30 ve Çizelge 4.30). Çizelge 4.30'da Chl-a için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.30. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Chl-a parametresinin değişimi

Çizelge 4.30. Araştırma dönemi içerisinde Chl-a ($\mu\text{g/L}$) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

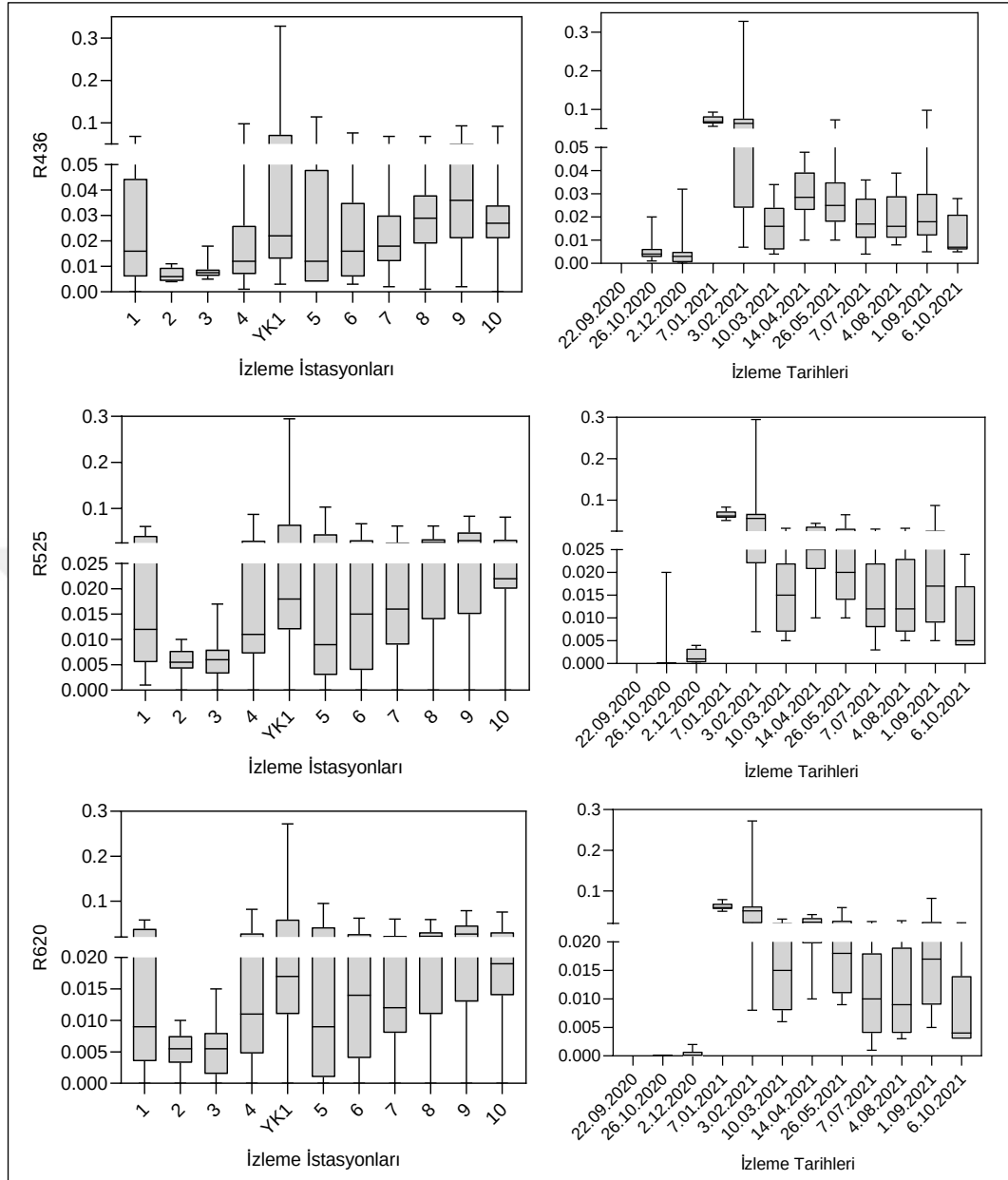
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,07	0,08	0,05	0,03	0,06
Max	9,91	0,68	0,74	2,96	1,39	3,18	0,52	6,98	1,59	0,71	0,52
Ort	3,81	0,29	0,29	0,63	0,38	0,47	0,26	1,99	0,60	0,22	0,22
SS	2,97	0,23	0,31	0,93	0,38	0,86	0,17	2,54	0,56	0,21	0,15

- Renk**

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince örnekleme noktalarında 3 farklı dalga boyunda (436, 525 ve 640 nm) ölçümler gerçekleştirilmiştir. En düşük dalga boyu değerleri, 436 nm parametresinde Aralık 2020 döneminde (0 1/m) ve İst-1 ile İst-10 istasyonlarında; 525 nm ve 620 nm parametrelerinde Ekim-Aralık 2020 döneminde (0 1/m) ve 525 nm için İst-1 hariç tüm istasyonlarda, 620 nm için ise tüm istasyonlarda gözlenmiştir. En yüksek dalga boyu değerleri ise, 436 nm, 525 nm ve 260 nm parametreleri için Şubat 2021 döneminde ve sırasıyla 0,328 1/m, 0,295 1/m ile 0,272 1/m değerleri olarak İst-YK1'de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama dalga boyu değerleri ise Şekil 4.31 ve Çizelge 31'deki gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.31. Araştırma dönemi içerisinde renk (1/m) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

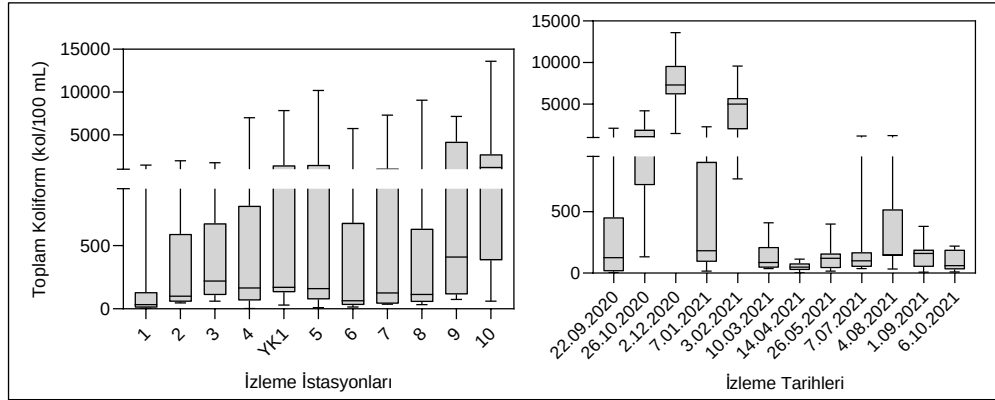
436 nm	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0	0,004	0,005	0,001	0,003	0,004	0,003	0,002	0,001	0,002	0
Max	0,068	0,011	0,018	0,098	0,328	0,114	0,076	0,068	0,068	0,093	0,092
Ort	0,024	0,007	0,009	0,024	0,055	0,029	0,026	0,023	0,031	0,040	0,033
Sd	0,023	0,003	0,004	0,029	0,094	0,034	0,024	0,020	0,021	0,025	0,025
525 nm											
Min	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	0,061	0,010	0,017	0,087	0,295	0,103	0,067	0,062	0,062	0,083	0,081
Ort	0,021	0,006	0,007	0,023	0,049	0,025	0,022	0,020	0,027	0,033	0,029
Sd	0,021	0,003	0,005	0,027	0,085	0,032	0,022	0,018	0,019	0,025	0,022
620 nm											
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	0,058	0,010	0,015	0,082	0,272	0,095	0,062	0,060	0,059	0,079	0,076
Ort	0,019	0,005	0,006	0,021	0,044	0,023	0,020	0,018	0,024	0,030	0,025
Sd	0,021	0,003	0,005	0,026	0,078	0,030	0,021	0,018	0,018	0,024	0,022



Şekil 4.31. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre renk parametresinin değişimi

• Toplam Koliform (TC)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük TC değeri Nisan 2021 döneminde (3 koloni/100 mL) İst-4'te ölçülmüştür. En yüksek TC değeri ise Aralık 2020 döneminde (13600 koloni/100 mL) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama TC değerleri sırasıyla 1141 ± 2232 koloni/100 mL ile 2845 ± 4265 koloni/100 mL arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.32). Çizelge 4.32'de TK için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



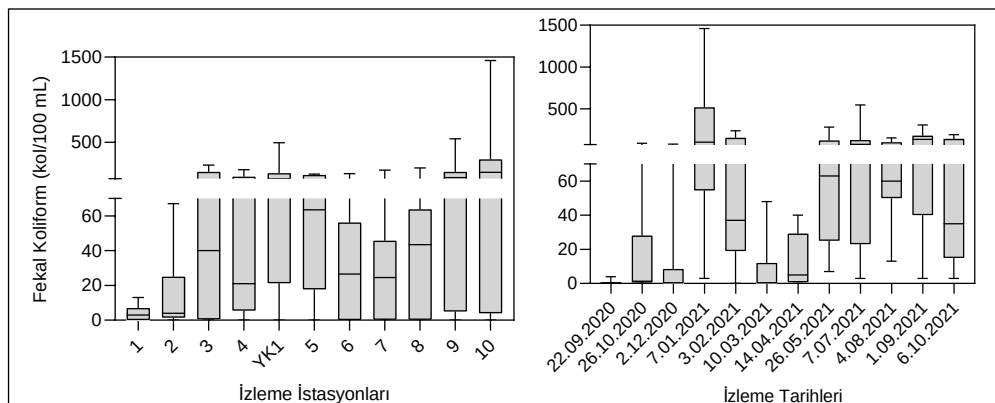
Şekil 4.32. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre TC parametresinin değişimi

Çizelge 4.32. Araştırma dönemi içerisinde TC (koloni/100 mL) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	4	47	60	3	30	10	15	37	33	75	60
Max	1436	1943	1733	6987	7827	10173	5717	7280	9027	7130	13600
Ort	227	414	444	1141	1363	1553	1057	1216	1173	1883	2845
SS	459	616	573	2232	2476	3145	2166	2387	2633	2754	4265

• Fekal Koliform (FC)

Aksu Çayı'nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük FC Eylül-Aralık 2020 ve Şubat-Nisan 2021 dönemlerinde (0 koloni/100 mL) ve tüm istasyonlarda ölçülmüştür. En yüksek FC ise Ocak 2021 döneminde (1460 koloni/100 mL) İst-10'da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama FC değerleri ise Şekil 4.33 ve Çizelge 4.33'teki gibi bulunmuştur.



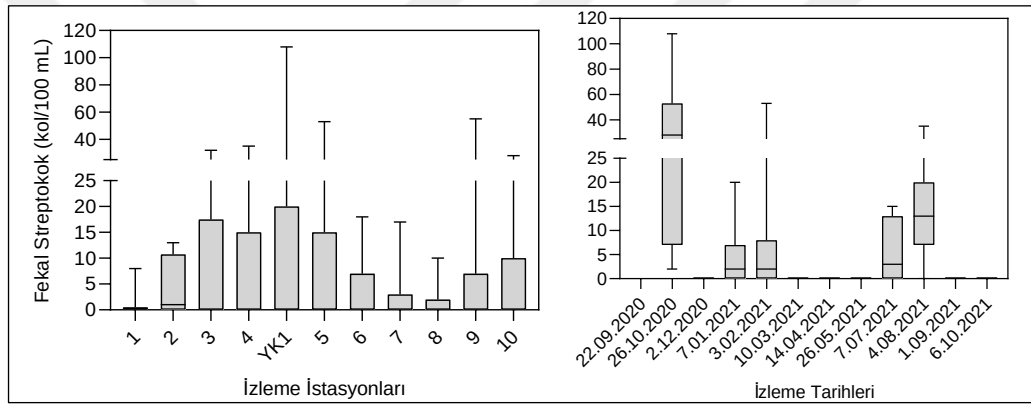
Şekil 4.33. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre FC parametresinin değişimi

Çizelge 4.33. Araştırma dönemi içerisinde FC (koloni/100 mL) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	13	67	230	177	495	125	130	171	197	540	1460
Ort	3	15	76	52	109	64	35	35	45	112	261
SS	4	22	84	59	136	48	40	48	56	154	414

• Fekal Streptokok (FS)

Aksu Çayı’nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük FS değeri Ekim 2020 hariç tüm dönemlerde (0 koloni/100 mL) ve tüm istasyonlarda ölçülmüştür. En yüksek FS değeri ise Ekim 2020 döneminde (108 koloni/100 mL) İst-YK1’de ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama FS değerleri ise Şekil 4.34 ve Çizelge 4.34’teki gibi bulunmuştur.



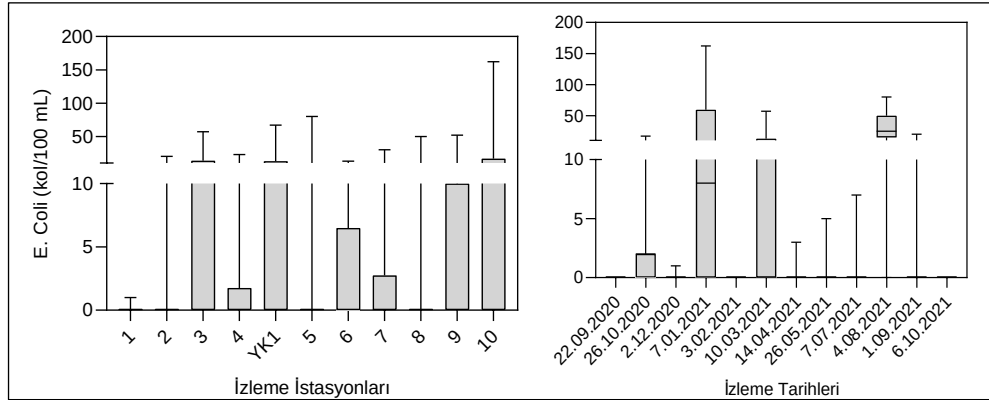
Şekil 4.34. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre FS parametresinin değişimi

Çizelge 4.34. Araştırma dönemi içerisinde FS (koloni/100 mL) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	8	13	32	35	108	53	18	17	10	55	28
Ort	1	4	8	8	17	8	4	3	2	7	6
SS	3	6	12	14	34	16	6	5	3	16	10

• Escherichia Coli

Aksu Çayı’nda Eylül 2020 ve Ekim 2021 tarihleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışmaları süresince en düşük *Escherichia coli* değeri tüm dönemlerde (0 koloni/100 mL) ve tüm istasyonlarda ölçülmüştür. En yüksek *Escherichia coli* değeri ise Ocak 2021 döneminde (162 koloni/100 mL) İst-10’da ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama *Escherichia coli* değerleri ise Şekil 4.35 ve Çizelge 4.35’teki gibi bulunmuştur.



Şekil 4.35. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonları ve aylara göre Escherichia coli parametresinin değişimi

Çizelge 4.35. Araştırma dönemi içerisinde Escherichia coli (koloni/100 mL) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst YK1	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	1	20	57	23	67	80	13	30	50	52	162
Ort	0	2	9	3	9	7	3	5	4	10	23
SS	0	7	20	8	20	23	5	10	14	20	49

4.2. Aksu Çayı Su Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistik Yöntemleriyle Test Edilmesi (Aylık)

4.2.1. Korelasyon analizi

Parametreler arasındaki ilişkiyi daha kolay açıklayabilmek amacıyla korelasyon analizine ihtiyaç duyulmaktadır. Korelasyon katsayıları, sıfırdan büyük ya da küçük olmalarına göre pozitif ya da negatif olarak nitelendirilirken sıfıra eşit olma durumlarında yok olarak kabul edilirler. Ayrıca +1 ya da -1'e eşit olmaları tam olarak kabul edilirken işaretler yine pozitif-negatif veya doğru-ters yönlü olarak ifade edilirler. Kuvvetli-zayıf olarak yorumlanmaları ise -0,5 ve +0,5'e göre küçüklük ve büyüklükleri dikkate alınarak yapılır. Bu amaçla, 36 adet su kalitesi parametresi için (CO_3^{2-} parametresine ait veriler, oldukça düşük olduğu için veri setine dahil edilmemiştir.) Çizelge 4.36'da gösterilmekte olan korelasyon matrisi elde edilmiştir.

Çizelge 4.36'da yer alan ve koyu renkle gösterilen değerler, korelasyon sonucu -0,5'den küçük ve 0,5'den büyük olan değerleri göstermektedir. Çizelge 4.36'ya göre, S parametresi, EC ile %99,8 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon oluşturmuştur. Benzer şekilde, %ÇO ile ÇO parametreleri %90,7 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü korelasyon göstermiştir. AKM parametresi ise bulanıklık parametresi ile %92,9 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon ortaya çıkarmıştır. Anyon-kasyon gruplarından olan Cl^- ve Br^- parametreleri ise EC ve S parametreleri yaklaşık %99 düzeylerinde, çok güçlü ve pozitif yönlü korelasyon değerleri sergilemiştir.

Çizelge 4.36. Aksu Çayı izleme çalışması ile edilen 36 adet su kalitesi parametresi için Statistica StatSoft 12 programında oluşturulan korelasyon matrisi

Parametre	T	pH	EC	S%	ÇO	ÇO%	FNU	AKM	F	Cl	Br	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SO ₄	Li	Na	K	NH ₄	Mg	Ca	TOK	TN	TP	KOI	BOI ₅	TA	HCO ₃	Chl-a	R436	R525	R620	TC	FC	FS	E.Coli	
T	1																																				
pH	-0,38	1																																			
EC	0,18	0,09	1																																		
S%	0,16	0,08	1,00	1																																	
ÇO	-0,18	0,41	0,11	0,11	1																																
ÇO%	0,22	0,27	0,22	0,19	0,91	1																															
FNU	-0,02	0,19	0,09	0,08	0,19	0,20	1																														
AKM	0,05	0,16	0,09	0,08	0,16	0,20	0,93	1																													
F	0,40	-0,10	0,46	0,43	-0,17	0,01	-0,05	-0,04	1																												
Cl	0,18	0,07	1,00	1,00	0,09	0,19	0,08	0,07	0,48	1																											
Br	0,16	0,07	1,00	1,00	0,09	0,19	0,07	0,06	0,48	1,00	1																										
NO ₂	-0,05	0,01	0,48	0,49	-0,10	-0,08	0,23	0,24	0,28	0,49	0,49	1																									
NO ₃	-0,30	0,34	0,11	0,11	0,41	0,27	0,25	0,24	-0,15	0,08	0,07	0,01	1																								
PO ₄	-0,02	0,11	-0,04	-0,03	-0,05	-0,05	0,56	0,44	0,08	-0,03	-0,04	0,33	-0,11	1																							
SO ₄	0,15	0,11	1,00	0,99	0,15	0,24	0,13	0,13	0,46	0,99	0,99	0,47	0,16	-0,03	1																						
Li	0,16	0,06	0,96	0,96	0,16	0,25	0,08	0,07	0,47	0,96	0,96	0,46	0,16	-0,08	0,96	1																					
Na	0,18	0,05	0,99	0,99	0,08	0,19	0,07	0,06	0,50	1,00	1,00	0,49	0,07	-0,04	0,98	0,98	1																				
K	0,19	0,05	0,98	0,98	0,06	0,16	0,06	0,05	0,58	0,99	0,99	0,47	0,06	-0,04	0,98	0,96	0,99	1																			
NH ₄	0,18	-0,16	0,39	0,39	-0,44	-0,35	-0,05	-0,09	0,55	0,43	0,43	0,28	-0,27	0,06	0,40	0,39	0,45	0,49	1																		
Mg	0,18	0,08	0,99	0,99	0,13	0,23	0,11	0,10	0,48	0,99	0,99	0,47	0,14	-0,05	0,99	0,97	0,99	0,98	0,40	1																	
Ca	0,03	0,39	0,63	0,62	0,40	0,44	0,30	0,30	0,20	0,60	0,61	0,25	0,47	-0,02	0,65	0,65	0,59	0,59	-0,01	0,68	1																
TOK	0,24	-0,05	0,79	0,78	-0,05	0,07	0,07	0,04	0,74	0,83	0,83	0,43	-0,05	-0,01	0,80	0,82	0,86	0,88	0,63	0,81	0,40	1															

Çizelge 4.36'nın devamı.

TN	-0,29	0,35	0,41	0,41	0,22	0,10	0,14	0,13	-0,01	0,37	0,37	-0,01	0,72	-0,08	0,45	0,35	0,32	0,36	-0,06	0,42	0,53	0,10	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
----	-------	------	------	------	------	------	------	------	-------	------	------	-------	------	-------	------	------	------	------	-------	------	------	------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Aynı şekilde, anyon-kasyon gruplarından Li, Na⁺ ve K⁺ parametreleri ile SO₄²⁻ parametresi, EC, S, Cl⁻ ve Br⁻ parametreleri üzerinde %95'ten fazla olacak şekilde çok güçlü ve pozitif korelasyon sonuçlarını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, Mg²⁺ parametresi, EC, S, Cl⁻, Br⁻, SO₄²⁻, Li, Na⁺ ve K⁺ ile %97'den fazla ve çok güçlü şekilde pozitif yönlü korelasyon sonuçları oluştururken, Ca²⁺ parametresi ise aynı parametreler üzerinde %59-65 oranında orta düzeyde ve pozitif yönlü korelasyon sonuçlarını ortaya koymuştur. TOK parametresi ise EC, S, SO₄²⁻, NH₄⁺ ve anyon-kasyon grupları (F, Mg²⁺, Cl⁻, Br⁻, Li, Na⁺, K⁺) ile %63-88 oranında orta ve yüksek düzeylerde pozitif korelasyon sonuçları sergilemiştir. Ek olarak, Chl-a parametresi, ÇO parametresi ile %56,2, %ÇO parametresi ile de %63,3 oranında orta düzeyde ve negatif yönlü korelasyon göstermiştir.

4.2.2. Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) sonuçları

Aksu Çayı'ndaki zamansal ve mekânsal değişimlerdeki benzerlikleri ve farklılıkları anlamak amacıyla HCA kullanılmıştır. Bağlantı mesafelerinin D_{link}/D_{max} olarak ifade edileceği kümeleme için Wards yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizde uzaklık katsayısı olarak, Öklidyen Mesafesi (Euclidean Distance) belirlenmiştir. İncelenen 37 adet su kalitesi parametresi için ham veri seti kullanılmış ve Excel dosyasında yer alan boş veriler doldurulmadan Statistica StatSoft 12 Programında uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

4.2.2.1. Mekânsal benzerlikler/farlılıklar ve kümeleme

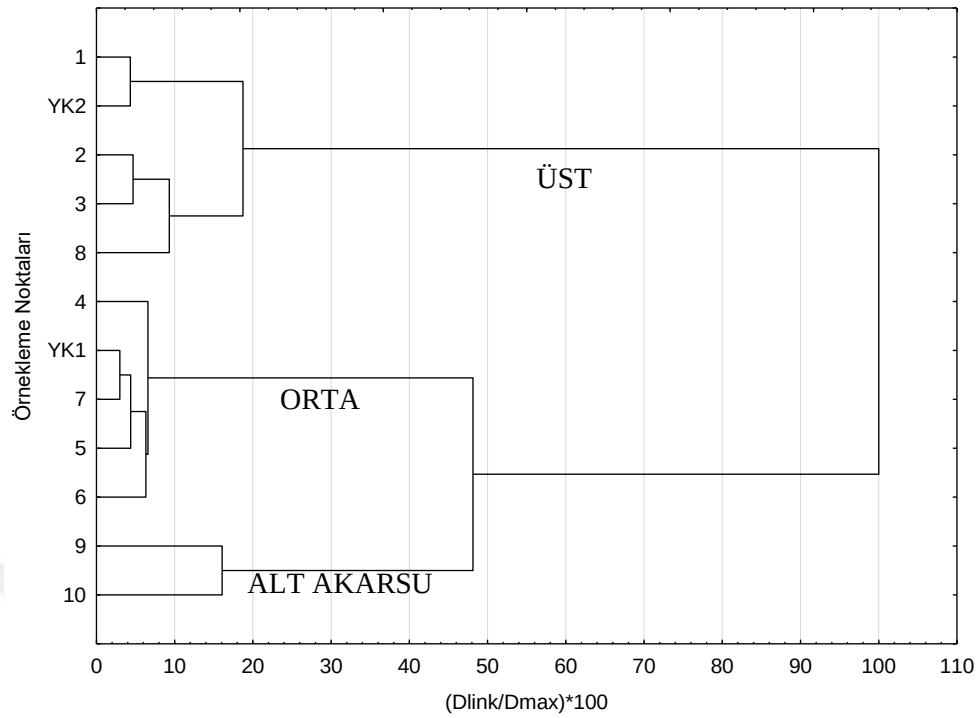
HCA, Aksu Çayı'nda tayin edilen su kalitesi parametrelerine bağlı olarak izlenen örnekleme noktalarının sergilediği heterojeniteyi ortaya çıkarmıştır. HCA sonuçları, Şekil 4.36'da yer almaktadır.

HCA, Aksu Çayı'nda tayin edilen 37 adet su kalitesi parametresine bağlı olarak izlenen örnekleme noktalarının sergilediği heterojeniteyi ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.36). HCA, örnekleme noktalarını $D_{link}/D_{max} * 100 < 50$ istatistiksel anlamlılık düzeyinde iki ana kümeye gruplandırmıştır.

Birinci ana küme büyük oranda üst bölge örnekleme noktalarını kapsamıştır. Akış olduğu periyotta su kalitesi bakımından birinci örnekleme noktasına daha fazla benzerliği göstererek, izleme periyodu süresince yalnızca 3 kez akış gözlenen yan kol akarsu (YK2), 3 ay akışın kaydedilmediği üst bölge noktalarıyla aynı küme içerisinde gruplanmıştır. Ayrıca HCA, bir alt akarsu örnekleme noktası olan 8. istasyonu birinci küme içerisine alarak akış boyunca örnekleme noktalarında ortaya çıkan heterojeniteyi de göstermiştir.

İkinci ana küme orta ve alt bölge örnekleme noktalarını iki ayrı alt kümeye gruplandırmıştır. Akarsu ağzı ve öncesinde yer alan örnekleme noktaları (9 ve 10) daha yakın benzerlikle birinci alt kümede sınıflandırılırken, orta bölge örnekleme noktaları ikinci alt kümede yer almıştır. HCA, su kalitesi parametreleri bakımından orta bölgedeki ana akarsu örnekleme noktalarına benzerliğini göstererek, orta bölgede ana akarsuya karışan yan kol akarsuyu (YK1) diğer orta bölge örnekleme noktalarıyla aynı alt küme içerisine gruplandırmıştır.

Aksu Çayı'nda gerçekleştirilen mekânsal analizde uzaklık katsayısı olarak Öklidyen mesafesi kullanılmıştır. HCA'da belirlenen istasyonlar arasındaki mesafeler ise Çizelge 4.37'de gösterilmektedir.



Şekil 4.36. Aksu Çayı’nda izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı hiyerarşik kümeleme analizi dendrogram grafiği

Çizelge 4.37. Aksu Çayı’nda izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı Hiyerarşik Kümeleme Analizi Öklid mesafeleri (Euclidean Distances)

İstasyon	1	2	3	4	YK1	YK2	5	6	7	8	9	10
1	0	1198	1357	3839	4510	780	5075	5009	4446	2549	7541	9252
2		0	843	2665	3378	1920	3938	3825	3282	1383	6500	8098
3			0	2788	3338	1860	3878	3990	3334	1553	6226	8078
4				0	947	4530	1394	1211	646	1295	4161	5466
YK1					0	5152	676	1105	540	2016	3333	4813
YK2						0	5712	5716	5121	3239	8075	9903
5							0	1054	776	2567	2788	4242
6								0	786	2480	3594	4410
7									0	1904	3558	4847
8										0	5203	6728
9											0	2891
10												0

Çizelge 4.37’ye göre, istasyonların kendileri arasındaki değerin 0 olması, katsayının düştükçe (sıfıra yaklaştıkça) birbirine yakın olduğunu, katsayıların büyüdükçe mesafenin arttığını yani uzaklaştığını göstermektedir. Buna göre birbirine en yakın benzerlik, 7 ve YK1 numaralı ana akarsu ve yan kol üzerindeki örnekleme noktaları (Öklid Mesafesi: 540) arasında gözlenirken, en uzak benzerlik ise akarsu ve denizin birleşme noktasını temsil eden 10. istasyon ve YK2 noktasını temsil eden yan kol arasında (Öklid Mesafesi: 9903) gözlenmiştir.

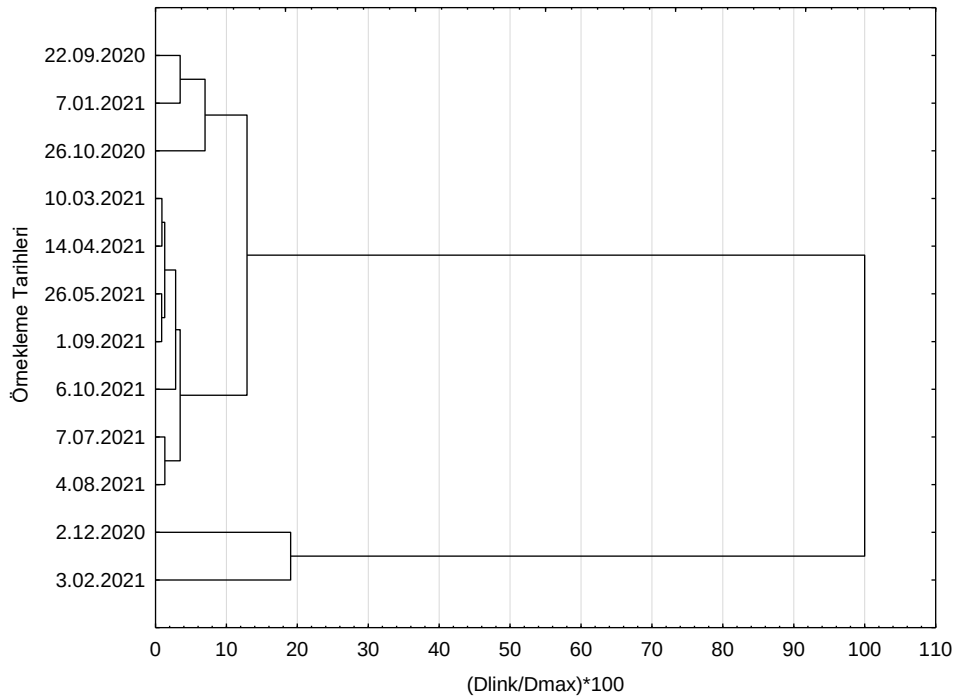
CA sonuçları, su kalitesi ön değerlendirmesi sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, üst akarsu bölümünü kapsayan ölçüm noktaları ile oluşan birinci ana küme, su kalitesi bakımından akarsu ağzı ve akarsu

ağına yakın olan örnekleme noktalarından daha iyi durumdadır. Bu nedenle, birinci ana kümenin az kirli alanlardan, ikinci ana kümenin ise orta veya çok kirli alanlardan oluştuğu söylenebilmektedir.

Sonuçlar, kümeleme analizinin su kalitesi veri setine uygulanabildiğini ve analiz sonucunda güvenilir sonuçlara ulaşılabildiğini göstermektedir. CA, havzadaki su kalitesinde bölgesel benzerlikleri anlamak için kullanılabileceği gibi, izleme çalışmalarının verdiği sonuçları değerlendirmek ya da izleme çalışmalarının yapılması gereken örnekleme noktaları ile sayılarını belirleyebilmek için kullanılabileceğini de ortaya koymaktadır.

4.2.2.2. Zamansal benzerlikler / farklılıklar ve kümeleme

Örnekleme noktalarında izlenen, 37 adet su kalitesi parametrelerine dayalı, zamansal benzerlik ve farklılıkları saptamak amacıyla yine kümeleme analizinden faydalanılmıştır. HCA, izleme periyodunda ortaya çıkan zamansal varyasyonu temsil ederek, örnekleme noktalarından bağımsız olarak örnekleme zamanlarında gözlenen su kalitesi heterojenitesini de göstermiş ve örnekleme tarihlerini $D_{link}/D_{max} \cdot 100 < 50$ istatistiksel anlamlılık düzeyinde iki ana kümeye gruplandırmıştır (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Aksu Çayı’nda örnekleme tarihlerinin su kalitesi parametrelerine dayalı hiyerarşik kümeleme analizi dendrogram grafiği

Birinci ana küme örnekleme dönemlerini büyük ölçüde kapsamış ve iki alt kümede gruplandırmıştır. İlk alt küme örnekleme başlangıcındaki sonbahar dönemleri (Eylül ve Ekim, 2020) ile devam eden kış aylarındaki bir dönemi (Ocak, 2021) içerirken, ikinci alt küme 2021 yılında ilkbahar başlangıcı ile sonbahar başlangıcı arasındaki örneklemelerin (Mart-Ekim, 2021) tamamını aynı küme içerisine almıştır.

Aksu Çayı’nda su kalitesinde ortaya çıkan zamansal heterojenliğin belirgin bir

göstergesi olarak ikinci ana küme, belirli noktalarda akış olmadığı için veri setinde eksik verinin en yüksek olduğu kış başlangıcı (Aralık, 2020) ve tüm noktalarda akışın gözlenerek veri setinde eksik verinin bulunmadığı kış sonu (Şubat, 2021) olmak üzere iki örnekleme dönemini içermiştir. Veri setindeki eksikliğe rağmen, Aksu Çayı'nda izlenen su kalitesi değişkenlerinde gözlenen toplam varyasyonun başlıca kaynağı olarak belirlenmiş olan çözünmüş anyon/kasyon içerikleri ile S ve TC miktarlarının bu iki örnekleme tarihinde en yüksek değerlerde kaydedilmiş olması benzerliği açıklamaktadır.

Aksu Çayı'nda gerçekleştirilen mekânsal analizde uzaklık katsayısı olarak Öklidyen mesafesi kullanılmıştır. HCA'da belirlenen örnekleme tarihleri arasındaki mesafeler ise Çizelge 4.38'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.38. Aksu Çayı'nda izlenen örnekleme tarihlerinin su kalitesi parametrelerine dayalı Hiyerarşik Kümeleme Analizi Öklid mesafeleri (Euclidean Distances)

Tarih	Eylül 2020	Ekim 2020	Aralık 2020	Ocak 2021	Şubat 2021	Mart 2021	Nisan 2021	Mayıs 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	Ekim 2021
Eylül 2020	0	3120	22398	1768	13951	1989	2335	2093	1711	1517	2018	2765
Ekim 2020		0	19674	3082	11293	3878	4203	3874	3464	3305	3853	4253
Aralık 2020			0	22114	9672	23369	23654	23346	22907	22747	23277	23521
Ocak 2021				0	13612	2672	2992	2589	2035	2217	2524	3238
Şubat 2021					0	14986	15290	14987	14519	14360	14912	15253
Mart 2021						0	464	450	1020	938	531	1150
Nisan 2021							0	583	1294	1257	662	1085
Mayıs 2021								0	819	893	443	925
Temmuz 2021									0	669	974	1283
Ağustos 2021										0	968	1394
Eylül 2021											0	1224
Ekim 2021												0

Çizelge 4.38'e göre, uzaklık değeri ne kadar küçükse benzerlik/yakınlık o kadar büyüktür. Buna göre birbirine en yakın örnekleme tarihleri, 450 katsayısı ile Mart 2021 ve Mayıs 2021 olurken en uzak örnekleme tarihleri 23654 katsayısı ile Aralık 2020 ve Nisan 2021 tarihleridir. Sonuç olarak, CA, su kalitesindeki zamansal değişimleri sınıflandırmak ve veri setindeki benzerlik ile farklılıkları ortaya koymakta başarılı olmuştur.

4.2.3. Temel bileşen analizi (TBA) sonuçları

Yüzey sularının kalitesini belirleyen kirlilik kaynaklarının belirlenmesi, parametrelerin birbirleri ile olan ilişkisinin karmaşık olması nedeni ile oldukça zordur. Bu nedenle, TBA gruplar arasındaki farklılıkları incelemek amacı ile kullanılmıştır. İncelenen 37 adet su kalitesi parametresinden, CO_3^{2-} parametresi için elde edilen veriler

çok düşük olduğu için program tarafından kabul edilmemiştir ve bu nedenle veri setinden çıkarılmıştır. Kalan 36 adet su kalitesi parametresi için elde edilen ham veri setine, GraphPad Prism 8 programı yardımıyla, “Outlier Removed” yöntemi uygulanarak aykırı olan veriler, veri setinden uzaklaştırılmıştır. İncelenen parametrelerin birimlerinin farklı olmasından dolayı ortaya çıkabilecek karışıklıkları önlemek amacıyla, aykırı verilerin uzaklaştırıldığı ham veri setine range normalizasyonu uygulanmış ve elde edilmiş yeni veri seti ile Statistica StatSoft 12 Programında uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

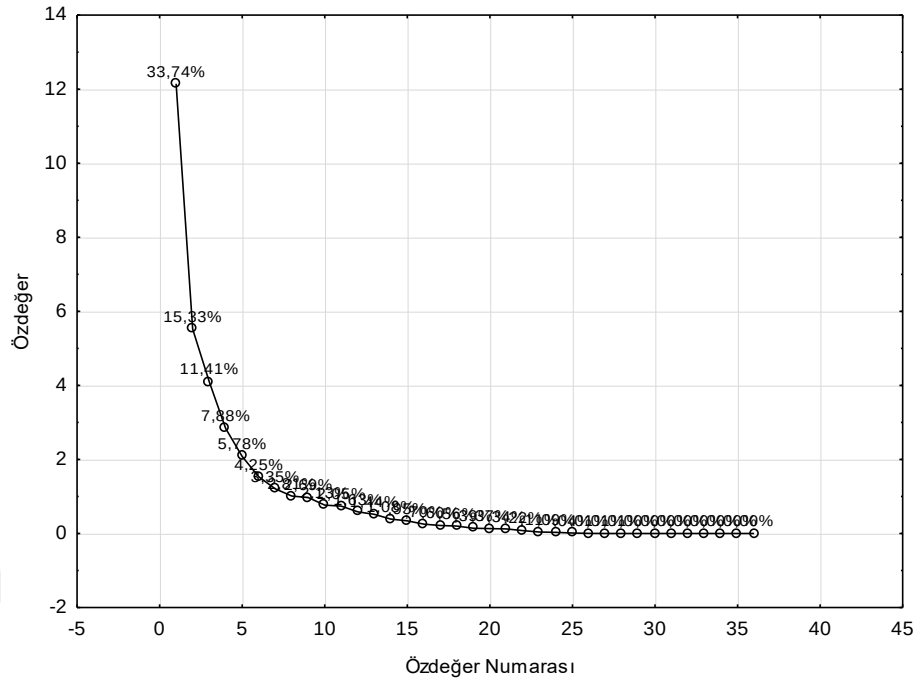
TBA, Aksu Çayı su kalitesinde ortaya çıkan toplam varyansın %50’den fazlasını >1 özdeğere sahip ilk 3 eksenle ve toplam varyansın %84,56’sını >1 özdeğere sahip ilk 8 eksenle açıklamıştır (Çizelge 4.39, Şekil 4.38 ve Çizelge 4.40). Aksu Çayı’nda araştırma periyodunda izlenen örnekleme noktalarında su sıcaklığı, pH, F, NO₃⁻, PO₄³⁻, NH₄⁺, Ca²⁺, TN, TP, KOİ, BOİ₅, TC ve FS parametrelerinin değişiminin toplam varyansa etkisi zayıf (-0,5 < faktör koordinatı < 0,5) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.41 ve Şekil 4.39a, b, c, d). T, ÇO, PO₄³⁻, NH₄⁺, Ca²⁺, TN ve BOİ₅ parametrelerinin değişiminin ise toplam varyansın %50’den fazlasını açıklayan ilk 3 eksen üzerine etkisi zayıf (-0,5 < faktör koordinatı < 0,5) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.41 ve Şekil 4.39a, b, c, d).

Çizelge 4.39. Aksu Çayı’nda su kalitesine dayalı temel bileşenler analizi istatistik özeti

Eksen No	Özdeğer	Toplam özdeğer	Toplam varyansa katkı (%)	Toplam varyans (%)
1	12,15	12,15	33,74	33,74
2	5,52	17,67	15,33	49,07
3	4,11	21,77	11,41	60,48
4	2,84	24,61	7,88	68,36
5	2,08	26,69	5,78	74,14
6	1,53	28,22	4,25	78,39
7	1,21	29,43	3,35	81,75
8	1,01	30,44	2,81	84,56

Temel bileşenleri belirlemek için analiz sonucunda ortaya çıkan grafik kullanılmaktadır (Şekil 4.38). Grafiğin dikey eksen, faktörleri (özdeğerleri) sembolize ederken, yatay eksen temel bileşenleri göstermektedir. Grafikteki keskin düşüşler, önemli faktörlerin sayısını vermektedir. Yatay çizgiler, faktörlerin getirdiği ek değişikliklerin bireysel katkılarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Özdeğer, faktörün önemini belirtir ve özdeğerin değeri yükseldikçe önemi artar. Sayısal değeri 1,0’dan büyük olan özdeğerler önemli olarak düşünülmektedir. Buna göre elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak ilk 8 eksen için özdeğerlerin önemli olduğu söylenebilmektedir (Çizelge 4.39 ve Şekil 4.38).

İzlenen su kalitesi parametreleri için, eksen özdeğerlerine bulunulan, oransal katkı değerlerine ait bilgiler Çizelge 4.39’da gösterilmektedir. Çizelge 4.40’a göre, EC, S, Cl, Br, SO₄²⁻, Li, Na⁺, K⁺ ve Mg²⁺ değişimlerinin Faktör 1 özdeğerine katkısı büyük (> %7) olmuştur. Özdeğer katkısı açısından, Faktör 2’ye bakıldığında ise, bulanıklık ve renk parametrelerinin (R436, R525 ve R620) daha büyük (> %10) katkısı olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Faktör 3’e bakıldığında ise, toplam alkalinite, HCO₃⁻ ve Chl-a parametrelerinin Faktör 2’deki parametreler ile aynı oranda (> %10) eksen özdeğerlerine oransal anlamda katkı sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.38. Toplam özdeğer verileri için scree plot sonucu

Çizelge 4.40. İzlenen su kalitesi parametrelerinin eksen özdeğerlerine oransal katkısı

Parametre	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6	Faktör 7	Faktör 8
T	0,004	0,028	0,001	0,108	0,016	0,041	0,174	0,017
pH	0,001	0,051	0,004	0,053	0,009	0,028	0,007	0,061
EC	0,077	0,000	0,000	0,009	0,003	0,012	0,000	0,001
S%	0,076	0,000	0,000	0,011	0,005	0,015	0,000	0,001
ÇO	0,002	0,029	0,073	0,019	0,160	0,004	0,007	0,012
ÇO%	0,006	0,012	0,077	0,000	0,204	0,018	0,000	0,037
FNU	0,002	0,108	0,001	0,071	0,019	0,007	0,000	0,003
AKM	0,002	0,090	0,004	0,087	0,024	0,008	0,000	0,001
F	0,029	0,009	0,020	0,055	0,033	0,082	0,012	0,008
Cl	0,078	0,001	0,001	0,008	0,002	0,010	0,000	0,001
Br	0,077	0,001	0,001	0,009	0,002	0,011	0,000	0,001
NO ₂	0,021	0,001	0,010	0,017	0,015	0,009	0,259	0,000
NO ₃	0,002	0,029	0,076	0,020	0,018	0,114	0,006	0,009
PO ₄	0,000	0,052	0,024	0,045	0,003	0,057	0,004	0,010
SO ₄	0,078	0,000	0,000	0,009	0,003	0,005	0,000	0,003
Li	0,076	0,001	0,000	0,006	0,000	0,006	0,002	0,000
Na	0,078	0,001	0,001	0,006	0,001	0,010	0,001	0,001
K	0,079	0,001	0,002	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000
NH ₄	0,017	0,015	0,073	0,011	0,014	0,056	0,001	0,001
Mg	0,079	0,000	0,000	0,007	0,002	0,005	0,000	0,002
Ca	0,038	0,017	0,042	0,004	0,000	0,003	0,000	0,014
TOK	0,062	0,002	0,025	0,003	0,008	0,012	0,001	0,002
TN	0,012	0,017	0,031	0,066	0,057	0,073	0,035	0,000
TP	0,001	0,015	0,021	0,057	0,001	0,058	0,063	0,235
KOİ	0,027	0,002	0,002	0,004	0,120	0,040	0,017	0,078
BOİ ₅	0,007	0,017	0,024	0,000	0,086	0,009	0,062	0,151

Çizelge 4.40'ın devamı.

TA	0,004	0,001	0,129	0,056	0,035	0,004	0,001	0,086
HCO ₃	0,004	0,001	0,128	0,062	0,038	0,003	0,001	0,071
Chl-a	0,004	0,011	0,116	0,015	0,033	0,011	0,005	0,001
R436	0,000	0,133	0,038	0,000	0,000	0,002	0,035	0,014
R525	0,000	0,137	0,033	0,000	0,000	0,004	0,029	0,012
R620	0,000	0,141	0,028	0,000	0,000	0,006	0,023	0,011
TC	0,000	0,061	0,000	0,032	0,030	0,002	0,007	0,026
FC	0,032	0,000	0,005	0,102	0,021	0,004	0,003	0,009
FS	0,001	0,013	0,001	0,001	0,000	0,048	0,232	0,115
E.Coli	0,023	0,002	0,007	0,043	0,036	0,223	0,011	0,006

Toplam varyansın çeyreğinden fazlasını açıklayan ilk Eksen 1 (%33,74), akarsu ağız bölgesinde yer alan 10 nolu örnekleme noktasıyla ilişkili olarak EC, S, Cl, Br, SO₄²⁻, Li, Na⁺, K⁺ ve Mg²⁺ (faktör koordinatı < 0,9) ile çok güçlü ve pozitif yönlü; F, NO₂⁻, Ca²⁺, KOİ, FC ve *Escherichia coli* (0,50 < faktör koordinatı < 0,74) ile orta ve pozitif yönlü şekilde yüklenmiştir. Toplam varyansı %15,33 oranında açıklayan Eksen 2, 3.02.2021 tarihli örneklemede YK-1, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı örnekleme noktalarında gözlenen uç değerlerle ilişkili olarak, güçlü ve pozitif yönlü şekilde renk ölçümleri (faktör koordinatı < 0,85) ve orta ve pozitif yönlü şekilde pH, AKM, PO₄³⁻ ve TC (0,53 < faktör koordinatı < 0,71) değişimiyle yüklenmiştir. Toplam varyansı daha az oranda açıklayan (%11,41) Eksen 3 ise, genel olarak en düşük değerlerin gözlemlendiği 1 nolu örnekleme noktası ve 3.02.2021 ile 1.09.2021 tarihli örnekleme noktasında daha yüksek değerlerle ilişkili olarak, ÇO, %ÇO, NO₃⁻, NH₄⁺, toplam alkalinite, HCO₃⁻ ve Chl-a parametreleriyle orta şekilde (-0,69 < faktör koordinatı < 0,73) yüklenmiştir (Çizelge 4.41 ve Şekil 4.39a, b, c, d).

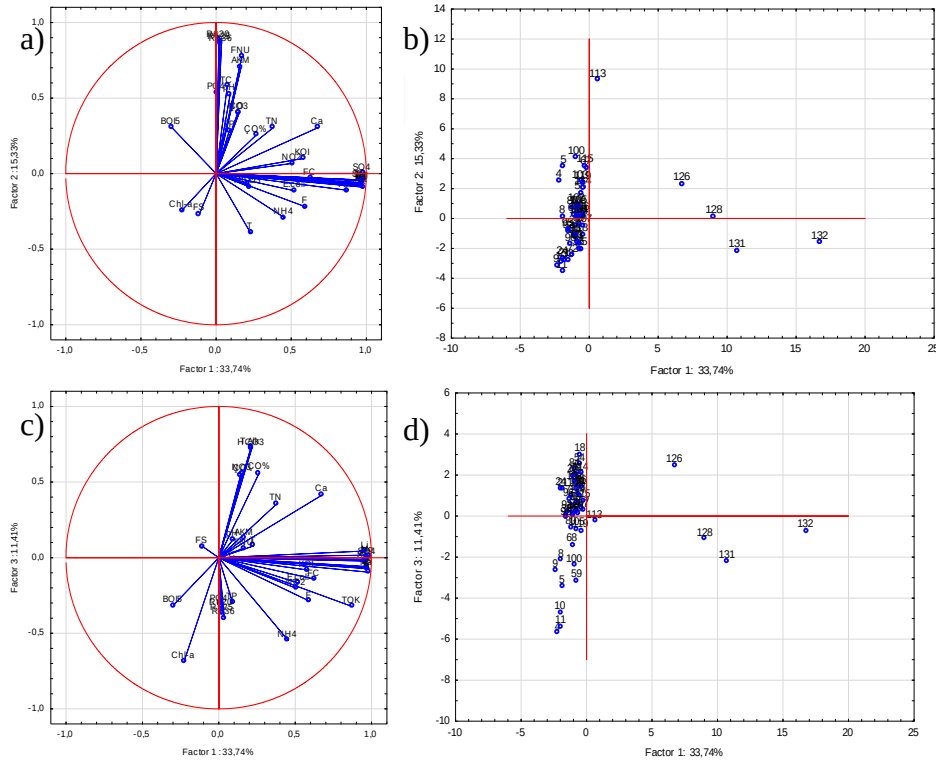
Çizelge 4.41'de korelasyonlara bağlı faktör yükleri yer almaktadır. Liu vd. (2003), faktör yüklerini sırasıyla 0,75'ten büyük değerler için "güçlü" (mavi dolgulu), 0,75-0,50 aralığındaki değerler için "orta" (yeşil dolgulu) ve 0,50-0,30 arasındaki değerler için de "zayıf" (sarı dolgulu) olarak sınıflandırmıştır. Bu aralık değerlerine bağlı kalınarak, Çizelge 4.41'de yer alan değerler güçlü, orta ve zayıf şeklinde farklı renklere boyanmıştır.

Çizelge 4.41. Faktör-Değişken korelasyonları (korelasyonlara bağlı faktör yükleri)

Parametre	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6	Faktör 7	Faktör 8
T	0,229	-0,392	0,078	0,554	-0,184	-0,252	-0,458	0,131
pH	0,095	0,530	0,122	-0,389	-0,135	0,206	0,092	-0,249
EC	0,967	-0,042	-0,011	-0,157	0,082	-0,133	-0,006	0,036
S%	0,959	-0,047	-0,023	-0,180	0,103	-0,153	0,012	0,034
ÇO	0,145	0,403	0,549	-0,234	-0,577	-0,076	0,094	0,108
ÇO%	0,265	0,254	0,562	-0,004	-0,652	-0,168	-0,015	0,194
FNU	0,170	0,773	0,065	0,448	0,200	-0,106	0,003	0,058
AKM	0,167	0,706	0,126	0,497	0,223	-0,112	0,009	0,030
F	0,593	-0,218	-0,287	0,397	-0,263	0,355	-0,119	-0,091
Cl	0,971	-0,063	-0,059	-0,148	0,068	-0,125	0,013	0,027
Br	0,969	-0,060	-0,066	-0,158	0,062	-0,127	0,020	0,024
NO ₂	0,510	0,068	-0,204	0,218	0,177	-0,115	0,559	0,001
NO ₃	0,155	0,403	0,560	-0,238	0,196	0,418	-0,088	0,094
PO ₄	0,007	0,534	-0,312	0,359	0,073	-0,295	0,070	-0,102
SO ₄	0,975	0,002	0,001	-0,156	0,073	-0,091	-0,003	0,054

Çizelge 4.41'in devamı.

Li	0,959	-0,072	0,044	-0,128	0,018	-0,096	0,051	0,009
Na	0,972	-0,080	-0,073	-0,127	0,049	-0,123	0,025	0,026
K	0,980	-0,089	-0,096	-0,107	0,030	-0,036	-0,016	-0,010
NH ₄	0,454	-0,291	-0,548	0,178	0,172	0,294	-0,041	-0,029
Mg	0,978	-0,044	0,017	-0,136	0,070	-0,091	0,000	0,042
Ca	0,679	0,305	0,416	-0,102	0,012	0,066	-0,003	-0,121
TOK	0,870	-0,109	-0,322	0,092	-0,125	0,134	-0,037	-0,046
TN	0,379	0,303	0,356	-0,432	0,346	0,333	-0,207	0,000
TP	0,090	0,289	-0,295	-0,404	-0,042	-0,299	-0,276	-0,488
KOİ	0,578	0,100	-0,081	0,107	-0,499	0,248	0,141	-0,281
BOİ ₅	-0,296	0,307	-0,314	-0,031	-0,422	-0,117	0,273	-0,390
TA	0,210	-0,064	0,729	0,398	0,270	0,076	0,039	-0,295
HCO ₃	0,217	-0,085	0,725	0,420	0,279	0,066	0,026	-0,268
Chl-a	-0,228	-0,243	-0,689	-0,208	0,262	0,128	0,075	-0,036
R436	0,036	0,858	-0,396	-0,004	-0,005	0,052	-0,205	0,118
R525	0,026	0,871	-0,366	-0,021	-0,002	0,075	-0,188	0,112
R620	0,019	0,881	-0,338	-0,034	-0,022	0,093	-0,167	0,103
TC	0,074	0,579	-0,019	0,300	0,250	-0,057	0,092	-0,162
FC	0,628	-0,033	-0,142	0,537	-0,211	-0,081	-0,064	0,096
FS	-0,110	-0,265	0,077	-0,053	0,029	-0,270	-0,529	-0,342
E. Coli	0,524	-0,114	-0,168	0,349	-0,274	0,584	-0,117	-0,078



Şekil 4.39. Aksu Çayı'nda su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (b) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (c) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği ve (d) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği (sayılar farklı örnekleme noktası ve dönemini ifade eder)

4.2.4. Kendi kendini düzenleyen haritalar (SOM) sonuçları

4.2.4.1. Uygun harita boyutu seçimi

Vesanto ve Alhoniemi (2000), optimal nöron sayısının hesaplanması için $5\sqrt{n}$ 'in uygun bir yöntem olduğunu öne sürmüştür (n, analiz edilen örnek sayısını ifade eder ve bu çalışma için $n = 132$ 'dir). Bu yöntemin doğru olabileceği varsayılarak hesaplama yapılmış ve 58 adet nöron sayısına ulaşılmıştır. Li vd. (2018) tarafından yapılan çalışma referans alınarak uygun harita boyutu için 50 ile 60 nöron sayılarını kapsayan harita boyutları MATLAB R2021a programında denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen QE ve TE değerleri Çizelge 4.42'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.42. Vesanto ve Alhoniemi'ye (2000) göre hesaplanan harita boyutlarına ait hata analizleri

	50 (5X10)	54 (6X9)	55 (5X11)	56 (7X8)	60 (6X10)
QE	0,4517	0,4436	0,4434	0,4466	0,4387
TE	0,0076	0,0152	0,0076	0,0227	0

Vesanto ve Alhoniemi (2000) tarafından sunulan hesaplama yönteminin yanı sıra sıkça kullanılan deneme-yanılma yöntemi ile de harita boyutları için MATLAB R2021a programında denemeler yapılmıştır. Elde edilen deneme-yanılma yöntemine ait QE ve TE değerleri Çizelge 4.43'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.43. Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen harita boyutlarına ait hata analizleri

	90 (9X10)	96 (8X12)	99 (9X11)	100 (10X10)	110 (10X11)	121 (11X11)	132 (11X12)
QE	0,3932	0,3908	0,3888	0,3797	0,3766	0,3697	0,3535
TE	0,0152	0,0152	0	0,0076	0,152	0,0152	0

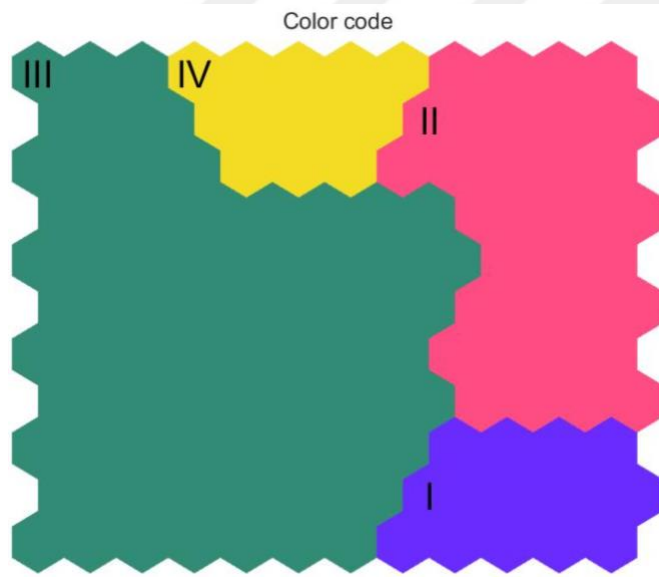
Çizelge 4.42 ve Çizelge 4.43'ün sonuçları karşılaştırıldığında deneme-yanılma yönteminin daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu yüzden, Çizelge 4.43'teki QE ve TE değeri en az olan 132 (11X12) harita boyutu seçilmiş ve işlemler bu harita boyutu esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

4.2.4.2. Range normalizasyonlu outlier verileri ile oluşturulan SOM sonuçları

İşlemler, 30 adet su kalitesi parametresi (T, pH, Chl-a, TC, FS, R436 ve CO_3^{2-} hariç) için doldurulmuş ham-outlier verileri ile Matlab R2021a programında range normalizasyonu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ek olarak 2, 3 ve 4 küme için denemeler yapılmıştır. Oluşturulan bu kümeler ile Statistica programından elde edilen İstasyon (Şekil 4.36) ve Tarihler (Şekil 4.37) kümelemeleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Statistica programı kümeleme analizini zamansal ve mekânsal olarak iki ayrı şekilde oluşturmaktadır. Ancak Kohonen-SOM, zamansal ve mekânsal olarak birlikte değerlendirmeye almaktadır. Şekil 4.36'daki İstasyon kümelemesinde üst-orta-alt akarsu bölümü olarak istasyonların kümelendiği görülürken, Kohonen-SOM sonuçlarında mansap bölümünde yer alan 10. İstasyon tüm kümeleme analizlerinde (2, 3 ve 4 küme)

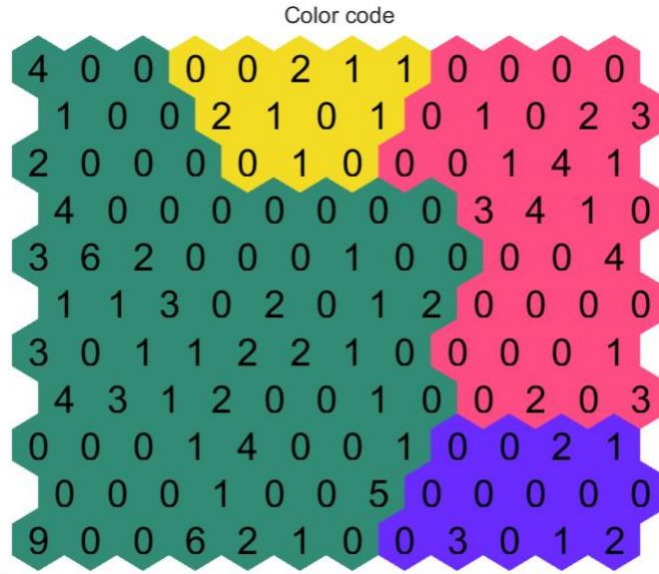
ayrı bir şekilde kümelenmiştir. Tarihler açısından bir karşılaştırma yapıldığında ise, Kohonen-SOM sonuçlarında Eylül 2020-Ocak 2021 dönemini aynı alt kümeler aldığını görülmüştür. Şekil 4.37’de gösterilen Statistica programından elde edilen kümeleme sonuçlarında da benzer dönemlerin alt küme oluşturduğu görülmektedir. Kısacası, sonbahar-kış dönemi, iki programda da benzer alt kümelerde kapsanmıştır. Aynı şekilde, Şubat-Ekim 2021 dönemlerinin, Kohonen-SOM ve Statistica (Şekil 4.37) sonuçlarında benzer alt kümelerde kümelenildiği görülmüştür.

Uygun harita boyutu 11X12 (EK-1) şeklinde seçildikten sonra oluşturulan 132 adet nöron, örnek sayısına göre (132) 4 farklı kümeye ayrılmış ve Şekil 4.40’ta sunulan bir dağılım elde edilmiştir. Burada, 1. Küme, orta ve alt akarsu bölgelerini kapsayan istasyonlar ile kümelenmiştir. Tarihler açısından bakıldığında ise, Ocak 2021 arazi ölçümlerini içermektedir. 2. Küme ise, istasyon verilerinden en az bir adet içermektedir. Ancak Tarihler açısından bakıldığında, bu istasyonların ağırlıklı olarak Eylül 2020-Ocak 2021 ölçüm dönemlerinden oluştuğu görülmüştür. 3. Küme ise, 10. İstasyon dışındaki tüm istasyonları içermektedir. Tarihler açısından bakıldığında ise bu istasyonların, Şubat-Ekim 2021 dönemlerinden oluştuğu görülmüştür. 4. Küme ise, sadece mansap bölgesinde yer alan 10. İstasyonu kümelemiştir ve Statistica programından elde edilen istasyonlar kümesindeki alt akarsu bölgesi kümesine benzer sonuç vermiştir. Sonuç olarak, bu 4 küme, Statistica (Şekil 4.36; İstasyonlar ve Şekil 4.37; Tarihler) ve Kohonen-SOM programlarında benzer şekilde kümelenmiştir. Bu sebeple 4. Küme seçilmiştir.



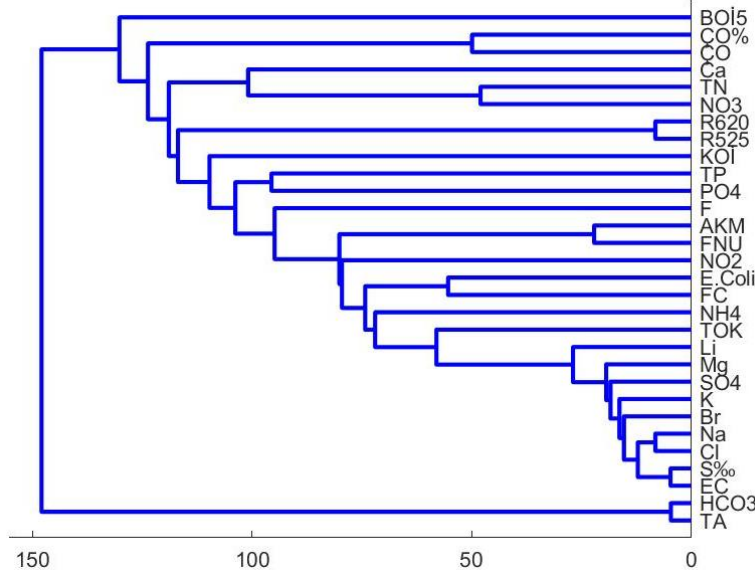
Şekil 4.40. Nöronların örnek sayılarına göre kümelerine ayrılması

Şekil 4.41, benzerliklerine göre nöron başına düşen örnek sayısını göstermektedir. Bu sayının en yüksek 9, en düşük 1 olduğu görülmektedir. Bu 4 kümeye bakıldığında, aslında homojen bir dağılım olmadığı görülmektedir.



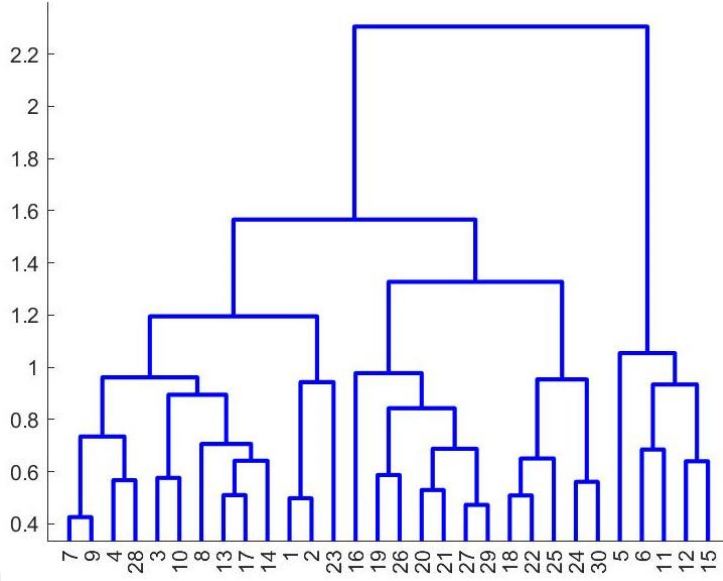
Şekil 4.41. Nöron başına düşen örnek sayısı

Aksu Çayı'ndan elde edilmiş olan 30 adet su kalitesi parametresinin yatay dendrogram (ağaç grafiği) grafiği Şekil 4.42'de gösterilmektedir. Parametreler kendi içlerinde fizikokimyasal ve bakteriyolojik özellikler ile anyon-katyon gruplarına göre kümeler oluşturmuştur.



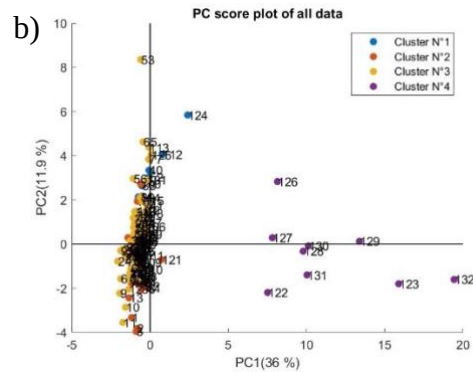
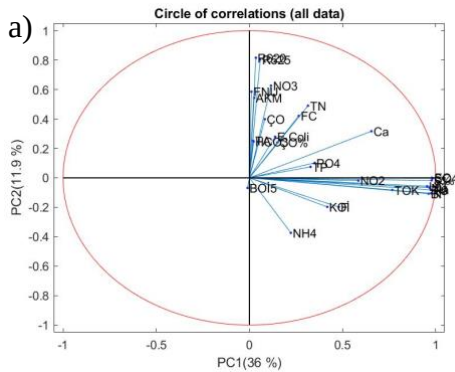
Şekil 4.42. Su kalitesi parametrelerinin oluşturduğu dendrogram grafiği

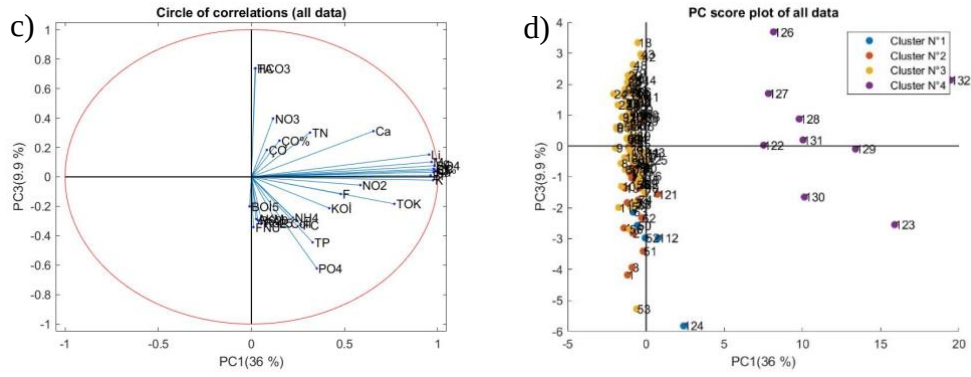
Şekil 4.43, 30 adet nöron için su kalitesi açısından benzerliklerini gösteren kümelenmiş dikey dendrogram grafiğini sunmaktadır. Burada nöronların birbiri ile gösterdikleri korelasyon tahmin edilmeye çalışılmıştır. Eksene en yakın olan nöronlar korelasyonu en yüksek olan nöronları ifade etmektedir. Grafiğe göre, 7. ve 9. nöronlar bu duruma örnektir.



Şekil 4.43. 30 adet nöron için oluşturulan dendrogram grafiği

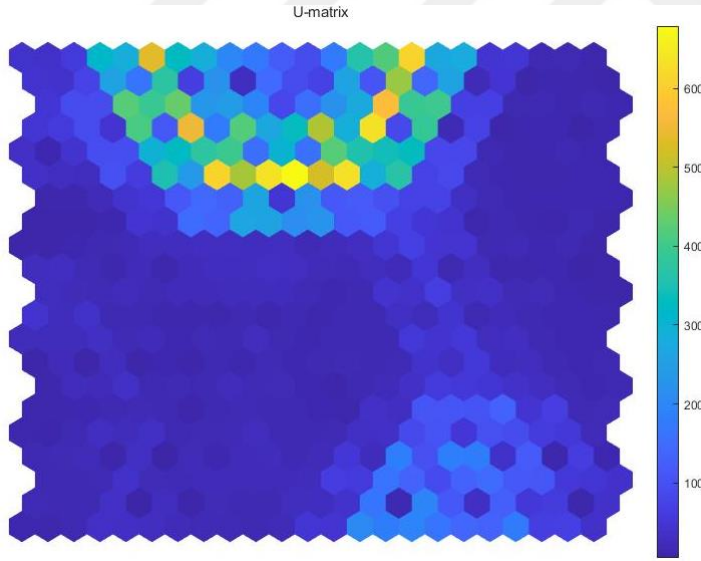
Toplam varyansın çeyreğinden fazlasını açıklayan ilk Eksen 1 (%36), akarsu ağız bölgesinde yer alan 10 nolu örnekleme noktasıyla ilişkili olarak, EC, S, Cl⁻, Br⁻, SO₄²⁻, Li, Na⁺, K⁺ ve Mg²⁺ (faktör koordinatı < 0,9) ile çok güçlü; F, NO₂⁻, Ca²⁺, KOİ, FC ve *Escherichia coli* (0,50 < faktör koordinatı < 0,74) ile orta şekilde yüklenmiştir. Toplam varyansı %11,9 oranında açıklayan Eksen 2, 3.02.2021 tarihli örneklemede YK-1, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı örnekleme noktalarında gözlenen uç değerlerle ilişkili olarak, güçlü şekilde renk ölçümleri (faktör koordinatı < 0,85) ve orta şekilde pH, AKM, PO₄³⁻ ve TC (0,53 < faktör koordinatı < 0,71) değişimiyle yüklenmiştir. Toplam varyansı daha az oranda açıklayan (%9,9) Eksen 3 ise, genel olarak en düşük değerlerin gözlemlendiği 1 nolu örnekleme noktası ve 3.02.2021 ile 1.09.2021 tarihli örnekleme noktasında daha yüksek değerlerle ilişkili olarak, ÇÖ, %ÇÖ, NO₃⁻, NH₄⁺, toplam alkalinite, HCO₃⁻ ve Chl-a parametreleriyle orta şekilde (-0,69 < faktör koordinatı < 0,73) yüklenmiştir (Şekil 4.44a, b, c, d).





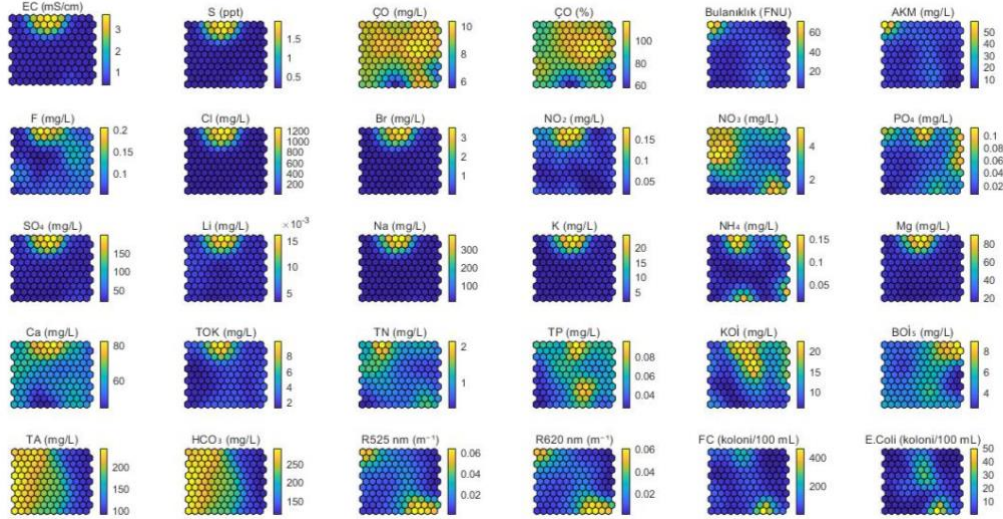
Şekil 4.44. Aksu Çayı’nda su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (b) ölçümlerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (c) parametrelerin PC-1 ve PC-3 grafiği ve (d) ölçümlerin PC-1 ve PC-3 grafiği

Birleşik Uzaklık Matrisi (U-matris) algoritması ile SOM birimleri arasındaki alt grup sınırları Şekil 4.45’teki gibi belirlenmiştir. U matrisindeki komşu düğümler arasındaki yakınlık, haritada renklerle gösterilen Öklid mesafesine göre MATLAB R2021a programında oluşturulmuştur. Haritadaki mavi renkler yakın olan komşu düğümleri, kırmızı renkler ise birbirinden uzak olan düğümleri temsil etmektedir. Haritaya göre, orta-üst bölge hariç, genel olarak U-Matris’in mavi renklere hâkim olduğu görülmektedir.



Şekil 4.45. Aksu Çayı verilerine göre oluşturulan U-Matris

Şekil 4.46’da her bir su kalitesi parametresi için oluşturulan SOM haritaları yer almaktadır. EC ve S parametreleri SOM haritalarında anyon-kasyon gruplarıyla (Cl^- , Br^- , Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}), SO_4^{2-} ve TOK parametreleri ile benzer desenler oluşturmuştur. Bu parametrelerin her birinde de orta-üstbölge turuncu bir renk kümesi oluşturmuş ve aynı yönlü korelasyon sergilemişlerdir. CO_2 -% CO_2 , Renk parametreleri (R-525, R-620) ve Fekal Koliform-E. Coli parametreleri de kendi aralarında benzer renk desenleri oluşturmuştur ve pozitif yönlü korelasyonlara sahiptir.



Şekil 4.46. Aksu Çayı’na ait su kalitesi parametreleri için oluşturulan SOM haritaları

4.3. Aksu Çayı Su Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistik Yöntemleriyle Test Edilmesi (Mevsimsel)

4.3.1. Korelasyon analizi

Aksu Çayı’nın izleme dönemlerinde elde edilen verilerinin daha anlaşılır olabilmesi adına mevsimsel ortalaması alınarak istatistiksel çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla, 30 adet su kalitesi parametresi için (T, pH, Chl-a, TC, FS, R436 ve CO_3^{2-} hariç) Çizelge 4.44’te gösterilmekte olan korelasyon matrisi elde edilmiştir.

Çizelgede yer alan ve koyu renkle gösterilen değerler, korelasyon sonucu -0,5’den küçük ve 0,5’den büyük olan değerleri göstermektedir. Çizelge 4.44’e göre, S parametresi, EC parametresi ile %99,9 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon oluşturmuştur. Benzer şekilde, %ÇO ile ÇO parametreleri %88,1 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü korelasyon göstermiştir. AKM parametresi ise bulanıklık parametresi ile %98,6 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon ortaya çıkarmıştır. Anyon-kasyon gruplarından olan Cl^- ve Br^- parametreleri ise EC ve S parametreleri yaklaşık %98’den fazla, çok güçlü ve pozitif yönlü korelasyon değerleri sergilemiştir. Aynı şekilde, anyon-kasyon gruplarından Na^+ ve K^+ parametreleri ile SO_4^{2-} parametresi, EC, S, Cl^- ve Br^- parametreleri üzerinde %95’ten fazla olacak şekilde çok güçlü ve pozitif korelasyon sonuçlarını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, Mg^{2+} parametresi, EC, S, Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , Na^+ ve K^+ ile %95’ten fazla ve çok güçlü şekilde pozitif yönlü korelasyon sonuçları oluştururken, Ca^{2+} parametresi ise aynı parametreler üzerinde %60-70 oranında orta düzeyde ve pozitif yönlü korelasyon sonuçlarını ortaya koymuştur. TOK parametresi ise EC, S, SO_4^{2-} ve anyon-kasyon grupları (F^- , Cl^- , Br^- , Li^+ , Na^+ , K^+ ve Mg^{2+}) ile %70-89 oranında orta ve yüksek düzeylerde pozitif korelasyon sonuçları sergilemiştir. Ek olarak, NH_4^+ parametresi, ÇO parametresi ile %56,8, %ÇO parametresi ile de %55,6 oranında orta düzeyde ve negatif yönlü korelasyon göstermiştir.

Çizelge 4.44. Aksu Çayı izleme çalışması ile edilen 30 adet su kalitesi parametresi için Statistica StatSoft 12 programında oluşturulan korelasyon matrisi

Parametre	EC	S‰	ÇO	ÇO%	FNU	AKM	F	Cl	Br	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SO ₄	Li	Na	K	NH ₄	Mg	Ca	TOK	TN	TP	KOI	BOI ₅	T.Alk	HCO ₃	R525	R620	FC	E.Coli
EC	1																													
S‰	1,00	1																												
ÇO	0,05	0,04	1																											
ÇO%	0,15	0,13	0,88	1																										
FNU	0,03	0,02	0,28	0,14	1																									
AKM	0,04	0,03	0,24	0,14	0,99	1																								
F	0,53	0,53	-0,06	0,15	-0,11	-0,09	1																							
Cl	1,00	1,00	0,02	0,12	0,04	0,05	0,55	1																						
Br	0,98	0,98	0,01	0,10	0,04	0,05	0,55	0,99	1																					
NO ₂	0,72	0,73	0,03	-0,04	0,15	0,12	0,21	0,71	0,66	1																				
NO ₃	0,13	0,13	0,49	0,34	0,08	0,07	-0,14	0,08	0,06	0,08	1																			
PO ₄	0,36	0,36	0,16	0,03	0,60	0,55	0,18	0,35	0,34	0,53	0,02	1																		
SO ₄	0,98	0,97	0,08	0,19	0,04	0,06	0,58	0,98	0,96	0,65	0,18	0,28	1																	
Li	0,72	0,72	0,05	0,18	0,01	0,04	0,53	0,75	0,80	0,24	0,11	-0,06	0,78	1																
Na	0,98	0,98	0,01	0,11	0,05	0,05	0,56	0,99	1,00	0,65	0,07	0,36	0,96	0,79	1															
K	0,96	0,96	-0,01	0,12	0,05	0,07	0,65	0,97	0,97	0,61	0,02	0,35	0,96	0,80	0,98	1														
NH ₄	0,29	0,31	-0,57	-0,56	-0,09	-0,07	0,35	0,34	0,35	0,18	-0,39	0,09	0,34	0,27	0,32	0,39	1													
Mg	0,96	0,96	0,05	0,20	0,03	0,05	0,64	0,97	0,96	0,58	0,14	0,27	0,98	0,83	0,97	0,98	0,31	1												
Ca	0,70	0,68	0,40	0,45	0,08	0,07	0,36	0,66	0,65	0,46	0,61	0,28	0,70	0,52	0,66	0,61	-0,16	0,71	1											
TOK	0,74	0,75	-0,14	0,01	0,08	0,10	0,71	0,78	0,79	0,39	-0,18	0,31	0,80	0,73	0,80	0,89	0,55	0,85	0,36	1										
TN	0,48	0,47	0,29	0,16	0,07	0,07	0,03	0,44	0,41	0,41	0,83	0,06	0,53	0,37	0,39	0,35	0,01	0,44	0,68	0,11	1									
TP	0,50	0,50	0,01	-0,07	0,29	0,26	0,13	0,51	0,54	0,50	-0,09	0,65	0,44	0,30	0,55	0,51	0,25	0,45	0,30	0,51	0,10	1								

Çizelge 4.44'ün devamı.

KOI	0,49	0,49	0,15	0,31	0,22	0,25	0,41	0,53	0,53	0,24	-0,25	0,33	0,53	0,49	0,54	0,61	0,22	0,59	0,25	0,72	-0,10	0,48	1							
BOI ₅	0,09	0,09	0,11	0,03	0,20	0,20	0,17	0,10	0,12	-0,02	-0,12	0,30	0,06	0,06	0,12	0,11	0,09	0,06	0,06	0,11	-0,13	0,23	0,15	1						
T.Alk	0,11	0,10	-0,11	0,06	-0,23	-0,16	-0,02	0,08	0,02	0,03	0,34	-0,39	0,13	0,06	0,03	0,03	-0,24	0,13	0,19	-0,10	0,34	-0,26	-0,07	-0,20	1					
HCO ₃	0,11	0,10	-0,10	0,06	-0,22	-0,16	-0,02	0,09	0,02	0,04	0,35	-0,38	0,13	0,06	0,04	0,03	-0,24	0,13	0,20	-0,10	0,35	-0,25	-0,07	-0,21	1,00	1				
RS25	0,13	0,12	0,31	0,09	0,48	0,46	-0,08	0,12	0,10	0,14	0,40	0,43	0,17	0,03	0,11	0,08	0,03	0,10	0,30	0,10	0,43	0,45	0,14	0,23	-0,08	-0,07	1			
R620	0,15	0,15	0,34	0,09	0,46	0,43	-0,13	0,13	0,11	0,24	0,43	0,53	0,16	-0,09	0,12	0,07	-0,03	0,08	0,34	0,03	0,43	0,47	0,09	0,24	-0,10	-0,09	0,97	1		
FC	0,60	0,59	0,11	0,11	0,39	0,37	0,41	0,58	0,55	0,59	0,09	0,79	0,50	0,15	0,59	0,55	-0,03	0,51	0,50	0,38	0,15	0,54	0,35	0,24	-0,05	-0,04	0,31	0,42	1	
E.Coli	0,49	0,48	0,01	0,07	0,32	0,31	0,33	0,47	0,44	0,45	0,01	0,70	0,39	0,04	0,48	0,46	-0,05	0,42	0,37	0,36	0,02	0,50	0,37	0,17	0,04	0,05	0,22	0,33	0,92	1

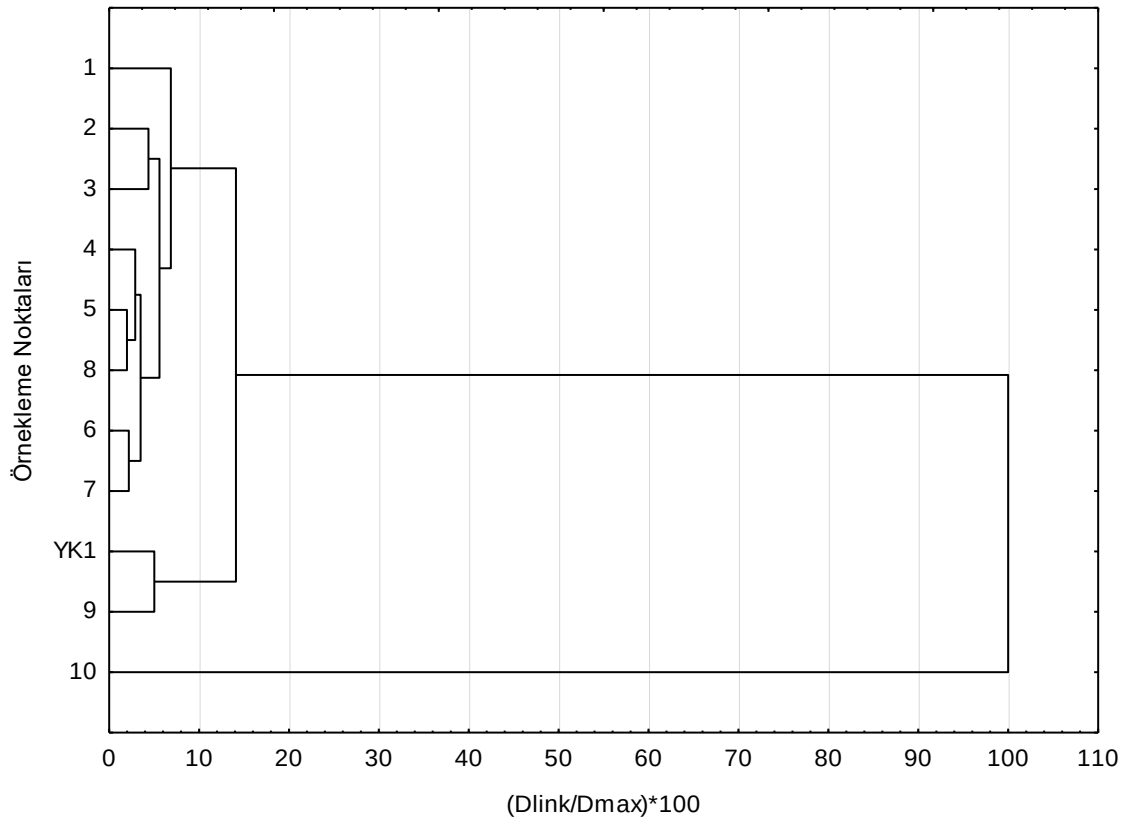
4.3.2. Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) sonuçları

Aksu Çayı'ndaki zamansal ve mekânsal değişimlerdeki benzerlikleri ve farklılıkları anlamak amacıyla HCA kullanılmıştır. Bağlantı mesafelerinin D_{link} / D_{max} olarak ifade edileceği kümeleme için Wards yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizde uzaklık katsayısı olarak, Öklidyen Mesafesi (Euclidean Distance) belirlenmiştir. İncelenen 30 adet su kalitesi parametresi için (T, pH, Chl-a, TC, FS, R436 ve CO_3^{2-} hariç) ham veri seti kullanılmış ve Statistica StatSoft 12 Programında uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

4.3.2.1. Mekânsal benzerlikler/farlılıklar ve kümeleme

HCA, Aksu Çayı'nda tayin edilen su kalitesi parametrelerine bağlı olarak izlenen örnekleme noktalarının sergilediği heterojeniteyi ortaya çıkarmıştır. HCA sonuçları, Şekil 4.47'de yer almaktadır.

HCA, Aksu Çayı'nda tayin edilen 30 adet su kalitesi parametresine bağlı olarak izlenen örnekleme noktalarının sergilediği heterojeniteyi ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.47). HCA, örnekleme noktalarını $D_{link}/D_{max} * 100 < 50$ istatistiksel anlamlılık düzeyinde iki ana kümeye gruplandırmıştır.



Şekil 4.47. Aksu Çayı'nda izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı hiyerarşik kümeleme analizi dendrogram grafiği

Birinci ana küme, YK1 istasyonu hariç, büyük oranda üst ve orta bölge örnekleme noktalarını kapsamıştır. Ayrıca HCA, bir alt akarsu örnekleme noktası olan 8. istasyonu

birinci küme içerisine alarak akış boyunca örnekleme noktalarında ortaya çıkan heterojeniteyi de göstermiştir. Birinci ana kümenin diğer bir alt kümesi olan ikinci küme ise orta akarsu bölümünü temsil eden YK1 istasyonu ile akarsuyun mansap bölümünü temsil eden 9 numaralı istasyonu aynı alt küme içinde gruplandırarak sergilenen heterojeniteyi göstermiştir. İkinci ana küme ise akarsu ağzında yer alan 10 numaralı örnekleme noktasını tek başına kümelemiştir.

Aksu Çayı'nda gerçekleştirilen mekânsal analizde uzaklık katsayısı olarak Öklidyen mesafesi kullanılmıştır. HCA'da belirlenen istasyonlar arasındaki mesafeler ise Çizelge 4.45'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.45. Aksu Çayı'nda izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı Hiyerarşik Kümeleme Analizi Öklid mesafeleri (Euclidean Distances)

İstasyonlar	1	2	3	4	YK1	5	6	7	8	9	10
1	0	189	232	206	305	191	164	140	181	316	2020
2		0	151	117	324	157	138	117	125	279	2003
3			0	143	289	148	165	163	147	265	1987
4				0	281	106	119	95	78	217	1978
YK1					0	217	241	239	257	174	1943
5						0	112	92	69	199	1972
6							0	76	89	217	1986
7								0	77	210	1983
8									0	219	1982
9										0	1927
10											0

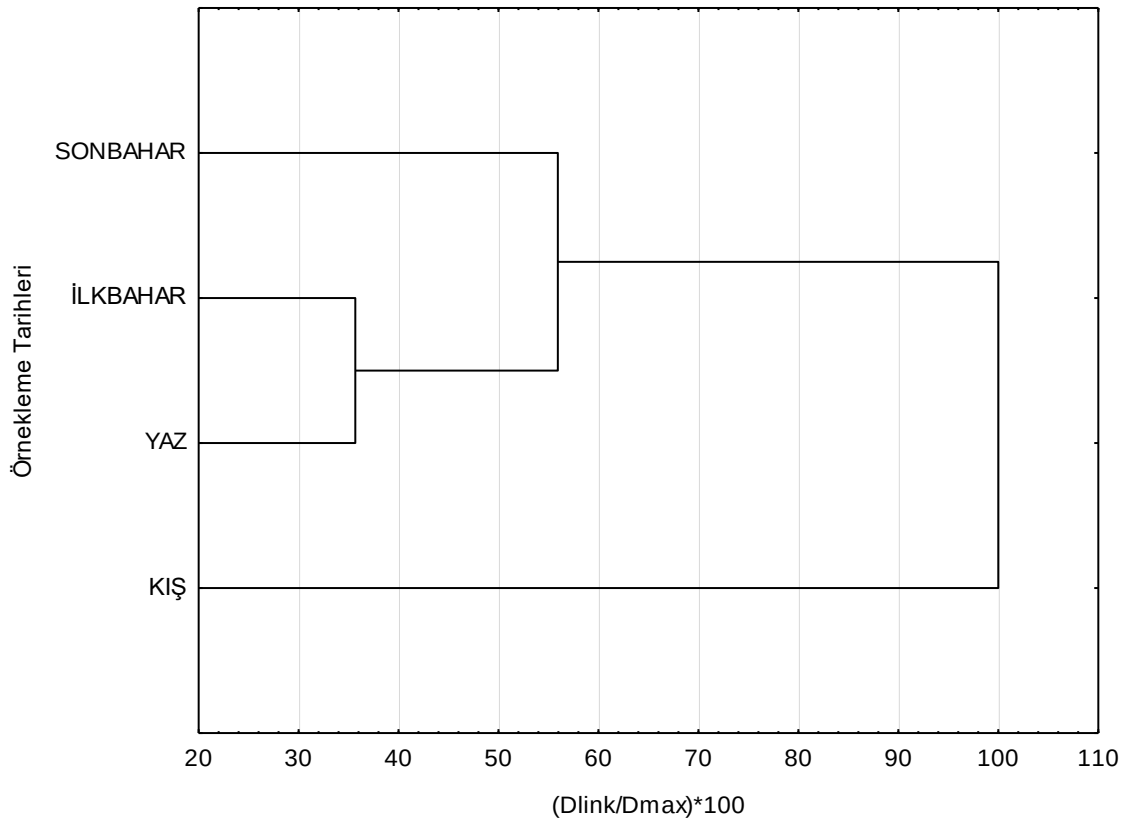
Çizelge 4.45'e göre birbirine en yakın benzerlik, 7 ve 6 numaralı ana akarsu üzerindeki örnekleme noktaları (Öklid Mesafesi: 76) arasında gözlenirken, en uzak benzerlik ise akarsu ve denizin birleşme noktasını temsil eden 10. istasyon ve akarsuyun memba bölümünü temsil eden 1 numaralı istasyon arasında (Öklid Mesafesi: 2020) gözlenmiştir.

CA sonuçları, su kalitesi ön değerlendirmesi sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, üst ve orta akarsu bölümünü kapsayan ölçüm noktaları ile oluşan birinci ana kümenin ilk alt kümesi, su kalitesi bakımından akarsu ağzı ve akarsu ağzına yakın olan örnekleme noktalarından daha iyi durumdadır. Bu nedenle, birinci ana kümenin az ve orta kirli alanlardan, ikinci ana kümenin ise kirli veya çok kirli alanlardan oluştuğu söylenebilmektedir.

Sonuçlar, kümeleme analizinin su kalitesi veri setine uygulanabildiğini ve analiz sonucunda güvenilir sonuçlara ulaşılabildiğini göstermektedir.

4.3.2.2. Zamansal benzerlikler / farklılıklar ve kümeleme

Örnekleme noktalarında izlenen, 30 adet su kalitesi parametrelerine dayalı, zamansal benzerlik ve farklılıkları saptamak amacıyla yine kümeleme analizinden faydalanılmıştır. HCA, izleme periyodunda ortaya çıkan zamansal varyasyonu temsil ederek, örnekleme noktalarından bağımsız olarak örnekleme zamanlarında gözlenen su kalitesi heterojenitesini de göstermiş ve örnekleme tarihlerini $D_{link}/D_{max} * 100 < 60$ istatistiksel anlamlılık düzeyinde iki ana kümeye gruplandırmıştır (Şekil 4.48).



Şekil 4.48. Aksu Çayı’nda örnekleme mevsimlerinin su kalitesi parametrelerine dayalı hiyerarşik kümeleme analizi dendrogram grafiği

Birinci ana küme, mevsimlerin üçünü kapsamış ve iki alt kümede gruplandırmıştır. İlk alt küme sonbahar mevsim ortalamalarını (Eylül-Ekim, 2020 ve Ekim 2021) kapsarken, ikinci alt küme ilkbahar (Mart-Nisan-Mayıs, 2021) ve yaz (Temmuz-Ağustos-Eylül, 2021) mevsim ortalamalarını kapsayarak kümelenmiştir. İkinci ana küme ise kış mevsim ortalamalarını (Aralık, 2020 ve Ocak-Şubat, 2021) kapsamıştır.

Aksu Çayı’nda gerçekleştirilen mekânsal analizde uzaklık katsayısı olarak Öklidyen mesafesi kullanılmıştır. HCA’da belirlenen örnekleme tarihleri arasındaki mesafeler ise Çizelge 4.46’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.46. Aksu Çayı’nda izlenen örnekleme tarihlerinin su kalitesi parametrelerine dayalı Hiyerarşik Kümeleme Analizi Öklid mesafeleri (Euclidean Distances)

Mevsimler	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Sonbahar	0	715	435	481
Kış		0	817	680
İlkbahar			0	321
Yaz				0

Çizelge 4.46’ya göre birbirine en yakın mevsimler, 321 katsayısı ile yaz ve ilkbahar olurken, en uzak mevsimler ise 817 katsayısı ile ilkbahar ve kış olmuştur.

Sonuç olarak, CA, su kalitesindeki zamansal değişimleri sınıflandırmak ve veri

setindeki benzerlik ile farklılıkları ortaya koymakta başarılı olmuştur.

4.3.3. Temel bileşen analizi (TBA) sonuçları

TBA gruplar arasındaki farklılıkları incelemek amacı ile mevsim ortalaması değerleri için de kullanılmıştır. İncelenen 30 adet su kalitesi parametresi için (T, pH, Chl-a, TC, FS, R436 ve CO_3^{2-} hariç) elde edilen ham veri setine, GraphPad Prism 8 programı yardımıyla, “Outlier Removed” yöntemi uygulanarak aykırı olan veriler, veri setinden uzaklaştırılmış olup, kalan veri setine range normalizasyonu uygulanmış ve elde edilmiş yeni veri seti ile Statistica StatSoft 12 Programında uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

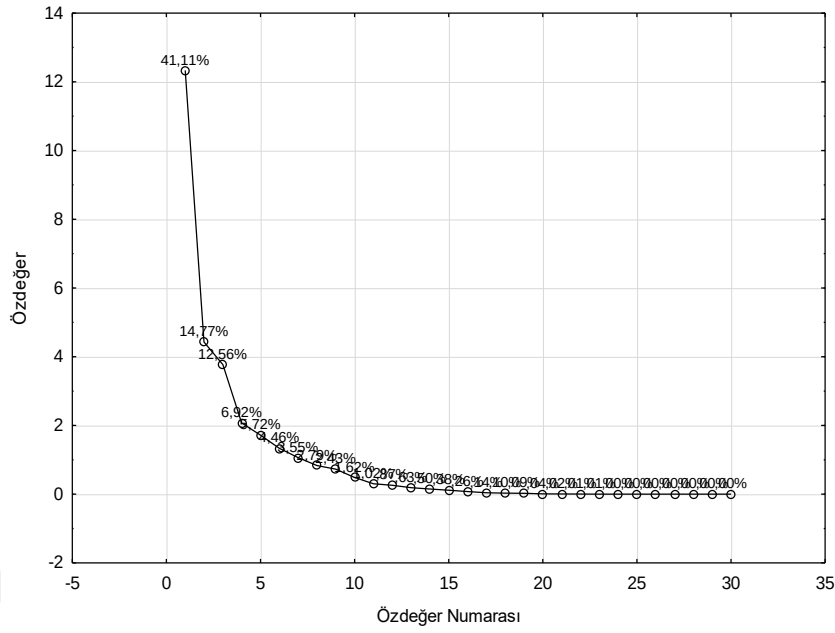
TBA, Aksu Çayı su kalitesinde ortaya çıkan toplam varyansın %50’den fazlasını >1 özdeğere sahip ilk 2 eksenle ve toplam varyansın %89,09’unu >1 özdeğere sahip ilk 7 eksenle açıklamıştır (Çizelge 4.47, Şekil 4.49 ve Çizelge 4.48). Aksu Çayı’nda araştırma periyodunda izlenen örnekleme noktalarında NO_2^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ , TN, TP, KOİ, toplam alkalinite, HCO_3^- ve fekal koliform parametrelerinin değişiminin toplam varyansa etkisi zayıf ($-0,5 < \text{faktör koordinatı} < 0,5$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.49 ve Şekil 4.50-a, b, c, d). NO_3^- , PO_4^{3-} , Li, NH_4^+ , TN, TP, fekal koliform ve *Escherichia* koli parametrelerinin değişiminin ise toplam varyansın %50’den fazlasını açıklayan ilk 2 eksen üzerine etkisi zayıf ($-0,5 < \text{faktör koordinatı} < 0,5$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.49 ve Şekil 4.50-a, b, c, d).

Çizelge 4.47. Aksu Çayı’nda su kalitesine dayalı temel bileşenler analizi istatistik özeti

Eksen No	Özdeğer	Toplam özdeğer	Toplam varyansa katkı (%)	Toplam varyans (%)
1	12,33	12,33	41,11	41,11
2	4,43	16,76	14,77	55,88
3	3,77	20,53	12,56	68,44
4	2,08	22,61	6,92	75,36
5	1,72	24,32	5,72	81,08
6	1,34	25,66	4,46	85,54
7	1,07	26,73	3,55	89,09

Temel bileşenleri belirlemek için analiz sonucunda ortaya çıkan grafik kullanılmaktadır (Şekil 4.49). Grafiğe göre ve elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında ilk 7 eksen için özdeğerlerin önemli olduğu söylenebilmektedir.

İzlenen su kalitesi parametreleri için, eksen özdeğerlerine bulunulan, oransal katkı değerlerine ait bilgiler Çizelge 4.48’de gösterilmektedir. Çizelge 4.48’e göre, EC, S, Cl, Br, $\text{SO}_4^{2-}\text{Na}^+$, K^+ ve Mg^{2+} değişimlerinin Faktör 1 özdeğerine katkısı büyük ($> \%7$) olmuştur. Özdeğer katkısı açısından, Faktör 2’ye bakıldığında ise, bulanıklık, AKM ve renk parametrelerinin (R525 ve R620) daha büyük ($> \%10$) katkısı olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Faktör 3’e bakıldığında ise, NO_3^- , TN, toplam alkalinite ve HCO_3^- parametrelerinin Faktör 2’deki parametreler ile aynı oranda ($> \%10$) eksen özdeğerlerine oransal anlamda katkı sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.49. Toplam özdeğer verileri için scree plot sonucu

Çizelge 4.48. İzlenen su kalitesi parametrelerinin eksen özdeğerlerine oransal katkısı

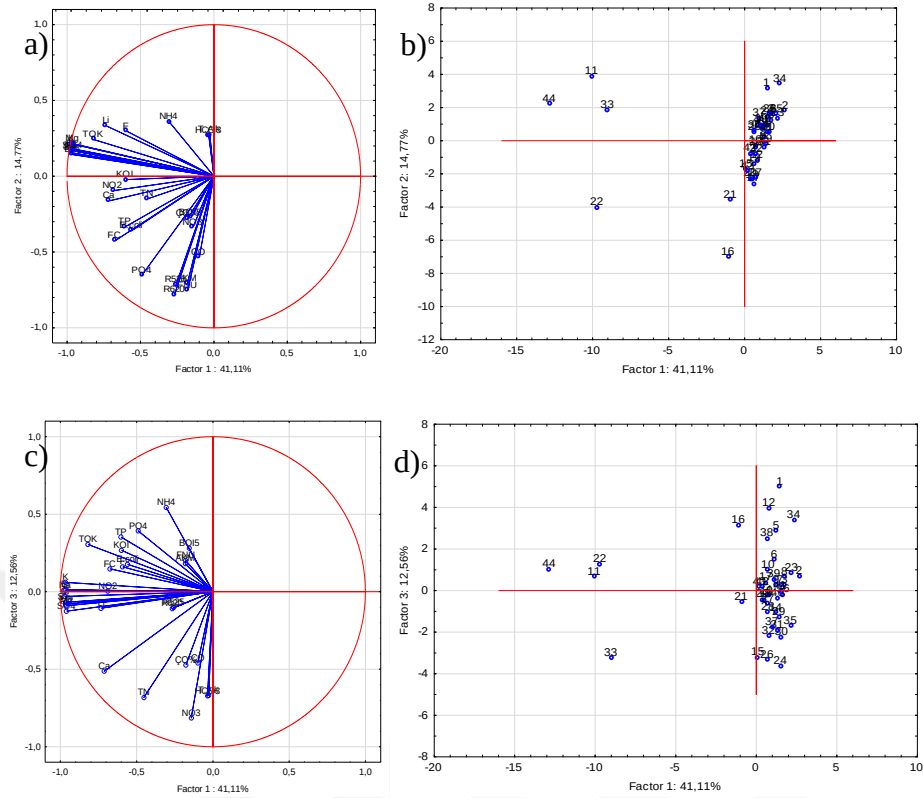
Parametre	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6	Faktör 7
EC	0,076	0,005	0,002	0,001	0,000	0,006	0,003
S%	0,076	0,005	0,001	0,001	0,000	0,007	0,003
ÇO	0,001	0,064	0,056	0,188	0,002	0,018	0,000
ÇO%	0,003	0,018	0,060	0,274	0,013	0,001	0,001
FNU	0,003	0,128	0,011	0,001	0,000	0,134	0,115
AKM	0,003	0,114	0,009	0,001	0,001	0,191	0,106
F	0,028	0,020	0,007	0,029	0,010	0,002	0,093
Cl	0,076	0,007	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
Br	0,075	0,007	0,000	0,000	0,002	0,002	0,004
NO ₂	0,038	0,002	0,000	0,050	0,011	0,070	0,080
NO ₃	0,002	0,026	0,176	0,006	0,026	0,007	0,000
PO ₄	0,019	0,096	0,041	0,007	0,020	0,027	0,002
SO ₄	0,075	0,007	0,004	0,000	0,005	0,001	0,002
Li	0,044	0,025	0,003	0,034	0,050	0,047	0,003
Na	0,076	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001
K	0,076	0,010	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000
NH ₄	0,008	0,029	0,079	0,050	0,108	0,015	0,004
Mg	0,075	0,010	0,002	0,003	0,000	0,003	0,000
Ca	0,041	0,006	0,070	0,003	0,000	0,023	0,005
TOK	0,054	0,013	0,025	0,007	0,006	0,038	0,004
TN	0,017	0,005	0,123	0,040	0,083	0,002	0,008
TP	0,029	0,025	0,033	0,013	0,003	0,005	0,004
KOI	0,029	0,000	0,019	0,069	0,008	0,093	0,004
BOI ₅	0,002	0,017	0,021	0,009	0,001	0,002	0,363
TA	0,000	0,017	0,118	0,056	0,088	0,126	0,016
HCO ₃	0,000	0,016	0,120	0,059	0,087	0,124	0,014
R525	0,005	0,116	0,003	0,026	0,088	0,024	0,074
R620	0,006	0,136	0,003	0,041	0,047	0,000	0,067
FC	0,037	0,041	0,006	0,011	0,127	0,021	0,006
E.Coli	0,025	0,029	0,008	0,016	0,212	0,005	0,014

Toplam varyansın çeyreğinden fazlasını açıklayan ilk Eksen 1 (%41,11), akarsu ağız bölgesinde yer alan 10 nolu örnekleme noktasıyla ilişkili olarak EC, S, Cl, Br, SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ ve Mg^{2+} (faktör koordinatı $> -0,9$) ile çok güçlü ve negatif yönlü; F, NO_2^- , Li, Ca^{2+} , TP, KOİ, fekal koliform ve *Escherichia coli* ($-0,73 < \text{faktör koordinatı} < -0,56$) ile güçlü ve negatif yönlü şekilde yüklenmiştir. Toplam varyansı %14,77 oranında açıklayan Eksen 2, 3.02.2021 tarihli örneklemede YK-1, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı örnekleme noktalarında gözlenen uç değerlerle ilişkili olarak, bulanıklık ve R620 parametreleri (faktör koordinatı $< -0,75$) güçlü ve negatif yönlü şekilde bir değişimle yüklenirken, ÇO, AKM, PO_4^{3-} ve R525 parametreleri ise ($-0,71 < \text{faktör koordinatı} < -0,53$) orta ve negatif yönlü şekilde bir değişimle yüklenmiştir. Toplam varyansı daha az oranda açıklayan (%12,56) Eksen 3 ise, genel olarak en düşük değerlerin gözlemlendiği 1 nolu örnekleme noktası ve 3.02.2021 ile 1.09.2021 tarihli örnekleme noktasında daha yüksek değerlerle ilişkili olarak, NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , TN, toplam alkalinite ve HCO_3^- parametreleriyle güçlü şekilde ($-0,81 < \text{faktör koordinatı} < 0,54$) yüklenmiştir (Çizelge 4.49 ve Şekil 4.50-a, b, c, d).

Çizelge 4.49’da korelasyonlara bağlı faktör yükleri yer almaktadır. Liu vd. (2003), tarafından sınıflandırılan faktör yüklerine göre değerler güçlü, orta ve zayıf şeklinde farklı renklere boyanmıştır.

Çizelge 4.49. Faktör-Değişken korelasyonları (korelasyonlara bağlı faktör yükleri)

Parametre	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6	Faktör 7
EC	-0,968	0,144	-0,079	-0,047	-0,019	0,087	0,054
S%	-0,966	0,155	-0,069	-0,054	-0,008	0,097	0,061
ÇO	-0,099	-0,533	-0,460	0,625	0,058	0,154	0,005
ÇO%	-0,177	-0,279	-0,474	0,754	-0,152	0,034	-0,028
FNU	-0,179	-0,753	0,201	0,052	-0,019	-0,424	0,349
AKM	-0,181	-0,709	0,182	0,047	-0,037	-0,505	0,336
F	-0,593	0,296	0,162	0,247	-0,129	-0,047	-0,315
Cl	-0,971	0,171	-0,030	-0,032	0,004	0,051	0,060
Br	-0,964	0,182	0,012	0,008	0,054	0,056	0,061
NO_2	-0,689	-0,096	0,004	-0,322	-0,136	0,307	0,292
NO_3	-0,142	-0,336	-0,814	-0,115	0,213	0,098	-0,019
PO_4	-0,490	-0,652	0,393	-0,117	-0,184	0,190	0,050
SO_4	-0,961	0,173	-0,126	0,007	0,090	-0,027	0,043
Li	-0,733	0,332	-0,106	0,265	0,292	-0,251	0,056
Na	-0,971	0,169	0,011	0,010	0,011	0,051	0,039
K	-0,967	0,213	0,061	0,062	0,011	-0,039	0,019
NH_4	-0,306	0,361	0,545	-0,321	0,432	-0,144	-0,069
Mg	-0,962	0,216	-0,091	0,078	0,025	-0,063	0,012
Ca	-0,712	-0,162	-0,513	0,080	0,025	0,177	-0,071
TOK	-0,819	0,243	0,305	0,124	0,105	-0,226	-0,068
TN	-0,452	-0,149	-0,682	-0,290	0,379	0,046	0,094
TP	-0,603	-0,333	0,353	-0,165	0,077	0,079	-0,067
KOI	-0,600	-0,022	0,268	0,378	-0,119	-0,353	-0,067
BOI_5	-0,156	-0,273	0,281	0,134	0,033	-0,056	-0,622
TA	-0,027	0,273	-0,668	-0,341	-0,388	-0,411	-0,131
HCO_3	-0,035	0,267	-0,671	-0,350	-0,388	-0,407	-0,123
R525	-0,258	-0,715	-0,103	-0,234	0,389	-0,177	-0,280
R620	-0,267	-0,776	-0,108	-0,292	0,284	-0,014	-0,267
FC	-0,675	-0,427	0,148	-0,154	-0,468	0,169	-0,077
E.Coli	-0,561	-0,360	0,177	-0,184	-0,603	0,085	-0,123



Şekil 4.50. Aksu Çayı’nda su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (b) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (c) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği ve (d) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği

4.3.4. Kendi kendini düzenleyen haritalar (SOM) sonuçları

4.3.4.1. Uygun harita boyutu seçimi

Vesanto ve Alhoniemi (2000), tarafından öne sürülen optimal nöron sayısının bulunma yöntemi ile ($5\sqrt{n} / n = 44$) hesaplama yapılmış ve 34 adet nöron sayısına ulaşılmıştır. Li vd. (2018) tarafından yapılan çalışma referans alınarak uygun harita boyutu için 30 ile 40 nöron sayılarını kapsayan harita boyutları MATLAB R2021a programında denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen QE ve TE değerleri Çizelge 4.50’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.50. Vesanto ve Alhoniemi’ye (2000) göre hesaplanan harita boyutlarına ait hata analizleri

	30 (5X6)	32 (4X8)	35 (5X7)	36 (6X6)	40 (5X8)
QE	0,5865	0,5858	0,5701	0,5769	0,5550
TE	0	0,0227	0,0227	0,0227	0

Vesanto ve Alhoniemi (2000) tarafından sunulan hesaplama yöntemi

doğrultusunda, QE ve TE değeri en az olan 40 (5X8) harita boyutu seçilmiş ve işlemler bu harita boyutu esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

4.3.4.2. Range normalizasyonlu ham-outlier verileri ile oluşturulan SOM sonuçları

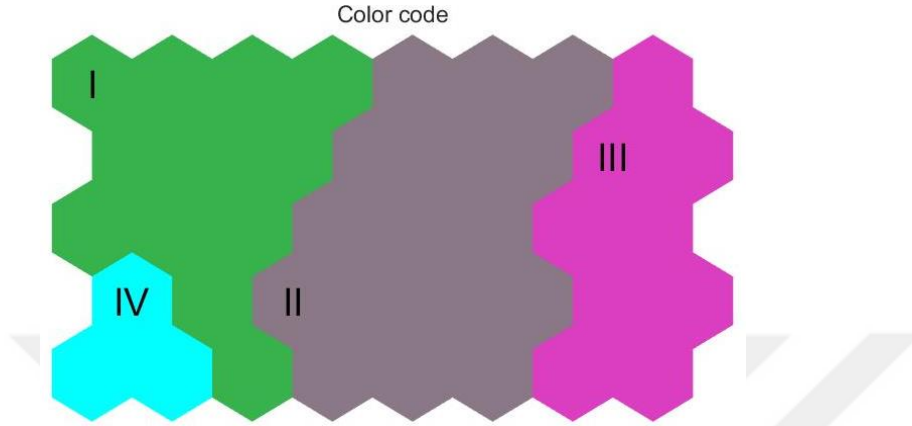
İşlemler, 30 adet su kalitesi parametresi (T, pH, Chl-a, TC, FS, R436 ve CO_3^{2-} hariç) ham-outlier veriler kullanılarak ve Matlab R2021a programında range normalizasyonu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ek olarak 2, 3 ve 4 küme için denemeler yapılmıştır. Oluşturulan bu kümeler ile Statistica programından elde edilen İstasyon (Şekil 4.47) ve Tarihler (Şekil 4.48) kümelemeleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Statistica programı kümeleme analizini zamansal ve mekânsal olarak iki ayrı şekilde oluşturmaktadır. Ancak Kohonen-SOM, zamansal ve mekânsal olarak birlikte değerlendirmeye almaktadır.

Şekil 4.47'deki İstasyon kümelemesinde birinci ana kümede üst-orta-alt bölge şeklinde istasyonların kümelendiği görülürken, ikinci ana kümede 10 numaralı istasyon ayrı bir şekilde kümelendirilmiştir. Kohonen-SOM sonuçlarında da mansap bölümünde yer alan 10. İstasyon tüm kümeleme analizlerinde (2, 3 ve 4 küme) ayrı bir şekilde kümelendirilmiştir. Mevsimler açısından bir karşılaştırma yapıldığında ise, Kohonen-SOM sonuçlarında, ilkbahar mevsiminin (orta bölümü temsil eden 6 numaralı ve mansap bölümü temsil eden 10 numaralı istasyonu hariç) ve yaz mevsiminin (memba bölümünü temsil eden 1 numaralı ve mansap bölümü temsil eden 10 numaralı istasyonu hariç) neredeyse tüm istasyonlarının aynı alt kümede kümelendiği görülmüştür. Benzer şekilde, 10 numaralı istasyon ise tüm mevsimlerde aynı kümede kümelendirilmiştir. Şekil 4.48'te gösterilen Statistica programından elde edilen kümeleme sonuçlarında da birinci ana kümenin ikinci alt kümesinde ilkbahar ve yaz mevsimi birlikte kümelendirirken, kış mevsimi ise ikinci ana kümede ayrı bir şekilde küme oluşturmuştur. Kısacası, mevsimsel ortalama ile oluşturulan veri setinin kümeleme sonucu iki programda da benzer alt kümelerde kapsanmıştır. Aynı şekilde, sonbahar mevsimin (orta bölümü temsil eden 3 ve 4. istasyonlar ile YK1 istasyonu hariç) neredeyse tüm istasyonları ilkbahar, yaz ve kış mevsiminden ayrı bir kümede kümelendirilmiştir. Bu durum hem Kohonen-SOM hem Statistica (Şekil 4.48) sonuçlarında açıkça görülmektedir.

Uygun harita boyutu 5X8 (EK-2) şeklinde seçildikten sonra oluşturulan 40 adet nöron, örnek sayısına göre (44) 4 farklı kümeye ayrılmış ve Şekil 4.51'de sunulan bir dağılım elde edilmiştir.

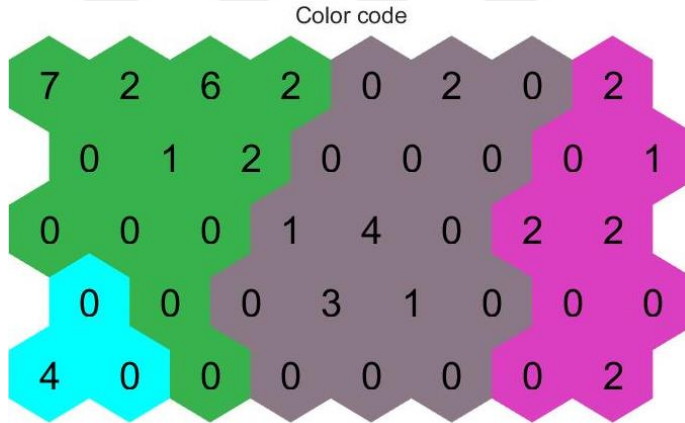
Burada, 1. Küme, orta bölümü temsil eden 6. ve akarsuyun döküldüğü mansap kısmını temsil eden 10. istasyon hariç ilkbahar mevsimine ait verilerin olduğu tüm istasyonları kümelemiştir. Yanı sıra, memba bölümünü temsil eden 1. ve mansap bölümünü temsil eden 10. istasyon hariç tüm yaz mevsimine ait verilerin olduğu istasyonları da kapsamıştır. 2. Küme ise, ilkbahar mevsiminden sadece 6. istasyonu, yaz ve kış mevsiminden akarsuyun memba bölümünü temsil eden 1. istasyonu ve yine kış mevsiminden akarsuyun orta bölümünü temsil eden 4. istasyonunu kapsamıştır. Ek olarak, 2. Kümede, sonbahar mevsiminden akarsuyun üst bölümünü temsil eden 1-2. ve akarsuyun orta bölümü temsil eden 5-6-7. ile akarsuyun dökülmeden önceki bölümlerini temsil eden 8-9. istasyonlar kümelendirilmiştir. 3. Kümede ise, akarsuyun orta bölümünü temsil eden 3-4. istasyonlar ile YK1 istasyonu sonbahar mevsimi verileri olarak kümelendirilmiştir. Kış mevsimine ait istasyonlardan ise, akarsuyun orta bölümünü temsil eden YK1-5-6-7 istasyonları ile akarsuyun dökülmeden önceki bölümlerini temsil eden

8-9. istasyonlarını kümelemiştir. 4. Küme ise, sadece 10. istasyona ait verileri tüm mevsimler (ilkbahar, yaz, sonbahar, kış) açısından kapsamıştır. Kısaca, Kohonen-SOM ile Statistica sonuçları (Şekil 4.47; İstasyonlar ve Şekil 4.48; Tarihler) karşılaştırıldığında, Kohonen-SOM'un 4 kümeye ayrılarak gerçekleştirilmiş analizlerinin Statistica sonuçlarına en benzeyen sonuçları ortaya koyduğu görülmüştür ve bu sebeple 4 küme seçilmiştir.



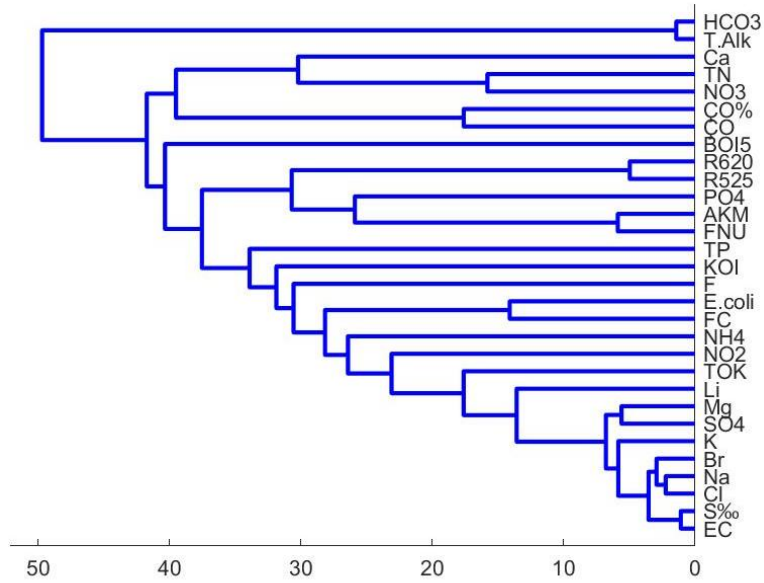
Şekil 4.51. Nöronların örnek sayılarına göre kümelerine ayrılması

Şekil 4.52, benzerliklerine göre nöron başına düşen örnek sayısını göstermektedir. Bu sayının en yüksek 7, en düşük 1 olduğu görülmektedir. Bu 4 kümeye bakıldığında, aslında homojen bir dağılım olmadığı görülmektedir.



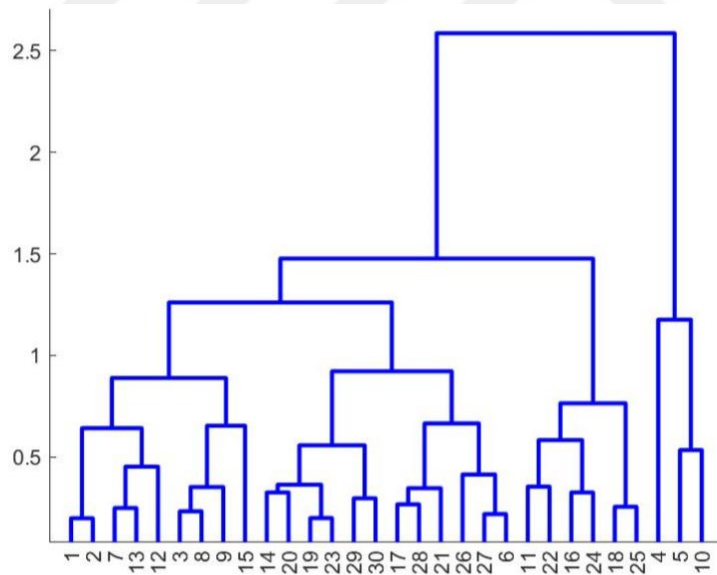
Şekil 4.52. Nöron başına düşen örnek sayısı

Aksu Çayı'ndan elde edilmiş olan 30 adet su kalitesi parametresinin yatay dendrogram (ağaç grafiği) grafiği Şekil 4.53'te gösterilmektedir. Parametreler kendi içlerinde fizikokimyasal ve bakteriyolojik özellikler ile anyon-kasyon gruplarına göre kümeler oluşturmuştur.



Şekil 4.53. Su kalitesi parametrelerinin oluşturduğu dendrogram grafiği

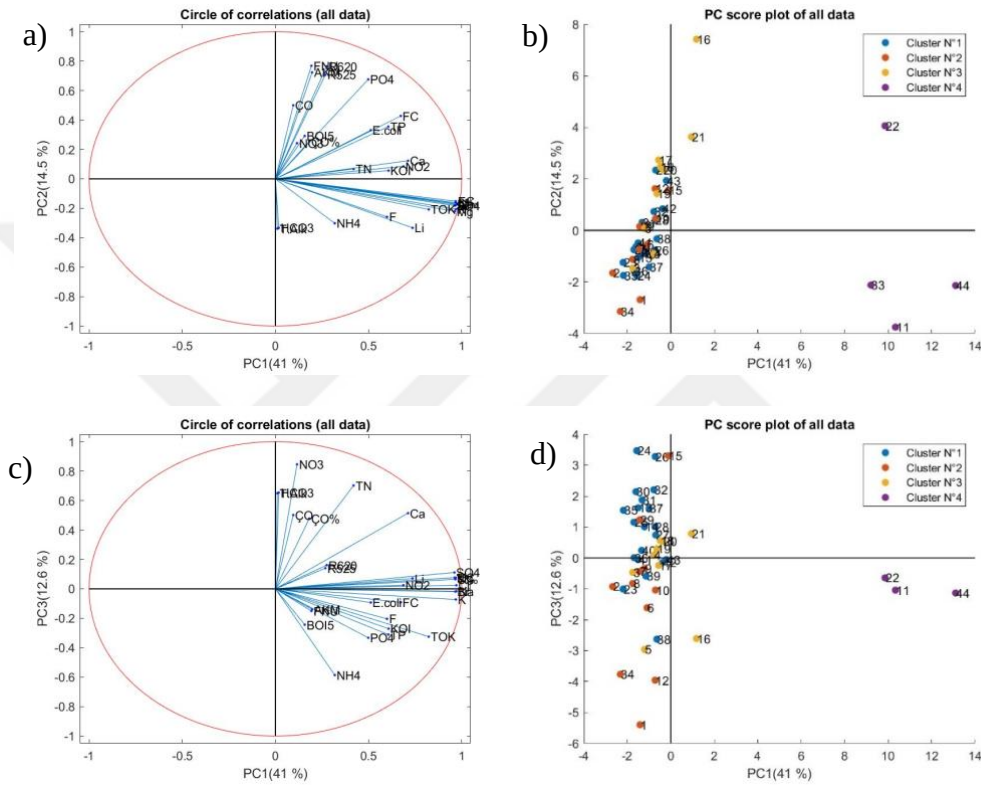
Şekil 4.54, 30 adet nöron için su kalitesi açısından benzerliklerini gösteren kümelenmiş dikey dendrogram grafiğini sunmaktadır. Eksene en yakın olan nöronlardan 1. ve 2. nöronlar korelasyonu en yüksek olan nöronları ifade etmektedir.



Şekil 4.54. 30 adet nöron için oluşturulan dendrogram grafiği

Toplam varyansın çeyreğinden fazlasını açıklayan ilk Eksen 1 (%41), akarsu ağız bölgesinde yer alan 10 nolu örnekleme noktasıyla ilişkili olarak EC, S, Cl, Br, SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ ve Mg^{2+} (faktör koordinatı $< 0,9$) ile çok güçlü ve pozitif yönlü; F, NO_2^- , Li, Ca^{2+} , toplam fosfor, KOİ, fekal koliform ve *Escherichia coli* ($0,56 < \text{faktör koordinatı} < 0,73$) ile güçlü ve pozitif yönlü şekilde yüklenmiştir. Toplam varyansı %14,5 oranında açıklayan Eksen 2, 3.02.2021 tarihli örneklemede YK-1, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı

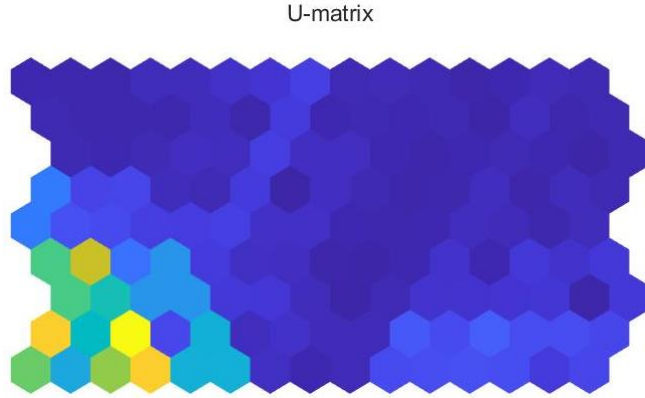
örnekleme noktalarında gözlenen uç değerlerle ilişkili olarak, bulanıklık ve R620 parametreleri (faktör koordinatı $< 0,75$) güçlü ve pozitif yönlü şekilde bir değişimle yüklenirken, ÇO, AKM, PO_4^{3-} ve R525 parametreleri ise ($0,53 < \text{faktör koordinatı} < 0,7$) orta ve pozitif yönlü şekilde bir değişimle yüklenmiştir. Toplam varyansı daha az oranda açıklayan (%12,6) Eksen 3 ise, genel olarak en düşük değerlerin gözlemlendiği 1 nolu örnekleme noktası ve 3.02.2021 ile 1.09.2021 tarihli örneklemlerde çoğu örnekleme noktasında daha yüksek değerlerle ilişkili olarak, NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , TN, toplam alkalinite ve HCO_3^- parametreleriyle güçlü şekilde ($-0,54 < \text{faktör koordinatı} < 0,81$) yüklenmiştir (Şekil 4.55-a, b, c, d).



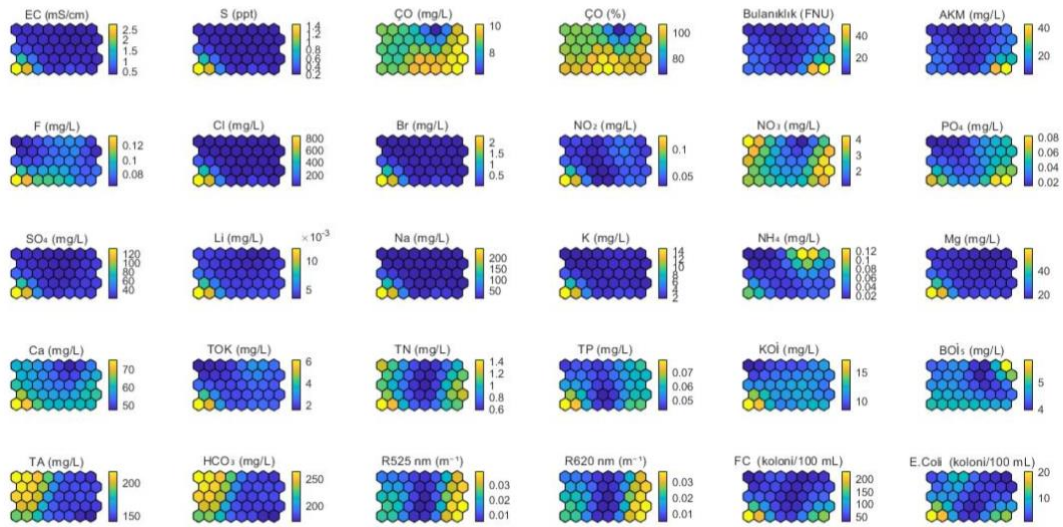
Şekil 4.55. Aksu Çayı’nda su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (b) ölçümlerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (c) parametrelerin PC-1 ve PC-3 grafiği ve (d) ölçümlerin PC-1 ve PC-3 grafiği

Birleşik Uzaklık Matrisi (U-matris) algoritması ile SOM birimleri arasındaki alt grup sınırları Şekil 4.56’daki gibi belirlenmiştir. U matrisindeki komşu düğümler arasındaki yakınlık, haritada renklerle gösterilen Öklid mesafesine göre MATLAB R2021a programında oluşturulmuştur. Haritaya göre, sol-alt bölge hariç, genel olarak U-Matris’in mavi renklere (yakın olan düğümlerden oluştuğu) hâkim olduğu görülmektedir.

Şekil 4.57’deki her bir su kalitesi parametresi için oluşturulan SOM haritaları yer almaktadır. EC ve S parametreleri SOM haritalarında anyon-kasyon gruplarıyla (Cl^- , Br^- , Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}), SO_4 ve TOK parametreleri ile benzer desenler oluşturmuştur. Bu parametrelerin her birinde de sol-alt bölge turuncu bir renk kümesi oluşturmuş ve aynı yönlü korelasyon sergilemişlerdir. ÇO-%ÇO, Renk parametreleri (R-525, R-620) ve Fekal Koliform-E. Coli parametreleri de kendi aralarında benzer renk desenleri oluşturmuştur ve pozitif yönlü korelasyonlara sahiptir.



Şekil 4.56. Aksu Çayı verilerine göre oluşturulan U-Matrix



Şekil 4.57. Aksu Çayı'na ait su kalitesi parametreleri için oluşturulan SOM haritaları

4.4. Altınova Bölgesi YAS Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistik Yöntemleriyle Test Edilmesi Çalışmaları

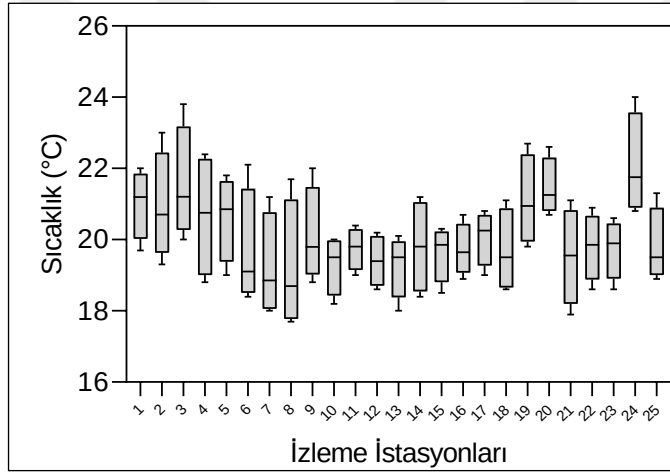
4.4.1. Su kalitesini tanımlayıcı istatistikler

Altınova Bölgesi'nde gerçekleştirilen su kalitesi izleme çalışmaları kapsamında hem örnekleme noktalarından elde edilen ölçümler hem de T.C. Sağlık Bakanlığı, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu'na bağlı olan Antalya Halk Sağlığı Müdürlüğü-Halk Sağlığı Laboratuvarı'nda yapılan detaylı su kalitesi analiz çalışmaları ile çalışma alanına ait su kalitesi verileri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen 25 örnekleme noktasında saha ölçümleri kapsamında T, TDS, pH, ÇÖ, EC, S, bulanıklık, NO₃⁻, derinlik parametreleri ölçülmüş olup, analiz sonuçları kapsamında ise Koliform bakteri, Enterokok, *Escherichia Coli*, Fe, B, Cr, Ni, Mn, Na⁺, As, Se, Al, SO₄²⁻, Cl, F, Mg²⁺, Si, K⁺, Ca²⁺, Zn, Toplam Pestisit, TOK ve Ba parametrelerine ait ölçüm ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Ancak saha ölçümleri kapsamında tüm istasyonlarda ve Ağustos 2015'te derinlik, Mayıs 2016'da ise ÇÖ ve bulanıklık verisi elde edilememiştir. Tüm

istasyonlarda ve Kasım 2015’de Mg^{2+} , Si, K^+ , Ca^{2+} , Zn ve Ba verisi elde edilememiştir. Bu sebeple, bazı dönemlerde numune alınamamasından ötürü analizlerin gerçekleştirilemediği durumlar ortaya çıkmıştır. Saha verileri Ağustos 2015-Kasım 2015-Şubat 2016-Mayıs 2016 dönemlerine ait verileri içermekte olup toplamda 4 dönem için veri seti oluşturmaktadır. Ancak analiz sonuçları verileri Kasım 2015-Mayıs 2016 dönemlerine ait verileri içermekte olup toplamda 2 dönem için veri seti oluşturduğu için tanımlayıcı istatistiklerin daha açıklayıcı olabilmesi amacıyla saha verilerine ait parametrelerin kullanılmasına karar verilmiştir.

- **Sıcaklık (T)**

Altınova Bölgesi’nde Ağustos 2015-Kasım 2015-Şubat 2016-Mayıs 2016 dönemleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışma süresince en düşük su sıcaklığı İst-8’de ($17,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve en yüksek su sıcaklığı ise İst-24’te ($24\text{ }^{\circ}\text{C}$) ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama su sıcaklıkları sırasıyla $19,2 \pm 1,82\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $22,08 \pm 1,43\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.58 ve Çizelge 4.51). Çizelge 4.51’de T için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.58. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre su sıcaklığının ($^{\circ}\text{C}$) değişimi

- **Toplam Çözünmüş Madde (TDS)**

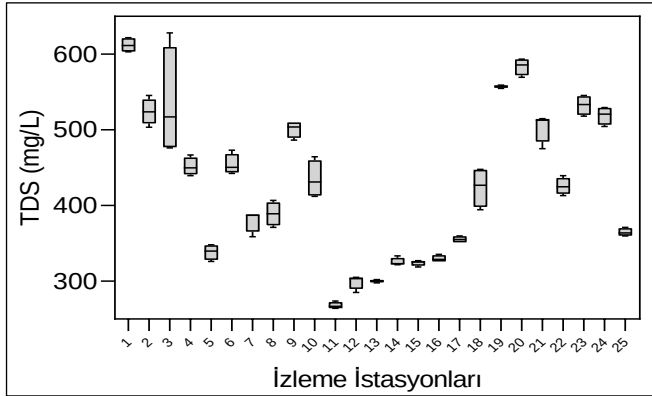
Altınova Bölgesi’nde Ağustos 2015-Kasım 2015-Şubat 2016-Mayıs 2016 dönemleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışma süresince en düşük TDS İst-11’de ($264,3\text{ mg/L}$) ve en yüksek TDS ise İst-3’te ($628,3\text{ mg/L}$) ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama TDS değerleri sırasıyla $268 \pm 4,24\text{ mg/L}$ ile $534,60 \pm 71,86\text{ mg/L}$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.59 ve Çizelge 4.52). Çizelge 4.52’de TDS için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 4.51. Araştırma dönemi içerisinde su sıcaklığının (°C) istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10	İst 11	İst 12	İst 13	İst 14	İst 15	İst 16	İst 17	İst 18	İst 19	İst 20	İst 21	İst 22	İst 23	İst 24	İst 25
Min	19,70	19,30	20,00	18,80	19,00	18,40	18,00	17,70	18,80	18,20	19,00	18,60	18,00	18,40	18,50	18,90	19,00	18,60	19,80	20,70	17,90	18,60	18,60	20,80	18,90
Max	22,00	23,00	23,80	22,40	21,80	22,10	21,20	21,70	22,00	20,00	20,40	20,20	20,10	21,20	20,30	20,70	20,80	21,10	22,70	22,60	21,10	20,90	20,60	24,00	21,30
Ort	21,03	20,93	21,55	20,68	20,63	19,68	19,23	19,20	20,10	19,30	19,75	19,40	19,28	19,80	19,63	19,73	20,08	19,68	21,10	21,45	19,53	19,80	19,75	22,08	19,80
SS	0,97	1,54	1,61	1,75	1,21	1,67	1,48	1,82	1,35	0,84	0,60	0,73	0,90	1,32	0,79	0,74	0,77	1,19	1,28	0,82	1,36	0,95	0,84	1,43	1,05

Çizelge 4.52. Araştırma dönemi içerisinde TDS (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

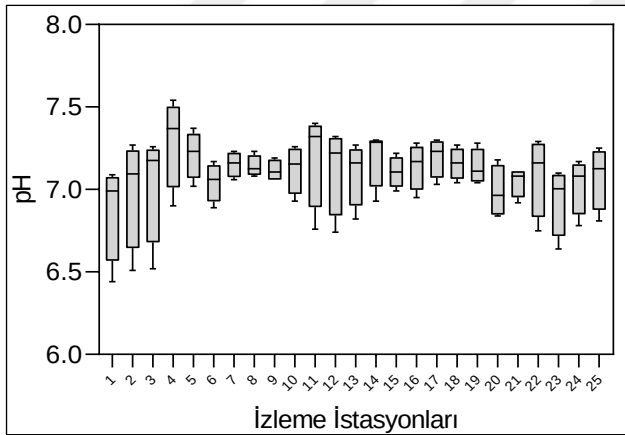
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10	İst 11	İst 12	İst 13	İst 14	İst 15	İst 16	İst 17	İst 18	İst 19	İst 20	İst 21	İst 22	İst 23	İst 24	İst 25
Min	603,10	503,40	476,20	439,50	326,20	442,60	358,70	371,30	486,70	412,20	264,30	285,30	297,90	322,00	318,80	326,20	351,40	394,40	554,80	569,50	475,10	413,20	518,10	504,50	359,80
Max	622,00	545,40	628,30	466,70	348,20	473,00	388,10	407,00	509,70	464,60	273,80	305,20	302,10	333,50	327,20	335,60	359,80	447,90	559,00	593,60	515,00	439,50	545,40	529,70	371,30
Ort	612,00	524,20	534,60	451,50	338,50	454,10	380,20	389,10	501,10	434,70	268,00	299,40	300,20	325,40	324,40	329,90	355,30	424,00	557,20	583,70	504,00	425,60	532,50	518,90	364,70
SS	9,78	17,13	71,86	11,79	10,07	13,29	14,37	15,75	11,04	24,90	4,24	9,48	1,79	5,44	3,77	4,57	4,56	26,46	1,79	11,18	19,26	11,05	13,33	11,88	5,44



Şekil 4.59. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre TDS değişimi

- **pH**

Altınova Bölgesi'nde Ağustos 2015-Kasım 2015-Şubat 2016-Mayıs 2016 dönemleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışma süresince en düşük pH İst-1'de (6,44) ve en yüksek pH ise İst-5'te (7,37) ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama pH değerleri sırasıyla $6,88 \pm 0,30$ ile $7,21 \pm 0,14$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.60 ve Çizelge 4.53). Çizelge 4.53'te pH için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.60. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre pH değişimi

- **Çözülmüş Oksijen (ÇO)**

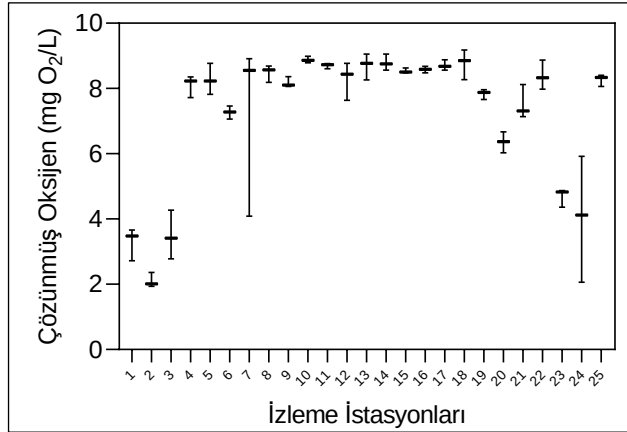
Altınova Bölgesi'nde Ağustos 2015-Kasım 2015-Şubat 2016-Mayıs 2016 dönemleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışma süresince en düşük ÇO İst-2'de (1,94 mg/L) ve en yüksek ÇO ise İst-18'de (9,18 mg/L) ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama ÇO değerleri sırasıyla $2,10 \pm 0,23$ mg/L ile $8,77 \pm 0,46$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.61 ve Çizelge 4.54). Çizelge 4.54'te ÇO için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 4.53. Araştırma dönemi içerisinde pH parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10	İst 11	İst 12	İst 13	İst 14	İst 15	İst 16	İst 17	İst 18	İst 19	İst 20	İst 21	İst 22	İst 23	İst 24	İst 25
Min	6,44	6,51	6,52	6,90	7,02	6,89	7,06	7,08	7,06	6,93	6,76	6,74	6,82	6,93	6,99	6,95	7,03	7,04	7,04	6,84	6,92	6,75	6,64	6,78	6,81
Max	7,09	7,27	7,26	7,54	7,37	7,17	7,23	7,23	7,19	7,26	7,40	7,32	7,27	7,30	7,22	7,28	7,30	7,27	7,28	7,18	7,11	7,29	7,10	7,17	7,25
Ort	6,88	6,99	7,03	7,30	7,21	7,05	7,15	7,14	7,12	7,13	7,20	7,13	7,10	7,20	7,11	7,14	7,20	7,16	7,14	6,99	7,05	7,09	6,94	7,03	7,08
SS	0,30	0,33	0,34	0,28	0,14	0,12	0,08	0,06	0,07	0,15	0,30	0,27	0,20	0,18	0,09	0,14	0,12	0,10	0,11	0,16	0,09	0,24	0,21	0,17	0,19

Çizelge 4.54. Araştırma dönemi içerisinde ÇO (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

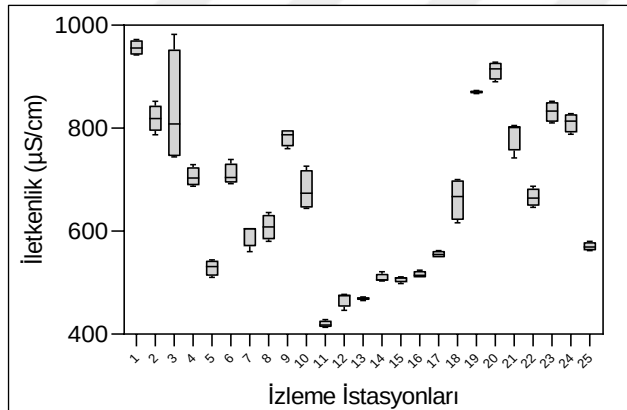
	İst1	İst 2	İst 3	İst 4	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10	İst 11	İst 12	İst 13	İst 14	İst 15	İst 16	İst 17	İst 18	İst 19	İst 20	İst 21	İst 22	İst 23	İst 24	İst 25
Min	2,72	1,94	2,78	7,72	7,82	7,06	4,09	8,19	8,06	8,79	8,60	7,64	8,26	8,56	8,48	8,48	8,56	8,27	7,66	6,03	7,14	7,98	4,36	2,06	8,06
Max	3,66	2,36	4,27	8,35	8,77	7,46	8,91	8,69	8,36	8,99	8,76	8,77	9,05	9,05	8,63	8,68	8,88	9,18	7,96	6,67	8,12	8,87	4,87	5,92	8,40
Ort	3,29	2,10	3,49	8,10	8,27	7,27	7,18	8,48	8,17	8,88	8,70	8,28	8,69	8,79	8,54	8,58	8,71	8,77	7,83	6,36	7,52	8,39	4,69	4,03	8,27
SS	0,50	0,23	0,75	0,33	0,48	0,20	2,69	0,26	0,16	0,10	0,09	0,58	0,40	0,25	0,08	0,10	0,16	0,46	0,16	0,32	0,52	0,45	0,28	1,93	0,18



Şekil 4.61. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre ÇÖ değışimi

- **Elektriksel İletkenlik (EC)**

Altınova Bölgesi'nde Ağustos 2015-Kasım 2015-Şubat 2016-Mayıs 2016 dönemleri arasında yürütölen 12 aylık saha çalışma süresince en düşük EC İst-11'de ($413,00 \mu\text{S}/\text{cm}$) ve en yüksek EC ise İst-3'te ($982,00 \mu\text{S}/\text{cm}$) ölçölmüştür. İstasyonlardaki ortalama EC değeri sırasıyla $419,00 \pm 6,68 \mu\text{S}/\text{cm}$ ile $835,50 \pm 112,30 \mu\text{S}/\text{cm}$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.62 ve Çizelge 4.55). Çizelge 4.55'de EC için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değeri sunulmaktadır.



Şekil 4.62. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre EC değışimi

- **Tuzluluk (S)**

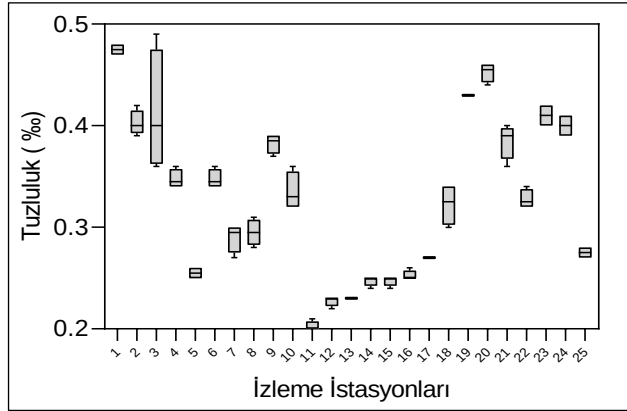
Altınova Bölgesi'nde Ağustos 2015-Kasım 2015-Şubat 2016-Mayıs 2016 dönemleri arasında yürütölen 12 aylık saha çalışma süresince en düşük S İst-11'de ($0,20 \text{ ppt}$) ve en yüksek su sıcaklığı ise İst-3'te ($0,49 \text{ ppt}$) ölçölmüştür. İstasyonlardaki ortalama S değeri sırasıyla $0,20 \pm 0,01 \text{ ppt}$ ile $0,41 \pm 0,06 \text{ ppt}$ arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.63 ve Çizelge 4.56). Çizelge 4.56'da S için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değeri sunulmaktadır.

Çizelge 4.55. Araştırma dönemi içerisinde EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10	İst 11	İst 12	İst 13	İst 14	İst 15	İst 16	İst 17	İst 18	İst 19	İst 20	İst 21	İst 22	İst 23	İst 24	İst 25
Min	942,00	787,00	744,00	687,00	510,00	692,00	560,00	580,00	760,00	644,00	413,00	446,00	465,00	503,00	498,00	510,00	549,00	616,00	867,00	890,00	742,00	646,00	810,00	788,00	562,00
Max	972,00	852,00	982,00	729,00	544,00	739,00	606,00	636,00	796,00	726,00	428,00	477,00	472,00	521,00	511,00	524,00	562,00	700,00	873,00	928,00	805,00	687,00	852,00	828,00	580,00
Ort	956,30	819,00	835,50	705,50	529,00	709,80	593,80	608,00	782,50	679,30	419,00	468,00	469,00	508,50	506,80	515,50	555,00	662,50	870,50	912,00	787,30	665,30	832,00	810,80	570,00
SS	15,46	26,55	112,30	18,30	15,51	20,56	22,54	24,56	17,23	38,76	6,68	14,72	2,94	8,39	5,97	6,81	6,98	41,54	2,65	17,51	30,23	17,29	20,64	18,71	8,49

Çizelge 4.56. Araştırma dönemi içerisinde S (ppt) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

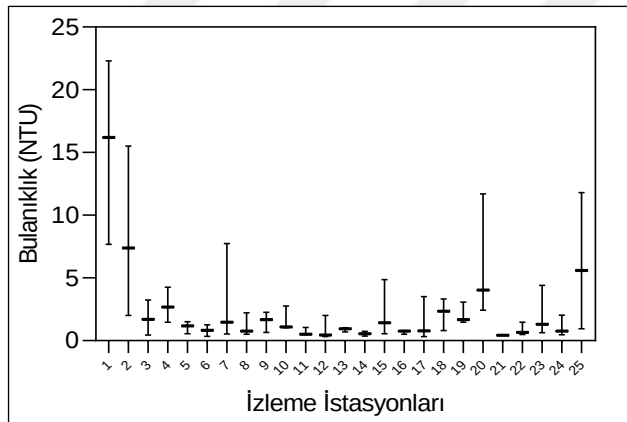
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10	İst 11	İst 12	İst 13	İst 14	İst 15	İst 16	İst 17	İst 18	İst 19	İst 20	İst 21	İst 22	İst 23	İst 24	İst 25
Min	0,47	0,39	0,36	0,34	0,25	0,34	0,27	0,28	0,37	0,32	0,20	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,27	0,30	0,43	0,44	0,36	0,32	0,40	0,39	0,27
Max	0,48	0,42	0,49	0,36	0,26	0,36	0,30	0,31	0,39	0,36	0,21	0,23	0,23	0,25	0,25	0,26	0,27	0,34	0,43	0,46	0,40	0,34	0,42	0,41	0,28
Ort	0,48	0,40	0,41	0,35	0,26	0,35	0,29	0,30	0,38	0,34	0,20	0,23	0,23	0,25	0,25	0,25	0,27	0,32	0,43	0,45	0,39	0,33	0,41	0,40	0,28
SS	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01



Şekil 4.63. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre S değişimi

• Bulanıklık (NTU)

Altınova Bölgesi'nde Ağustos 2015-Kasım 2015-Şubat 2016-Mayıs 2016 dönemleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışma süresince en düşük bulanıklık İst-17'de (0,32 NTU) ve en yüksek bulanıklık ise İst-1'de (22,30 NTU) ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama bulanıklık değerleri sırasıyla $1,54 \pm 1,72$ NTU ile $15,39 \pm 7,34$ NTU arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.64 ve Çizelge 4.57). Çizelge 4.57'de bulanıklık için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.64. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre bulanıklık değişimi

• Nitrat (NO_3)

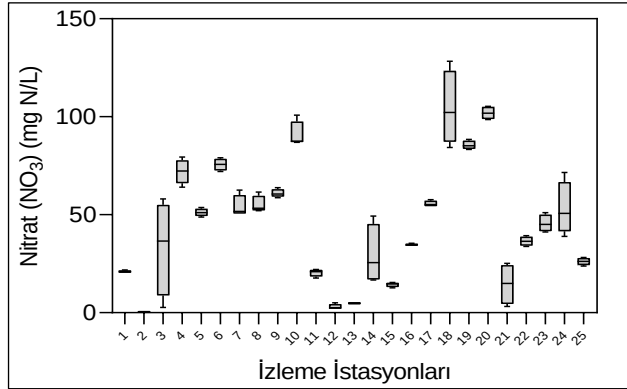
Altınova Bölgesi'nde Ağustos 2015-Kasım 2015-Şubat 2016-Mayıs 2016 dönemleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışma süresince en düşük NO_3^- İst-2'de (0,20 mg/L) ve en yüksek NO_3^- ise İst-18'de (128,30 mg/L) ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama NO_3^- değerleri sırasıyla $0,34 \pm 0,17$ mg/L ile $104,30 \pm 18,88$ mg/L arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.65 ve Çizelge 4.58). Çizelge 4.58'de NO_3^- için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 4.57. Araştırma dönemi içerisinde bulanıklık (NTU) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10	İst 11	İst 12	İst 13	İst 14	İst 15	İst 16	İst 17	İst 18	İst 19	İst 20	İst 21	İst 22	İst 23	İst 24	İst 25
Min	7,68	2,01	0,45	1,47	0,55	0,35	0,54	0,52	0,66	1,03	0,48	0,33	0,70	0,37	0,55	0,51	0,32	0,80	1,46	2,43	0,43	0,48	0,63	0,47	0,95
Max	22,30	15,50	3,23	4,25	1,50	1,26	7,74	2,21	2,27	2,75	1,05	2,00	1,04	0,74	4,87	0,80	3,51	3,32	3,08	11,70	0,47	1,46	4,41	2,04	11,80
Ort	15,39	8,30	1,79	2,80	1,08	0,81	3,25	1,16	1,53	1,63	0,68	0,93	0,90	0,55	2,28	0,69	1,54	2,15	2,07	6,05	0,44	0,86	2,11	1,09	6,12
SS	7,34	6,79	1,39	1,39	0,48	0,46	3,92	0,91	0,81	0,97	0,32	0,93	0,18	0,19	2,28	0,16	1,72	1,27	0,88	4,96	0,02	0,52	2,02	0,83	5,44

Çizelge 4.58. Araştırma dönemi içerisinde NO_3^- (mg/L) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

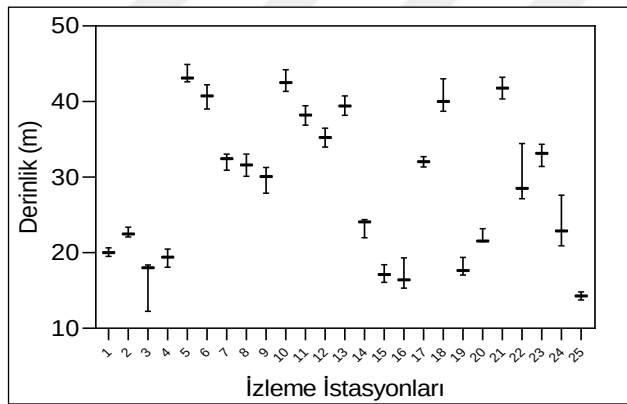
	İst 1	İst 2	İst 3	İst 4	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10	İst 11	İst 12	İst 13	İst 14	İst 15	İst 16	İst 17	İst 18	İst 19	İst 20	İst 21	İst 22	İst 23	İst 24	İst 25
Min	20,30	0,20	2,66	64,10	48,85	72,00	50,50	52,00	58,70	86,98	17,71	2,22	4,70	16,65	12,70	34,25	54,25	84,30	83,30	98,56	3,13	33,80	41,20	38,92	23,85
Max	21,76	0,59	58,05	79,47	53,70	79,05	62,50	61,52	63,85	100,90	22,10	5,12	4,94	49,25	15,41	35,47	57,68	128,30	88,40	105,30	25,20	39,25	51,00	71,60	28,20
Ort	20,95	0,34	33,47	72,02	51,20	75,61	54,12	55,04	60,89	90,69	20,45	2,99	4,82	29,24	14,39	34,67	55,55	104,30	85,54	101,90	14,55	36,49	45,60	52,98	26,11
SS	0,72	0,17	24,12	6,30	1,99	3,16	5,67	4,41	2,15	6,78	1,95	1,42	0,10	15,43	1,24	0,56	1,60	18,88	2,25	3,39	10,50	2,38	4,46	13,63	1,88



Şekil 4.65. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre NO_3^- değişimi

• Derinlik

Altınova Bölgesi'nde Ağustos 2015-Kasım 2015-Şubat 2016-Mayıs 2016 dönemleri arasında yürütülen 12 aylık saha çalışma süresince en düşük derinlik İst-3'te (12,24 m) ve en yüksek derinlik ise İst-5'te (44,91 m) ölçülmüştür. İstasyonlardaki ortalama derinlik değerleri sırasıyla $16,21 \pm 3,447$ m ile $43,54 \pm 1,212$ m arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.66 ve Çizelge 4.59). Çizelge 4.59'da derinlik için minimum (Min), maksimum (Max), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.66. Araştırma dönemi içerisinde izleme istasyonlarına göre derinlik değişimi

4.4.2. Kasım 2015 dönemi YAS kalitesi izleme verilerinin istatistiksel analizi

4.4.2.1. Korelasyon analizi

Altınova bölgesinin Kasım 2015 dönemine ait saha ve analiz ölçümü sonuçlarından elde edilen veri seti ile 25 adet parametre için Statistica Statsoft 12 programında korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Ancak pestisit parametresine ait veri sayısının yetersiz olmasından dolayı çıkarılmış olup kalan 24 adet parametre ile işlem gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.60).

Çizelge 4.59. Araştırma dönemi içerisinde derinlik (m) parametresinin istasyonlara göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

	İst1	İst 2	İst 3	İst 4	İst 5	İst 6	İst 7	İst 8	İst 9	İst 10	İst 11	İst 12	İst 13	İst 14	İst 15	İst 16	İst 17	İst 18	İst 19	İst 20	İst 21	İst 22	İst 23	İst 24	İst 25
Min	19,52	22,09	12,24	18,09	42,60	39,02	30,90	30,13	27,87	41,36	36,88	33,99	38,19	21,97	16,09	15,31	31,35	38,70	17,05	21,49	40,34	27,15	31,41	20,91	13,76
Max	20,65	23,40	18,40	20,49	44,91	42,23	33,04	33,04	31,27	44,20	39,46	36,47	40,76	24,37	18,43	19,33	32,73	43,00	19,37	23,17	43,22	34,45	34,35	27,63	14,80
Ort	20,06	22,66	16,21	19,33	43,54	40,66	32,13	31,59	29,74	42,69	38,18	35,24	39,46	23,47	17,21	17,02	32,04	40,57	18,03	22,07	41,78	30,04	32,97	23,81	14,28
SS	0,57	0,67	3,45	1,20	1,21	1,61	1,11	1,46	1,73	1,43	1,29	1,24	1,29	1,31	1,17	2,08	0,98	2,21	1,20	0,95	1,44	3,88	1,48	3,45	0,74

Çizelge 4.60. 24 adet su kalitesi parametresi için Statistica StatSoft 12 programında oluşturulan korelasyon matrisi

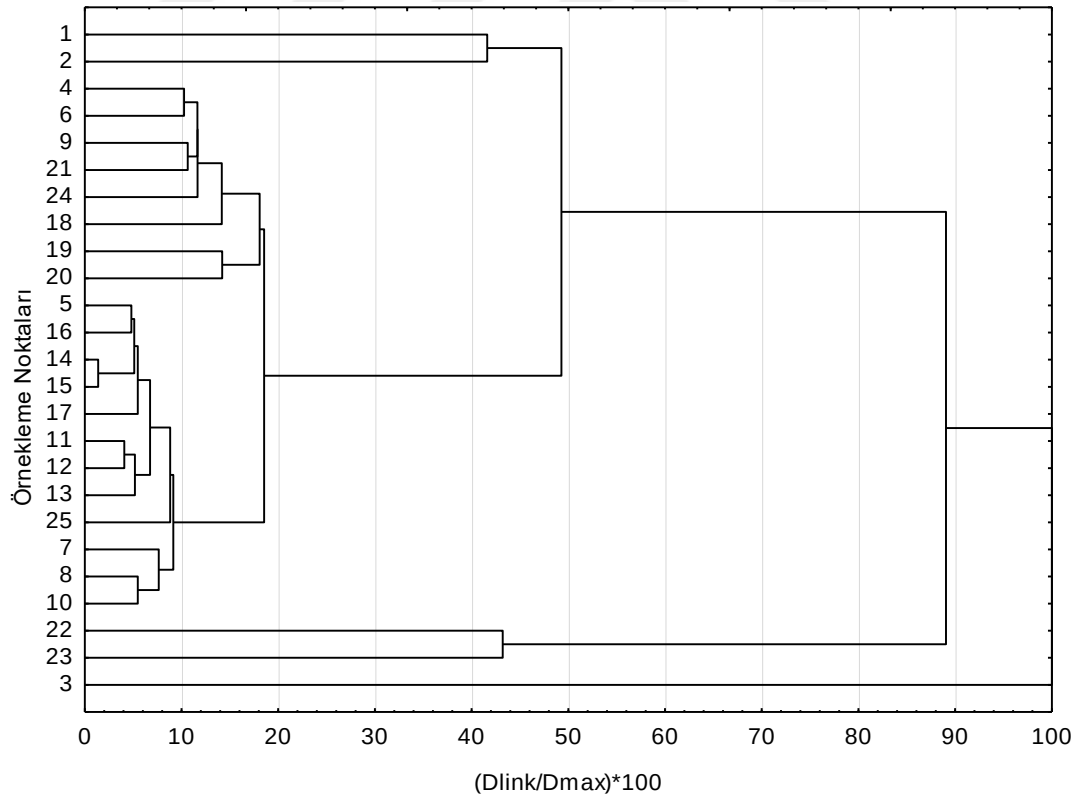
	T	TDS	pH	ÇO	EC	S‰	NTU	NO ₃	E. Coli	Koliform	Enterekok	Fe	B	Cr	Mn	Na	Se	Al	SO ₄	Cl	F	TOK
T	1																					
TDS	0,63	1																				
pH	-0,32	-0,59	1																			
ÇO	-0,73	-0,71	0,42	1																		
EC	0,63	1,00	-0,59	-0,71	1																	
S‰	0,63	1,00	-0,59	-0,71	1,00	1																
NTU	0,47	0,49	-0,27	-0,63	0,49	0,49	1															
NO ₃	-0,09	0,37	-0,06	0,22	0,37	0,36	-0,21	1														
E. Coli	0,30	0,32	-0,28	-0,39	0,32	0,32	0,85	-0,17	1													
Koliform	0,41	0,32	-0,09	-0,46	0,32	0,32	-0,02	0,03	-0,02	1												
Enterekok	0,00	0,04	-0,16	-0,09	0,04	0,04	-0,16	0,00	0,05	0,46	1											
Fe	0,48	0,48	-0,17	-0,74	0,48	0,49	0,96	-0,27	0,72	0,05	-0,17	1										
B	-0,25	0,22	-0,28	0,06	0,22	0,22	-0,14	0,09	-0,12	-0,05	0,06	-0,13	1									
Cr	-0,01	0,06	0,26	0,31	0,06	0,06	-0,14	0,33	-0,18	-0,26	-0,22	-0,20	0,13	1								
Mn	0,33	0,26	0,02	-0,66	0,26	0,26	0,50	-0,32	0,08	0,00	-0,12	0,70	-0,11	-0,28	1							
Na	0,38	0,83	-0,51	-0,65	0,83	0,83	0,29	0,27	0,16	0,42	0,35	0,34	0,49	0,02	0,31	1						
Se	0,36	0,58	-0,46	-0,48	0,58	0,58	0,07	0,25	0,16	0,67	0,40	0,05	0,23	-0,06	-0,16	0,65	1					
Al	0,40	0,45	-0,09	-0,44	0,45	0,45	0,81	-0,01	0,67	-0,09	-0,16	0,75	-0,19	0,13	0,30	0,20	0,06	1				
SO ₄	0,72	0,76	-0,38	-0,83	0,76	0,76	0,73	-0,05	0,62	0,36	-0,02	0,74	-0,06	-0,19	0,37	0,55	0,42	0,54	1			
Cl	0,60	0,84	-0,43	-0,68	0,84	0,84	0,37	0,36	0,14	0,45	0,08	0,41	0,06	0,10	0,35	0,76	0,59	0,30	0,55	1		
F	0,52	0,46	-0,04	-0,68	0,46	0,46	0,23	-0,17	-0,05	0,41	0,01	0,42	0,19	-0,21	0,62	0,51	0,34	0,06	0,59	0,45	1	
TOK	0,50	0,75	-0,47	-0,63	0,75	0,75	0,46	0,16	0,25	0,25	0,22	0,49	0,11	-0,07	0,39	0,72	0,40	0,40	0,58	0,66	0,37	1

Çizelge 4.60'a göre, toplam çözünmüş katı parametresi ile S ve EC parametreleri %100 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon oluşturmuştur. Benzer şekilde, bulanıklık ile Fe parametresi %95,7 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü korelasyon göstermiştir. EC ile S parametreleri, anyon-kasyon gruplarından Na^+ ve Cl^- parametrelerinin yanı sıra SO_4^{2-} parametresi ile %76,2-84,4 oranında güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, *Escherichia Coli* parametresi, anyon-kasyon gruplarından Fe, Al parametreleri ile SO_4^{2-} parametresi arasında %61,8-71,6 oranında orta düzeyde ve pozitif yönlü korelasyon sonuçlarını ortaya koymuştur. Ek olarak, ÇO parametresi, SO_4^{2-} parametresi ile %82,7 oranında güçlü ve negatif yönlü korelasyon göstermiştir.

4.4.2.2. Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) sonuçları

Altınova Bölgesi'ndeki zamansal ve mekânsal değişimlerdeki benzerlikleri ve farklılıkları anlamak amacıyla HCA kullanılmıştır. Bağlantı mesafelerinin $D_{\text{link}}/D_{\text{max}}$ olarak ifade edileceği kümeleme için Wards yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizde uzaklık katsayısı olarak, Öklidyen Mesafesi (Euclidean Distance) belirlenmiştir. İncelenen 25 adet su kalitesi parametresi için ham veri seti kullanılmış ve Statistica StatSoft 12 Programında uygulamalar gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar Şekil 4.67'de yer almaktadır.

HCA Altınova Bölgesi'nde tayin edilen su kalitesi parametrelerine bağlı olarak izlenen örnekleme noktalarının sergilediği heterojeniteyi ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.67).



Şekil 4.67. Altınova Bölgesi'nde izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı HCA dendrogram grafiği

HCA Altınova Bölgesi'nde tayin edilen 25 adet su kalitesi parametresine bağlı olarak izlenen örnekleme noktalarının sergilediği heterojeniteyi ortaya çıkarmıştır (Şekil 1). HCA, örnekleme noktalarını $D_{link}/D_{max} * 100 < 50$ istatistiksel anlamlılık düzeyinde üç ana kümeye gruplandırmıştır.

Birinci ana küme kendi içinde iki ayrı alt küme oluşturmuş olup, birinci alt kümede sağ ve alt bölümde yer alan karstik yapılı bölgeyi temsil eden kuyuları kümelemiştir. İkinci alt küme ise kuyuları kendi içinde kirlilik açısından benzerliklerine göre gruplamıştır.

İkinci ana küme, alt ve orta bölgede yer alan karstik yapılı örnekleme noktalarını temsil eden kuyulardan yalnızca iki adet kuyuyu (22 ve 23) gruplandırmıştır.

Üçüncü ana küme, alt bölgeyi temsil eden kuyulardan yalnızca üç numaralı kuyuyu kümelemiş olup, bölgenin çakıtaşı, kumtaşı, çamurtaşı özelliklerine sahip olduğu bilinmektedir. Tek başına kümelenen bu kuyunun bölgenin karstik yapılı alanına yakın olması; kuyu derinliğinin ise 57-65 m arasında bulunması sebebiyle kirlenmeye daha çok maruz kalabileceği düşünülmektedir.

Altınova Bölgesi'nde gerçekleştirilen mekânsal analizde uzaklık katsayısı olarak Öklidyen mesafesi kullanılmıştır. HCA'da belirlenen istasyonlar arasındaki mesafeler ise Çizelge 4.61'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.61'e göre birbirine en yakın benzerlik, 15 ve 14 numaralı örnekleme noktaları (Öklid Mesafesi: 9) arasında gözlenirken, en uzak benzerlik ise 11 ve 3 numaralı örnekleme noktaları (Öklid Mesafesi: 1406) arasında gözlenmiştir.

CA sonuçları incelendiğinde, 15 ve 14 numaralı kuyuların birbirine yakın bölgelerde konumlandığı ve karstik arazi üzerinde yer aldığı için en yakın Öklid mesafesini ortaya çıkardığı görülmektedir. 11 (üst-orta ve karstik bölge) ve 3 (sağ-alt ve çakıtaşı yapılı bölge) numaralı kuyuların ise hem konum olarak hem de yapı olarak birbirinden farklı olduğu bilinmektedir. Bu sebeple en uzak Öklid mesafesi sonucunu ortaya çıkardığı görülmektedir.

Sonuçlar, dendrogram grafiği (Şekil 4.67) ile benzer olup, kümeleme analizinin su kalitesi veri setine uygulanabildiğini ve analiz sonucunda güvenilir sonuçlara ulaşılabildiğini göstermektedir.

4.4.2.3. Temel bileşen analizi (TBA) sonuçları

Parametreler arasındaki benzerlik ve farklılıkları incelemek amacıyla TBA yöntemi uygulanmış ve 22 adet su kalitesi parametresi (veri setinden Ni ve As parametreleri de çıkarılmıştır) için analizler gerçekleştirilmiştir. İlgili veri setinde limit değerinin altında kalan parametreler "<" işareti ile gösterildiği için hesaplama yaparken bu işaretin olduğu veriler için limit değerinin yarısı esas alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Veri setine "Outlier Removed" yöntemi uygulanmadan ham haline range normalizasyonu yapılmış ve Statistica StatSoft 12 Programında uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.61. Altınova Bölgesi’nde izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı HCA Öklid mesafeleri (Euclidean Distances)

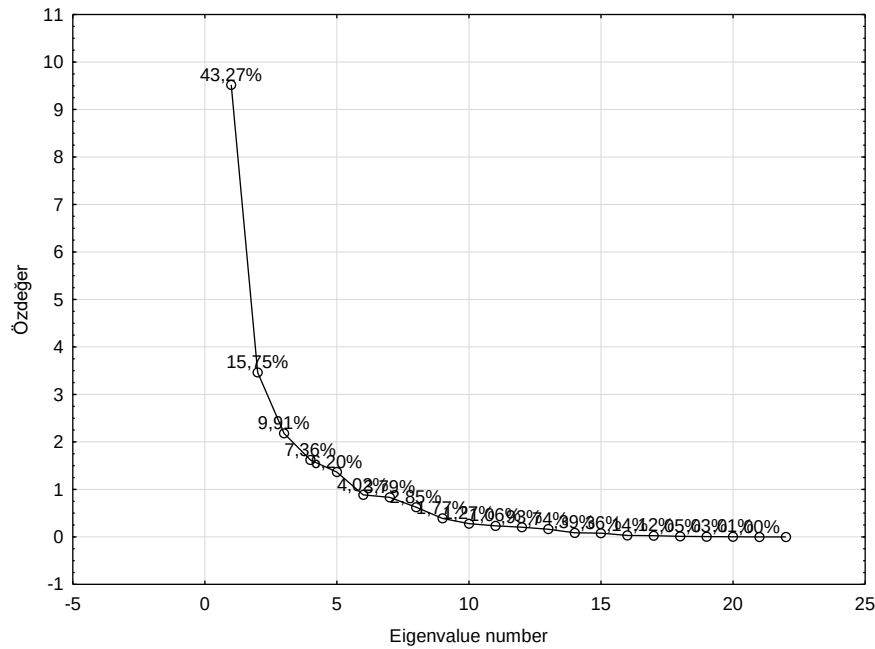
İstasyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0	257	1263	460	652	489	586	567	444	555	764	744	716	689	682	663	636	501	409	377	446	868	703	422	606
2		0	1312	305	460	331	401	383	308	374	561	542	515	489	482	466	444	350	323	341	308	828	712	307	414
3			0	1286	1333	1313	1312	1331	1301	1331	1406	1398	1383	1375	1373	1352	1343	1230	1245	1196	1304	619	657	1304	1344
4				0	235	64	158	128	100	117	370	351	321	282	278	254	212	88	178	248	132	732	643	150	190
5					0	241	81	119	308	135	140	124	96	62	60	30	34	207	398	469	318	732	725	351	69
6						0	163	124	72	115	375	356	325	285	282	259	214	106	170	250	105	759	666	132	198
7							0	47	229	68	218	200	169	130	127	101	59	135	319	391	241	722	687	274	57
8								0	192	34	251	233	203	163	159	136	91	123	288	363	207	749	699	239	82
9									0	185	442	422	391	351	347	326	282	148	112	191	66	767	649	72	263
10										0	268	251	222	182	179	154	108	115	276	352	206	752	698	235	104
11											0	25	55	91	96	117	164	346	535	607	446	794	825	480	184
12												0	32	71	75	99	147	329	516	589	425	788	813	460	165
13													0	42	45	70	119	299	485	557	394	775	792	429	135
14														0	9	35	80	263	446	519	355	769	773	391	96
15															0	32	78	259	442	516	351	769	771	388	92
16																0	51	231	419	491	333	750	747	367	74
17																	0	189	375	448	294	745	728	326	55
18																		0	209	269	178	666	592	194	184
19																			0	88	136	742	593	125	357
20																				0	208	724	551	186	430
21																					0	771	653	93	269
22																						0	267	783	750
23																							0	653	725
24																								0	305
25																									0

TBA, Altınova Bölgesi su kalitesinde ortaya çıkan toplam varyansın %50'den fazlasını >1 özdeğere sahip ilk 2 eksenle ve toplam varyansın %82,48'ini >1 özdeğere sahip ilk 5 eksenle açıklamıştır (Çizelge 4.62, Şekil 4.68 ve Çizelge 4.63). Altınova Bölgesi'nde araştırma periyodunda izlenen örnekleme noktalarında pH, Koliform, Enterekok, B, Cr ve Mn parametrelerinin değişiminin toplam varyansa etkisi zayıf ($-0,5 < \text{faktör koordinatı} < 0,5$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.64 ve Şekil 4.69a, b, c, d).

Çizelge 4.62. Altınova Bölgesi'nde su kalitesine dayalı temel bileşenler analizi istatistik özeti

Eksen No	Özdeğer	Toplam Özdeğer	Toplam varyansa katkı (%)	Toplam Varyans (%)
1	9,52	9,52	43,27	43,27
2	3,47	12,98	15,75	59,02
3	2,18	15,16	9,91	68,93
4	1,62	16,78	7,36	76,28
5	1,36	18,15	6,20	82,48

Temel bileşenleri belirlemek için analiz sonucunda ortaya çıkan grafik kullanılmaktadır (Şekil 4.68). Grafiğe göre ve elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında ilk 5 eksen için özdeğerlerin önemli olduğu söylenebilmektedir (Çizelge 4.62 ve Şekil 4.68).



Şekil 4.68. Toplam özdeğer verileri için scree plot sonucu

İzlenen su kalitesi parametreleri için, eksen özdeğerlerine bulunulan, oransal katkı değerlerine ait bilgiler Çizelge 4.63'te gösterilmektedir. Çizelge 4.63'e göre, TDS, EC ve S değişimlerinin Faktör 1 özdeğerine katkısı büyük (>%9) olmuştur. Özdeğer katkısı açısından, Faktör 2'ye bakıldığında ise, bulanıklık ve Fe parametrelerinin daha büyük (>%10) katkısı olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Faktör 3'e bakıldığında ise, NO₃, Koliform, Cr ve F parametrelerinin Faktör 2'deki parametreler ile aynı oranda (>%10)

eksen özdeğerlerine oransal anlamda katkı sağladığı görülmektedir.

Toplam varyansın çeyreğinden fazlasını açıklayan ilk Eksen 1 (%43,27), TDS, EC ve S (faktör koordinatı > -0,9) ile çok güçlü ve negatif yönlü; T, bulanıklık, Fe, Se, Al ve TOK (-0,92 < faktör koordinatı < -0,55) ile güçlü ve negatif yönlü şekilde yüklenirken, pH parametresi ise orta düzeyde ve güçlü yönde yüklenmiştir. Toplam varyansı %15,75 oranında açıklayan Eksen 2, NO₃ ve Se (-0,57 < faktör koordinatı < -0,55) orta düzeyde ve negatif yönlü şekilde bir değişimle yüklenirken, bulanıklık, *Escherichia coli*, Fe, Al parametreleri ise (0,51 < faktör koordinatı < 0,65) orta düzeyde ve pozitif yönlü şekilde bir değişimle yüklenmiştir. Toplam varyansı daha az oranda açıklayan (%9,91) Eksen 3 ise, NO₃ ve Cr parametreleriyle orta düzeyde ve negatif şekilde yüklenirken (-0,64 < faktör koordinatı < -0,54) Koliform ve F parametreleri ise orta düzeyde ve pozitif şekilde (0,50 < faktör koordinatı < 0,55) yüklenmiştir (Çizelge 4.64 ve Şekil 4.49a, b, c, d).

Çizelge 4.63. İzlenen su kalitesi parametrelerinin eksen özdeğerlerine oransal katkısı

Parametre	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5
T	0,056	0,004	0,007	0,003	0,116
TDS	0,090	0,018	0,024	0,003	0,000
pH	0,030	0,021	0,004	0,083	0,118
ÇO	0,084	0,009	0,050	0,003	0,000
EC	0,090	0,018	0,024	0,003	0,000
S‰	0,090	0,018	0,024	0,003	0,000
NTU	0,049	0,119	0,017	0,020	0,004
NO ₃	0,001	0,095	0,135	0,004	0,046
E. Coli	0,025	0,078	0,025	0,208	0,003
Koliform	0,018	0,042	0,144	0,024	0,121
Enterekok	0,001	0,045	0,079	0,164	0,000
Fe	0,054	0,124	0,000	0,000	0,006
B	0,001	0,062	0,005	0,011	0,394
Cr	0,001	0,013	0,190	0,067	0,052
Mn	0,023	0,065	0,054	0,160	0,025
Na	0,068	0,056	0,000	0,003	0,047
Se	0,035	0,090	0,012	0,060	0,013
Al	0,032	0,081	0,084	0,010	0,012
SO ₄	0,081	0,014	0,001	0,004	0,007
Cl	0,071	0,025	0,003	0,021	0,026
F	0,036	0,000	0,118	0,145	0,001
TOK	0,064	0,004	0,001	0,000	0,008

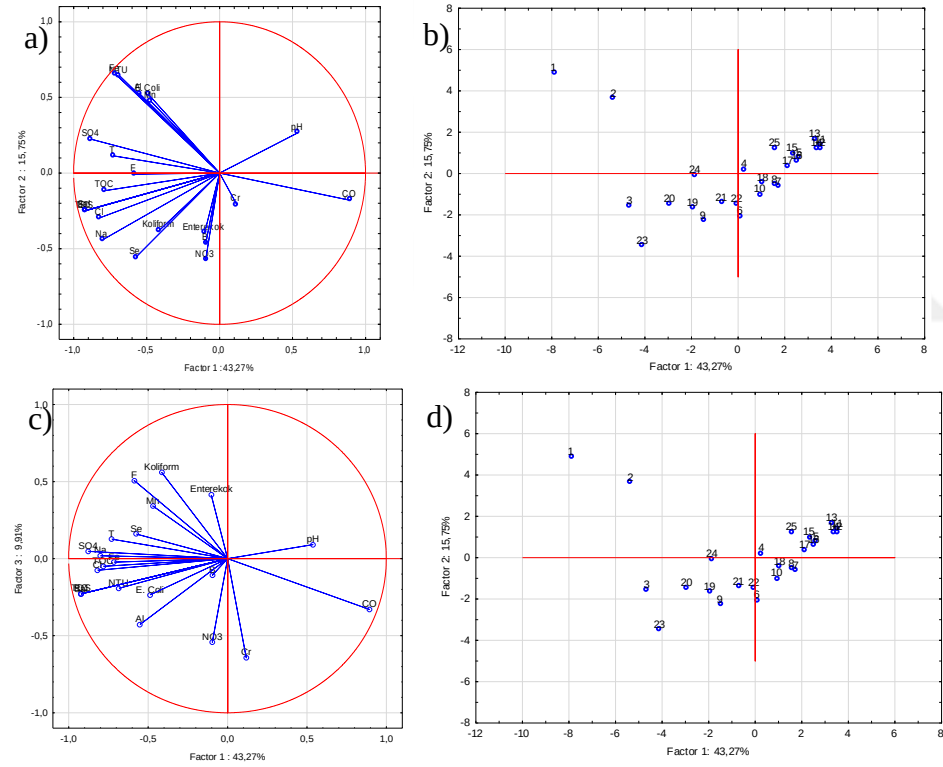
Çizelge 4.64’te korelasyonlara bağlı faktör yükleri yer almaktadır. Liu vd. (2003), tarafından sınıflandırılan faktör yüklerine göre değerler güçlü, orta ve zayıf şeklinde farklı renklere boyanmıştır.

Çizelge 4.64. Faktör-Değişken korelasyonları (korelasyonlara bağlı faktör yükleri)

Parametre	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5
T	-0,731	0,114	0,126	-0,071	0,397
TDS	-0,924	-0,25	-0,228	-0,071	-0,007
pH	0,537	0,267	0,091	-0,366	0,402
ÇO	0,893	-0,18	-0,33	0,07	-0,015
EC	-0,924	-0,25	-0,228	-0,071	-0,007
S‰	-0,924	-0,248	-0,229	-0,069	-0,007
NTU	-0,686	0,643	-0,193	0,18	-0,077

Çizelge 4.64'ün devamı.

NO ₃	-0,096	-0,573	-0,542	-0,084	0,251
E. Coli	-0,488	0,519	-0,235	0,58	-0,069
Koliform	-0,414	-0,38	0,559	0,198	0,405
Enterekok	-0,103	-0,395	0,414	0,515	-0,009
Fe	-0,715	0,656	-0,023	-0,02	-0,092
B	-0,095	-0,464	-0,107	-0,132	-0,733
Cr	0,118	-0,209	-0,643	-0,33	0,266
Mn	-0,47	0,474	0,342	-0,51	-0,183
Na	-0,802	-0,441	0,019	-0,07	-0,253
Se	-0,575	-0,558	0,16	0,31	0,134
Al	-0,553	0,529	-0,428	0,129	0,125
SO ₄	-0,878	0,223	0,048	0,079	0,098
Cl	-0,82	-0,296	-0,076	-0,184	0,189
F	-0,588	-0,007	0,507	-0,485	-0,038
TOK	-0,783	-0,116	-0,05	-0,026	-0,105



Şekil 4.69. Altınova Bölgesi'ndeki su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (b) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (c) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği ve (d) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği

4.4.2.4. Kendi kendini düzenleyen haritalar (SOM) sonuçları

Vesanto ve Alhoniemi (2000), tarafından öne sürülen optimal nöron sayısının bulunma yöntemi ile ($5\sqrt{n} / n = 25$) hesaplama yapılmış ve 25 adet nöron sayısına

ulaşmıştır. Li vd. (2018) tarafından yapılan çalışma referans alınarak uygun harita boyutu için 20 ile 30 nöron sayılarını kapsayan harita boyutları MATLAB R2021a programında denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen QE ve TE değerleri Çizelge 4.65'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.65. Vesanto ve Alhoniemi'ye (2000) göre hesaplanan harita boyutlarına ait hata analizleri

	20 (4X5)	21 (3X7)	24 (4X6)	25 (5X5)	27 (3X9)	30 (5X6)
QE	0,6804	0,6822	0,6405	0,6428	0,6375	0,5996
TE	0	0	0	0	0	0

Çizelge 4.65'te elde edilen sonuçlar doğrultusunda QE ve TE değeri en az olan 30 (5X6) harita boyutu seçilmiş ve işlemler bu harita boyutu esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

İşlemler, 25 adet su kalitesi parametresi için ham-outlier verileri kullanılarak ve Matlab R2021a programında range normalizasyonu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ek olarak 2, 3 ve 4 küme için denemeler yapılmıştır.

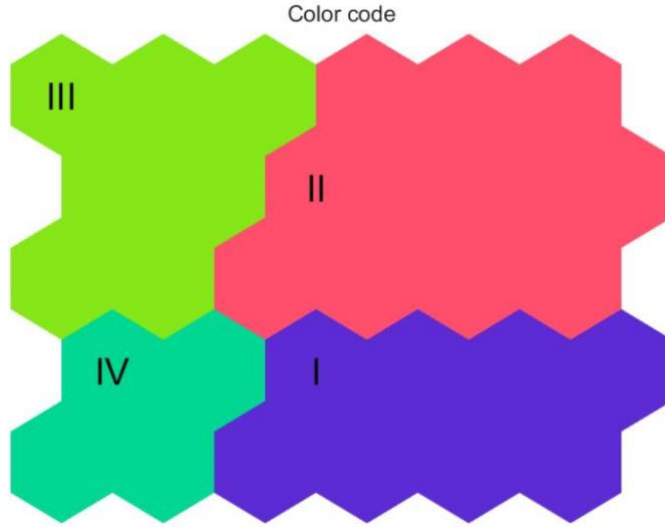
Oluşturulan bu kümeler ile Statistica programından elde edilen İstasyon (Şekil 4.67) kümelemeleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.67'deki İstasyon kümelemesinde istasyonların üç ana kümede kümelendiği görülmektedir. Şekil 4.67'de yer alan ikinci ana kümenin alt kümesinin Kohonen-SOM sonuçlarında (EK-3) yer alan üçüncü küme ile neredeyse birebir oranda uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 1'de, birinci ana kümede yer alan iki istasyon Kohonen-SOM kümelerindeki (EK-3) dördüncü küme ile aynı bölgede dağılım göstermiştir.

İlgili veri setinde limit değerinin altında kalan parametreler "<" işareti ile gösterildiği için hesaplama yaparken bu işaretin olduğu veriler için limit değerinin yarısı esas alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

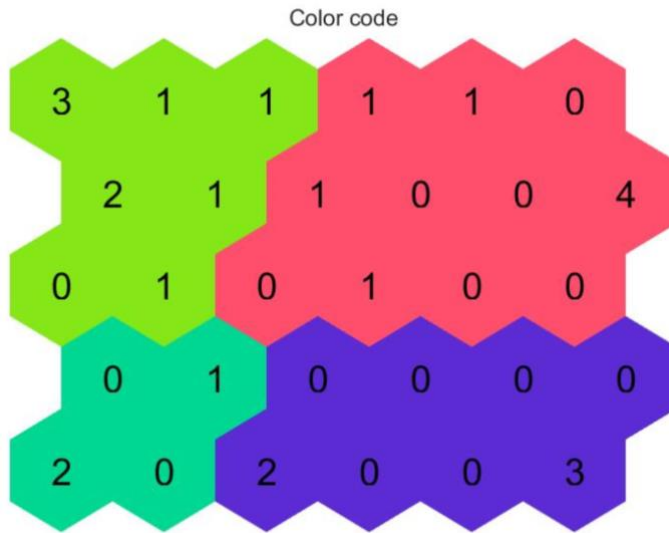
• 4 Küme için SOM sonuçları

Uygun harita boyutu 5X6 (EK-3) şeklinde seçildikten sonra oluşturulan 25 adet nöron, örnek sayısına göre (25) 4 farklı kümeye ayrılmış ve Şekil 4.70'te sunulan bir dağılım elde edilmiştir. Burada, 1. Küme, bir kısmı karstik, büyük bir kısmı ise çakıltı, kumtaşı, çamurtaşı olan bölgeleri kapsayan istasyonlar ile kümeleneştir. 2. Küme ise, karstik arazi ve çalışma alanının sol bölümündeki üst-orta-alt bölümü temsil eden kuyular ile benzer parametrik özelliklerdeki kuyulara göre kümeleneştir. 3. Küme ise, çalışma alanının sağ-üst bölümünde yer alan kuyular ile kümeleneştir olup Statistica sonuçları (Şekil 4.67; İstasyonlar) ile benzerlik göstermiştir. 4. Küme ise, çalışma alanının sağ-alt bölgesini temsil eden kuyular ile kümeleneştir. Sonuç olarak, bu 4 küme, Statistica (Şekil 4.67; İstasyonlar) ve Kohonen-SOM programlarında benzer şekilde kümeleneştir olup, bu sebeple 4. Küme seçilmiştir.

Şekil 4.71, benzerliklerine göre nöron başına düşen örnek sayısını göstermektedir. Bu sayının en yüksek 4, en düşük 1 olduğu görülmektedir. Bu 4 kümeye bakıldığında, aslında homojen bir dağılım olmadığı görülmektedir.



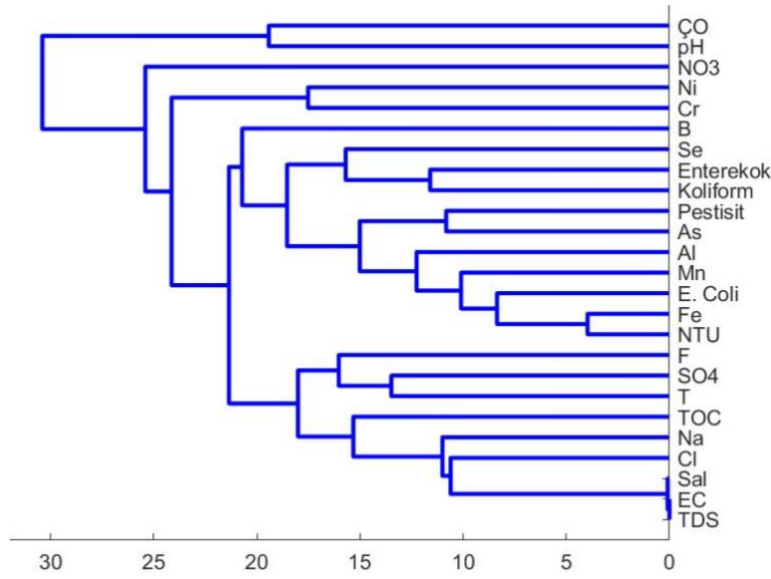
Şekil 4.70. Nöronların örnek sayılarına göre kümelerine ayrılması



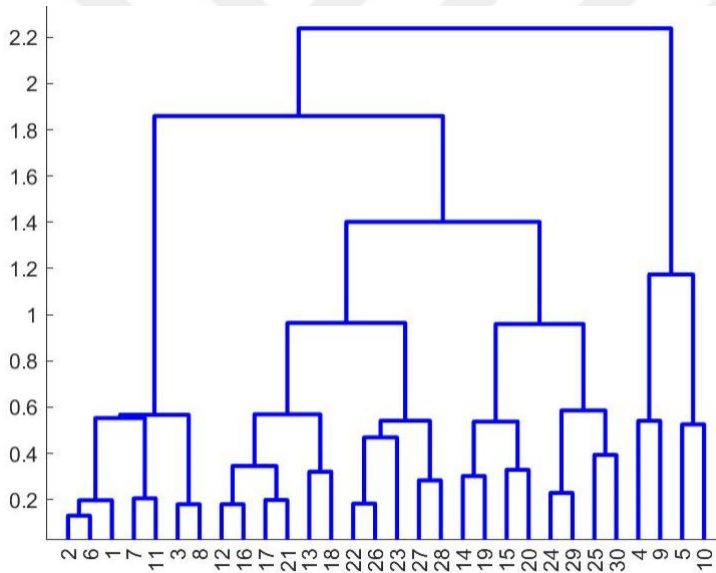
Şekil 4.71. Nöron başına düşen örnek sayısı

Altınova Bölgesi'nden elde edilmiş olan 25 adet su kalitesi parametresinin yatay dendrogram (ağaç grafiği) grafiği Şekil 4.72'de gösterilmektedir. Parametreler kendi içlerinde fizikokimyasal ve bakteriyolojik özellikler ile anyon-kasyon gruplarına göre kümeler oluşturmuştur.

Şekil 4.73, 30 adet nöron için su kalitesi açısından benzerliklerini gösteren kümelenmiş dikey dendrogram grafiğini sunmaktadır. Burada nöronların birbiri ile gösterdikleri korelasyon tahmin edilmeye çalışılmıştır. Eksene en yakın olan nöronlar korelasyonu en yüksek olan nöronları ifade etmekte olup, 2. ve 6. nöronlar bu duruma örnektir.

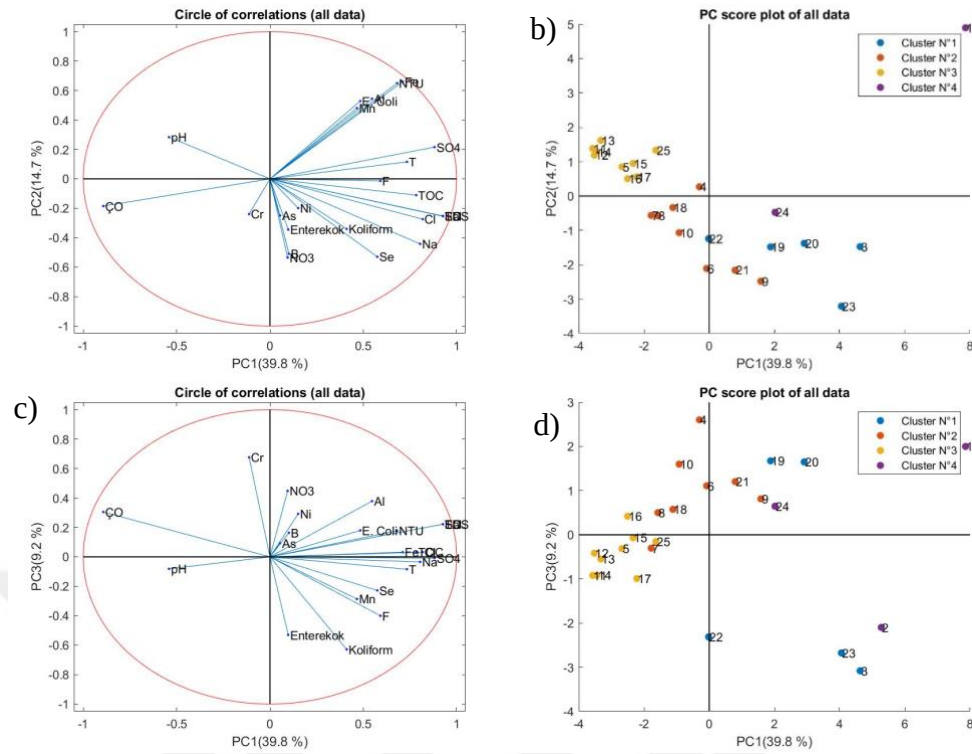


Şekil 4.72. Su kalitesi parametrelerinin oluşturduğu dendrogram grafiği



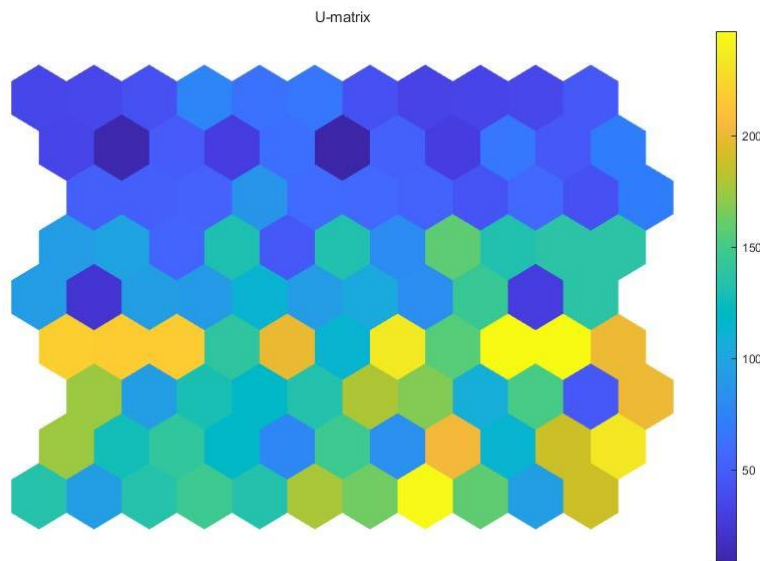
Şekil 4.73. 30 adet nöron için oluşturulan dendrogram grafiği

Toplam varyansın çeyreğinden fazlasını açıklayan ilk Eksen 1 (%39,8), bulanıklık, Fe ve SO_4^{2-} (faktör koordinatı $< 0,9$) ile çok güçlü ve pozitif; S, TDS, Na^+ ve Cl (faktör koordinatı $< 0,9$) ile çok güçlü ve negatif şekilde yüklenmiştir. Toplam varyansı %14,7 oranında açıklayan Eksen 2, NO_3^- ve B ($-0,6 < \text{faktör koordinatı} < -0,4$) orta düzeyde ve negatif yönlü şekilde bir değişimle yüklenirken, *Escherichia coli*, Al ve Mn parametreleri ise ($0,4 < \text{faktör koordinatı} < 0,6$) orta düzeyde ve pozitif yönlü şekilde bir değişimle yüklenmiştir. Toplam varyansı daha az oranda açıklayan (%9,91) Eksen 3 ise, Cr, enterekok ve koliform parametreleriyle orta düzeyde ($-0,6 < \text{faktör koordinatı} < 0,6$) yüklenmiştir (Şekil 4.74a, b, c, d).



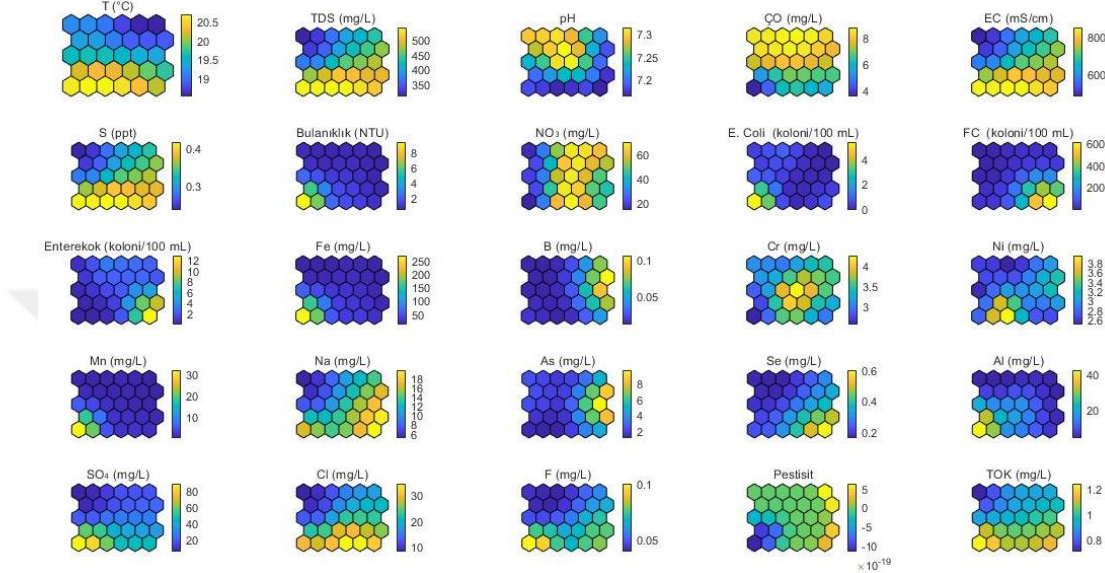
Şekil 4.74. Altınova Bölgesi’nde su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (b) ölçümlerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (c) parametrelerin PC-1 ve PC-3 grafiği ve (d) ölçümlerin PC-1 ve PC-3 grafiği

Birleşik Uzaklık Matrisi (U-matris) algoritması ile SOM birimleri arasındaki alt grup sınırları Şekil 4.75’teki gibi belirlenmiştir. U matrisindeki komşu düğümler arasındaki yakınlık, haritada renklerle gösterilen Öklid mesafesine göre MATLAB R2021a programında oluşturulmuştur. Haritaya göre, alt bölge hariç genel olarak U-Matris’in mavi renklere (yakın olan düğümlerden oluştuğu) hâkim olduğu görülmektedir.



Şekil 4.75. Altınova Bölgesi verilerine göre oluşturulan U-Matris

Şekil 4.76’da her bir su kalitesi parametresi için oluşturulan SOM haritaları yer almaktadır. EC ve S parametreleri SOM haritalarında yer alan anyon-kasyon gruplarıyla (Cl^- , Na^+) ve TDS TOK parametreleri ile benzer desenler oluşturmuştur. Bu parametrelerin her birinde de sol-üst bölge mavi bir renk kümesi oluştururken alt bölge ise turuncu bir renk kümesi oluşturmuştur. Kısaca, bu parametreler aynı yönlü korelasyon sergilemişlerdir. Fekal Koliform ve Enterekok parametreleri de kendi aralarında benzer renk desenleri oluşturmuştur ve pozitif yönlü korelasyonlara sahiptir.



Şekil 4.76. Altınova Bölgesi’ne ait su kalitesi parametreleri için oluşturulan SOM haritaları

4.4.3. Mayıs 2016 dönemi YAS kalitesi izleme verilerinin istatistiksel analizi

4.4.3.1. Korelasyon analizi

Altınova bölgesinin Kasım 2016 dönemine ait saha ve analiz ölçümü sonuçlarından elde edilen veri seti ile 29 adet parametre için Statistica Statsoft 12 programında korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Ancak Ni, As, Al, Pestisit ve Zn parametrelerine ait veri sayısının yetersiz olmasından dolayı çıkarılmış olup kalan 24 adet parametre ile işlem gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.66).

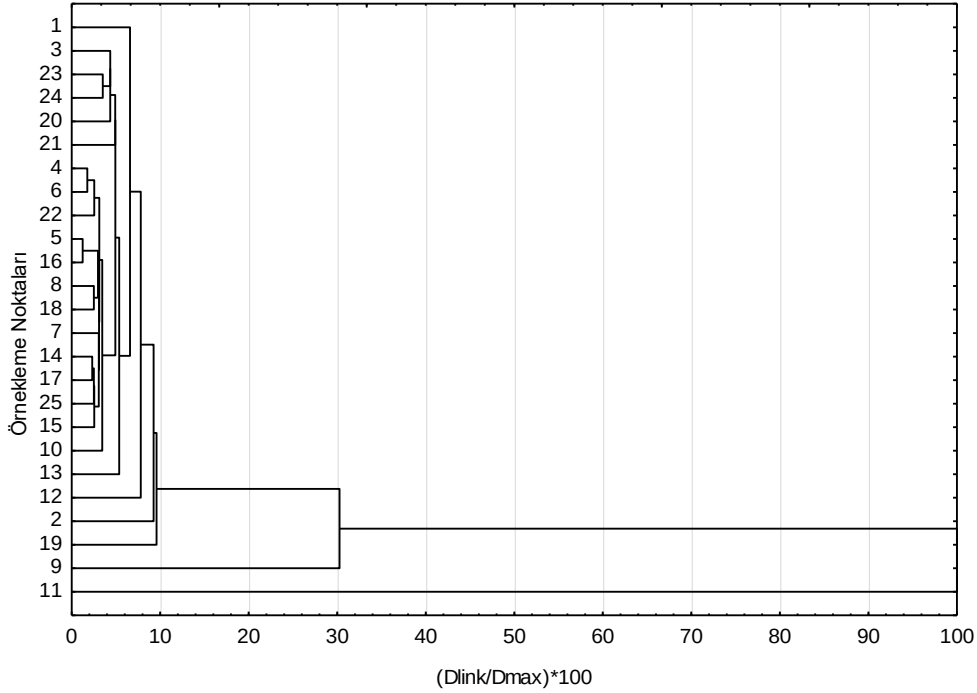
Çizelge 4.66’ya göre, TDS parametresi ile S ve EC parametreleri %100 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon oluşturmuştur. Benzer şekilde, Ca^{2+} parametresi, TDS, EC ve S parametreleri ile %93,9 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü korelasyon göstermiştir. Yanı sıra, koliform parametresi ise *Escherichia coli* parametresi ile %99,3 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon sergilemiştir. EC ile S parametreleri, anyon-kasyon gruplarından Na^+ , Si ve Ba parametreleri ile %76,6-82 oranında güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon ortaya çıkarmıştır. Ek olarak, pH parametresi, EC, S, Na^+ ve TOK parametreleri ile %54,2-53,3 oranında orta düzeyde ve negatif yönlü korelasyon göstermiştir.

Çizelge 4.66. 24 adet su kalitesi parametresi için Statistica StatSoft 12 programında oluşturulan korelasyon matrisi

	T	TDS	pH	EC	S‰	NO ₃	E. Coli	Koliform	Enterekok	Fe	B	Cr	Mn	Na	Se	SO ₄	Cl	F	TOK	Mg	Si	K	Ca	Ba
T	1,00																							
TDS	0,49	1																						
pH	0,21	-0,54	1																					
EC	0,49	1,00	-0,54	1																				
S‰	0,49	1,00	-0,54	1,00	1																			
NO ₃	0,20	0,31	-0,02	0,31	0,31	1																		
E. Coli	-0,12	-0,19	0,27	-0,19	-0,19	-0,05	1																	
Koliform	-0,13	-0,25	0,29	-0,25	-0,25	-0,08	0,99	1																
Enterekok	-0,10	-0,34	0,31	-0,34	-0,34	-0,17	0,90	0,94	1															
Fe	0,24	0,35	-0,15	0,35	0,35	-0,35	-0,11	-0,12	-0,09	1														
B	-0,28	0,31	-0,38	0,31	0,31	0,07	0,24	0,16	-0,08	-0,09	1													
Cr	0,32	0,20	0,20	0,20	0,20	0,54	-0,12	-0,13	-0,14	-0,13	-0,02	1												
Mn	0,15	0,27	-0,13	0,27	0,27	-0,35	-0,08	-0,08	-0,06	0,96	-0,06	-0,15	1											
Na	0,14	0,82	-0,54	0,82	0,82	0,21	-0,10	-0,16	-0,27	0,33	0,61	0,12	0,31	1										
Se	0,08	0,53	-0,37	0,53	0,53	0,20	0,03	-0,01	-0,11	-0,11	0,28	0,01	-0,15	0,62	1									
SO ₄	0,54	0,69	-0,31	0,69	0,69	-0,12	-0,03	-0,05	-0,05	0,57	0,04	-0,04	0,46	0,40	0,06	1								
Cl	0,48	0,74	-0,11	0,74	0,74	0,36	-0,04	-0,10	-0,19	0,40	0,18	0,27	0,33	0,57	0,05	0,53	1							
F	0,21	0,46	-0,24	0,46	0,45	-0,16	0,08	0,05	-0,08	0,34	0,40	-0,27	0,28	0,50	0,41	0,46	0,21	1						
TOK	0,06	0,55	-0,53	0,55	0,55	-0,25	0,09	0,06	0,02	0,72	0,33	-0,19	0,71	0,62	0,20	0,62	0,38	0,45	1					
Mg	0,06	0,60	-0,42	0,60	0,60	-0,04	0,13	0,06	-0,16	0,23	0,87	-0,06	0,20	0,77	0,39	0,41	0,40	0,72	0,54	1				
Si	0,57	0,78	-0,33	0,78	0,78	-0,11	-0,19	-0,21	-0,20	0,52	-0,03	-0,06	0,38	0,57	0,46	0,79	0,53	0,63	0,53	0,44	1			
K	0,21	0,63	-0,27	0,63	0,63	0,02	0,09	0,02	-0,17	0,25	0,65	-0,04	0,12	0,72	0,47	0,46	0,52	0,75	0,43	0,88	0,63	1		
Ca	0,59	0,94	-0,48	0,94	0,94	0,31	-0,30	-0,34	-0,36	0,31	0,03	0,29	0,21	0,62	0,42	0,68	0,70	0,25	0,43	0,34	0,77	0,40	1	
Ba	0,65	0,78	-0,28	0,78	0,78	0,04	-0,16	-0,18	-0,19	0,47	-0,05	0,01	0,32	0,54	0,47	0,72	0,57	0,64	0,45	0,42	0,96	0,63	0,76	1

4.4.3.2. Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) sonuçları

Altınova Bölgesi'ndeki zamansal ve mekânsal değişimlerdeki benzerlikleri ve farklılıkları anlamak amacıyla HCA kullanılmıştır. Bağlantı mesafelerinin D_{link}/D_{max} olarak ifade edileceği kümeleme için Wards yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizde uzaklık katsayısı olarak, Öklidyen Mesafesi (Euclidean Distance) belirlenmiştir. İncelenen 29 adet su kalitesi parametresi için ham veri seti kullanılmış ve Statistica StatSoft 12 Programında uygulamalar gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar Şekil 4.77'de yer almaktadır.



Şekil 4.77. Altınova Bölgesi'nde izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı HCA dendrogram grafiği

HCA Altınova Bölgesi'nde tayin edilen 25 adet su kalitesi parametresine bağlı olarak izlenen örnekleme noktalarının sergilediği heterojeniteyi ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.77). HCA, örnekleme noktalarını $D_{link}/D_{max} * 100 < 50$ istatistiksel anlamlılık düzeyinde iki ana kümeye gruplandırmıştır.

Birinci ana küme kendi içinde iki ayrı alt küme oluşturmuş olup, birinci alt küme, kuyuları kendi içinde kirlilik açısından benzerliklerine göre gruplamıştır. İkinci alt küme ise, sol ve alt bölümde yer alan karstik yapıli bölgeyi temsil eden kuyuyu (9) tek başına kümelemiştir.

İkinci ana küme, çalışma alanının üst ve orta bölgesinde yer alan karstik yapıli örnekleme noktalarını temsil eden kuyulardan yalnızca bir adet kuyuyu (11) gruplandırmıştır.

Altınova Bölgesi'nde gerçekleştirilen mekânsal analizde uzaklık katsayısı olarak Öklidyen mesafesi kullanılmıştır. HCA'da belirlenen istasyonlar arasındaki mesafeler ise Çizelge 4.67'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.67. Altınova Bölgesi’nde izlenen örnekleme noktalarının su kalitesi parametrelerine dayalı HCA Öklid mesafeleri (Euclidean Distances)

İstasyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0	347	294	359	545	375	463	502	1254	425	3984	670	628	561	577	572	527	455	380	201	273	392	281	222	510
2		0	283	378	505	405	450	483	1271	439	3974	634	503	514	531	520	490	445	481	359	353	414	358	352	462
3			0	151	303	168	226	274	1225	225	3950	474	376	311	336	327	285	232	360	216	182	178	133	136	270
4				0	211	54	119	185	1229	135	3942	414	312	217	251	240	189	139	391	277	176	84	179	206	172
5					0	200	120	91	1171	208	3861	343	196	97	130	38	115	102	466	457	335	175	342	377	133
6						0	103	180	1231	143	3941	421	314	206	247	231	186	131	393	282	177	78	179	212	188
7							0	117	1243	138	3934	358	229	104	156	144	94	95	457	378	259	95	265	294	111
8								0	1164	140	3853	286	231	131	113	111	97	77	434	421	304	131	311	334	124
9									0	1234	3056	1277	1283	1263	1243	1179	1254	1158	924	1213	1213	1206	1209	1223	1246
10										0	3936	298	301	203	194	233	142	138	430	347	256	106	258	262	158
11											0	3913	3924	3921	3891	3857	3929	3870	3736	3959	3933	3915	3945	3959	3925
12												0	349	324	238	336	276	349	637	620	517	360	522	519	301
13													0	164	178	175	186	254	607	563	415	290	447	479	188
14														0	95	95	71	151	535	478	352	185	359	389	107
15															0	119	78	174	540	504	376	200	385	408	116
16																0	123	136	495	489	363	202	371	406	138
17																	0	128	509	449	330	151	335	357	77
18																		0	395	370	263	106	269	292	142
19																			0	293	344	392	313	322	499
20																				0	212	316	146	133	437
21																					0	198	150	171	318
22																						0	207	227	154
23																							0	107	323
24																								0	351
25																									0

Çizelge 4.67'ye göre, birbirine en yakın benzerlik, 5 ve 16 numaralı örnekleme noktaları (Öklid Mesafesi: 38) arasında gözlenirken, en uzak benzerlik ise 1 ve 11 numaralı örnekleme noktaları (Öklid Mesafesi: 3984) arasında gözlenmiştir.

CA sonuçları incelendiğinde, 5 ve 16 numaralı kuyuların karstik bölgede konumlandığı ve 5 numaralı kuyu çalışma alanında orta bölümü temsil ederken 16 numaralı kuyu üst bölümü temsil etmekte olup, su kalitesi karakteristiğinin bu durumu ortaya çıkardığı düşünülmektedir. 1 (sağ-alt ve çakıldaşı yapılı bölge) ve 11 (orta-üst ve karstik yapılı bölge) numaralı kuyuların ise hem konum olarak hem de yapı olarak birbirinden farklı olduğu bilinmektedir. Bu sebeple en uzak Öklid mesafesi sonucunu ortaya çıkardığı görülmektedir.

Sonuçlar, dendrogram grafiği (Şekil 4.77) ile benzer olup, kümeleme analizinin su kalitesi veri setine uygulanabildiğini ve analiz sonucunda güvenilir sonuçlara ulaşılabildiğini göstermektedir.

4.4.3.3. Temel bileşen analizi (TBA) sonuçları

Parametreler arasındaki benzerlik ve farklılıkları incelemek amacıyla TBA yöntemi uygulanmış ve 24 adet su kalitesi parametresi için analizler gerçekleştirilmiştir. İlgili veri setinde limit değerinin altında kalan parametreler “<” işareti ile gösterildiği için hesaplama yaparken bu işaretin olduğu veriler için limit değerinin yarısı esas alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Veri setine “Outlier Removed” yöntemi uygulanmadan ham haline range normalizasyonu yapılmış ve Statistica StatSoft 12 Programında uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

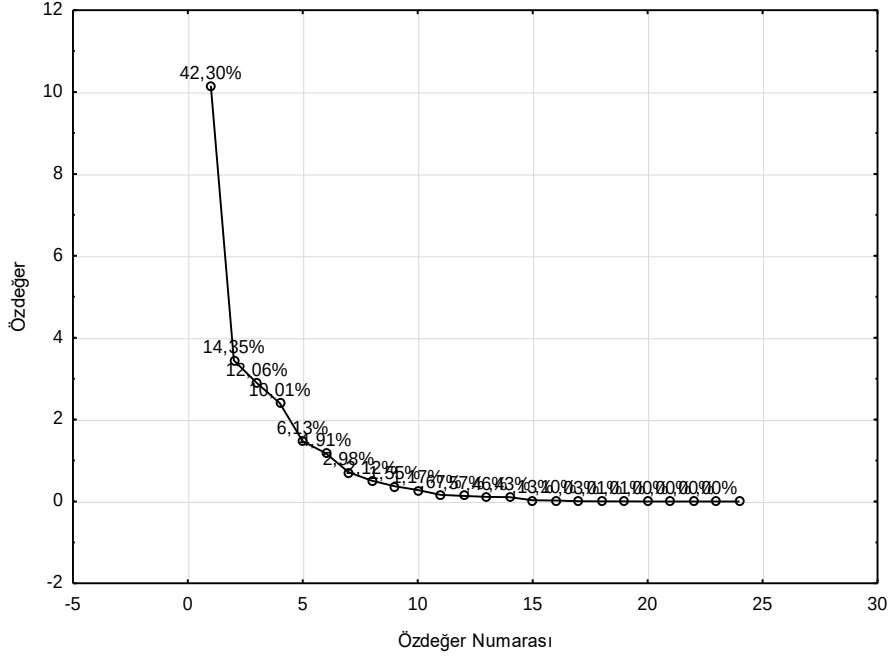
TBA, Altınova Bölgesi su kalitesinde ortaya çıkan toplam varyansın %50'den fazlasını >1 özdeğere sahip ilk 2 eksenle ve toplam varyansın %89,77'sini >1 özdeğere sahip ilk 6 eksenle açıklamıştır (Çizelge 4.68, Şekil 4.78 ve Çizelge 4.69). Altınova Bölgesi'nde araştırma periyodunda izlenen örnekleme noktalarında B, Cr, Mn, Se, toplam organik karbon ve Mg^{2+} parametrelerinin değişiminin toplam varyansa etkisi zayıf (-0,5 < faktör koordinatı < 0,5) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.70 ve Şekil 4.79a, b, c, d).

Çizelge 4.68. Altınova Bölgesi'nde su kalitesine dayalı temel bileşenler analizi istatistik özeti

Eksen No	Özdeğer	Toplam Özdeğer	Toplam varyansa katkı (%)	Toplam Varyans (%)
1	10,15	10,15	42,30	42,30
2	3,44	13,60	14,35	56,66
3	2,89	16,49	12,06	68,72
4	2,40	18,89	10,01	78,72
5	1,47	20,36	6,13	84,85
6	1,18	21,54	4,91	89,77

Temel bileşenleri belirlemek için analiz sonucunda ortaya çıkan grafik kullanılmaktadır (Şekil 4.78). Grafiğin dikey eksenini, faktörleri (özdeğerleri) sembolize ederken, yatay eksen temel bileşenleri göstermektedir. Grafikteki keskin düşüşler, önemli faktörlerin sayısını vermektedir. Yatay çizgiler, faktörlerin getirdiği ek değişikliklerin bireysel katkılarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Özdeğer, faktörün önemini

belirtir ve özdeğerin değeri yükseldikçe önemi artar. Sayısal değeri 1,0'dan büyük olan özdeğerler önemli olarak düşünülmektedir. Buna göre elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak ilk 6 eksen için özdeğerlerin önemli olduğu söylenebilmektedir (Çizelge 4.68 ve Şekil 4.78).



Şekil 4.78. Toplam özdeğer verileri için scree plot sonucu

İzlenen su kalitesi parametreleri için, eksen özdeğerlerine bulunulan, oransal katkı değerlerine ait bilgiler Çizelge 4.69'da gösterilmektedir. Çizelge 4.69'a göre, TDS, EC ve S değişimlerinin Faktör 1 özdeğerine katkısı büyük (>%9) olmuştur. Özdeğer katkısı açısından, Faktör 2'ye bakıldığında ise, *Escherichia* koli, Koliform ve Enterekok parametrelerinin daha büyük (> %13) katkısı olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Faktör 3'e bakıldığında ise, Fe, B ve Mn parametrelerinin Faktör 2'deki parametreler ile aynı oranda (> %13) eksen özdeğerlerine oransal anlamda katkı sağladığı görülmektedir.

Toplam varyansın çeyreğinden fazlasını açıklayan ilk Eksen 1 (%42,30), TDS, EC ve S (faktör koordinatı>-0,95) ile çok güçlü ve negatif yönlü; Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , Si, K^+ , Ca^{2+} ve Ba (-0,86< faktör koordinatı <-0,78) ile güçlü ve negatif yönlü şekilde yüklenirken, pH parametresi ise orta düzeyde ve güçlü yönde yüklenmiştir. Toplam varyansı %14,35 oranında açıklayan Eksen 2, *Escherichia* koli ve Koliform parametreleri (0,77< faktör koordinatı <0,78) orta düzeyde ve pozitif yönlü şekilde bir değişimle yüklenirken, NO_3^- ve Cr parametreleri ise (-0,47 < faktör koordinatı < -0,44) orta düzeyde ve negatif yönlü şekilde bir değişimle yüklenmiştir. Toplam varyansı daha az oranda açıklayan (%12,06) Eksen 3 ise, Fe ve Mn parametreleriyle orta düzeyde ve negatif şekilde yüklenirken (-0,72 < faktör koordinatı < -0,71) NO_3^- ve B parametreleri ise orta düzeyde ve pozitif şekilde (0,55 < faktör koordinatı < 0,61) yüklenmiştir (Çizelge 4.70 ve Şekil 4.79a, b, c, d).

Çizelge 4.69. İzlenen su kalitesi parametrelerinin eksen özdeğerlerine oransal katkısı

Parametre	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6
T	0,022	0,032	0,022	0,141	0,031	0,043
TDS	0,091	0,006	0,006	0,005	0,003	0,013
pH	0,027	0	0,011	0,108	0,005	0,251
EC	0,091	0,006	0,006	0,005	0,003	0,013
S‰	0,091	0,006	0,006	0,005	0,003	0,014
NO ₃	0,002	0,058	0,108	0,062	0,05	0,001
E. Coli	0,004	0,179	0,008	0,122	0,005	0,009
E. Coli	0,004	0,179	0,008	0,122	0,005	0,009
Koliform	0,006	0,174	0,003	0,126	0,003	0,016
Enterekok	0,011	0,13	0,002	0,135	0	0,058
Fe	0,026	0,009	0,183	0,006	0,05	0,006
B	0,012	0,067	0,132	0,04	0,045	0,049
Cr	0,001	0,065	0,027	0,074	0,105	0,032
Mn	0,017	0,013	0,176	0,012	0,094	0,002
Na	0,07	0,005	0,033	0,011	0,024	0,001
Se	0,025	0,002	0,079	0	0,106	0,094
SO ₄	0,055	0,002	0,054	0,015	0,001	0,001
Cl	0,049	0,005	0	0,046	0,091	0,036
F	0,038	0,053	0	0,007	0,114	0,073
TOK	0,044	0,05	0,034	0,017	0,063	0,04
Mg	0,048	0,061	0,041	0,021	0,002	0,078
Si	0,074	0	0,025	0,005	0,089	0,001
K	0,055	0,035	0,029	0,001	0,018	0,123
Ca	0,072	0,038	0	0,018	0,001	0,046
Ba	0,071	0,001	0,015	0,019	0,093	0

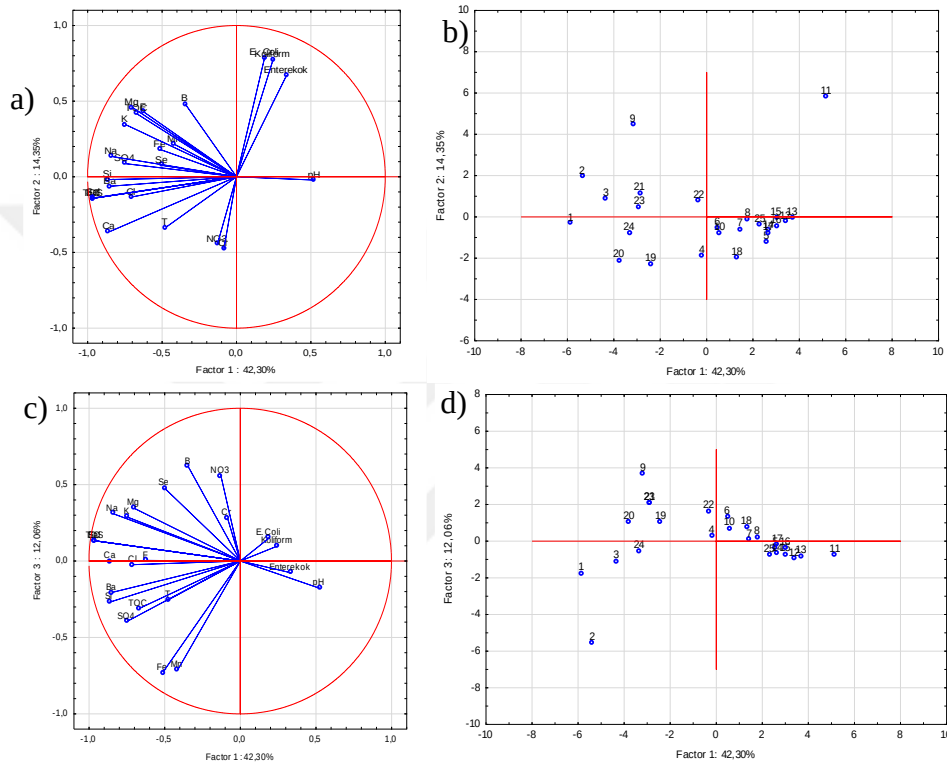
Çizelge 4.70’te korelasyonlara bağlı faktör yükleri yer almaktadır. Liu vd. (2003), faktör yüklerini sırasıyla 0,75’ten büyük değerler için “güçlü” (mavi dolgulu), 0,75-0,50 aralığındaki değerler için “orta” (yeşil dolgulu) ve 0,50-0,30 arasındaki değerler için de “zayıf” (sarı dolgulu) olarak sınıflandırmıştır. Bu aralık değerlerine bağlı kalınarak, Çizelge 4.70’te yer alan değerler güçlü, orta ve zayıf şeklinde farklı renklere boyanmıştır.

Çizelge 4.70. Faktör-Değişken korelasyonları (korelasyonlara bağlı faktör yükleri)

Parametre	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6
T	-0,475	-0,334	-0,253	0,581	-0,215	0,226
TDS	-0,959	-0,142	0,133	0,104	0,065	-0,123
pH	0,525	-0,022	-0,178	0,509	-0,088	0,544
EC	-0,959	-0,142	0,133	0,104	0,065	-0,123
S‰	-0,959	-0,139	0,132	0,104	0,066	-0,127
NO ₃	-0,128	-0,446	0,559	0,385	0,271	-0,039
E. Coli	0,189	0,786	0,149	0,541	0,083	-0,105
Koliform	0,246	0,774	0,099	0,55	0,065	-0,137
Enterekok	0,336	0,67	-0,077	0,569	0,018	-0,261
Fe	-0,512	0,18	-0,729	-0,122	0,27	0,085
B	-0,345	0,482	0,619	-0,311	0,258	0,239
Cr	-0,084	-0,474	0,281	0,42	0,393	0,195
Mn	-0,414	0,214	-0,713	-0,172	0,372	0,053
Na	-0,841	0,135	0,311	-0,161	0,188	-0,034
Se	-0,5	0,075	0,477	-0,019	-0,395	-0,332
SO ₄	-0,749	0,087	-0,395	0,189	-0,044	-0,032

Çizelge 4.70’in devamı.

Cl	-0,707	-0,134	-0,023	0,333	0,366	0,205
F	-0,622	0,428	0,004	-0,131	-0,41	0,294
TOK	-0,67	0,417	-0,312	-0,201	0,306	-0,216
Mg	-0,701	0,459	0,345	-0,225	0,055	0,304
Si	-0,866	-0,019	-0,27	0,114	-0,362	-0,04
K	-0,747	0,346	0,288	-0,055	-0,163	0,38
Ca	-0,856	-0,364	0	0,207	0,035	-0,232
Ba	-0,847	-0,062	-0,205	0,216	-0,369	0,008



Şekil 4.79. Altınova Bölgesi’ndeki su kalitesi parametrelerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (b) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (c) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği ve (d) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği

4.4.3.4. Kendi kendini düzenleyen haritalar (SOM) sonuçları

Vesanto ve Alhoniemi (2000), tarafından öne sürülen optimal nöron sayısının bulunma yöntemi ile ($5\sqrt{n} / n = 25$) hesaplama yapılmış ve 25 adet nöron sayısına ulaşılmıştır. Li vd. (2018) tarafından yapılan çalışma referans alınarak uygun harita boyutu için 20 ile 30 nöron sayılarını kapsayan harita boyutları MATLAB R2021a programında denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen QE ve TE değerleri Çizelge 4.71’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.71. Vesanto ve Alhoniemi'ye (2000) göre hesaplanan harita boyutlarına ait hata analizleri

	20 (4X5)	21 (3X7)	24 (4X6)	25 (5X5)	27 (3X9)	30 (5X6)
QE	0,7941	0,8067	0,7602	0,7428	0,7458	0,7099
TE	0,0400	0	0	0	0	0,0400

Çizelge 4.71'de elde edilen sonuçlar doğrultusunda QE ve TE değeri en az olan 30 (5X6) harita boyutu seçilmiş ve işlemler bu harita boyutu esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

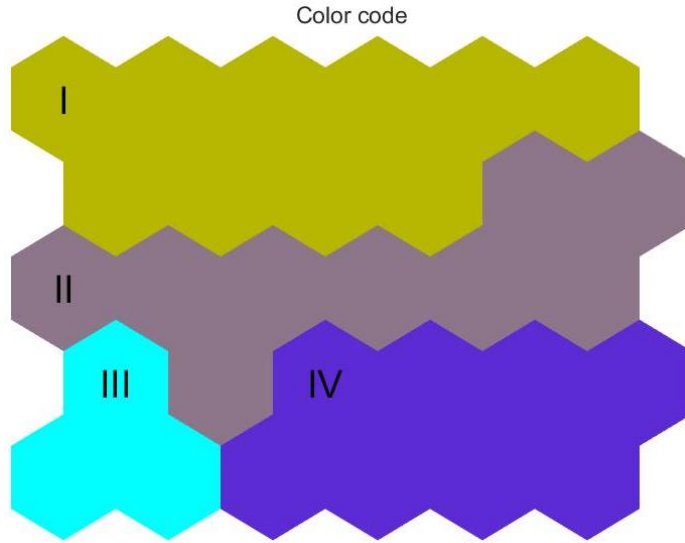
İşlemler, 29 adet su kalitesi parametresi için ham-outlier verileri kullanılarak ve Matlab R2021a programında range normalizasyonu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ek olarak 2, 3 ve 4 küme için denemeler yapılmıştır.

Oluşturulan bu kümeler ile Statistica programından elde edilen İstasyon (Şekil 4.77) kümelemeleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.77'deki İstasyon kümelemesinde istasyonların iki ana kümede kümelendiği görülmektedir. Şekil 4.77'de yer alan birinci ana kümenin ilk alt kümesindeki kuyuların, Kohonen-SOM sonuçlarında (EK-4) yer alan dördüncü küme ile neredeyse birebir oranda uyumlu olduğu görülmektedir. Birinci ana kümenin ikinci alt kümesinde yer alan 9 numaralı kuyunun Şekil 4.77'de tek başına kümelendiği görülürken Kohonen-SOM (EK-4) sonuçlarında da benzer şekilde bir kümeleme olduğu görülmüştür. Ancak aynı durum ikinci ana kümede tek başına kümelenecek olan 11 numaralı kuyu için geçerli değildir. Kohonen-SOM (EK-4) sonuçlarında 11 numaralı küme birinci kümede ve beraberinde 10 adet kuyu ile birlikte kümelenecektir. Bu durumun haricinde ise, birinci ana kümenin içindeki diğer küçük alt kümeler de Kohonen-SOM çalışmalarındaki 4 adet küme ile daha uyumlu sonuçlar gösterdiği için 4 küme sonuçları kullanılmaya karar verilmiştir.

İlgili veri setinde limit değerinin altında kalan parametreler "<" işareti ile gösterildiği için hesaplama yaparken bu işaretin olduğu veriler için limit değerinin yarısı esas alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

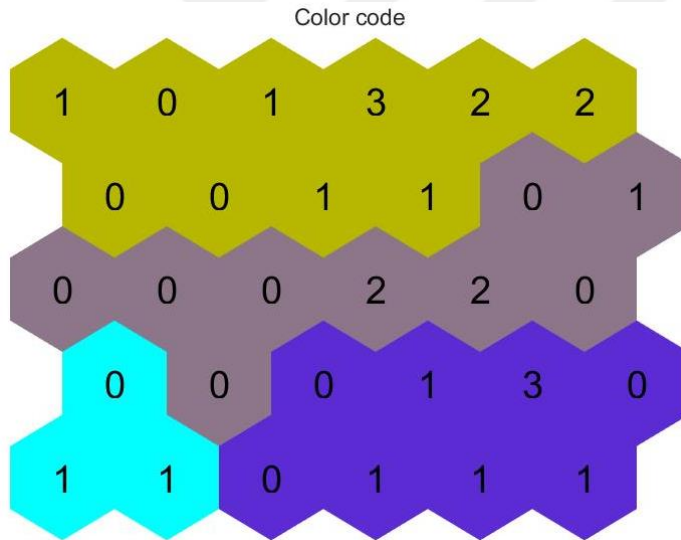
• 4 Küme için SOM Sonuçları

Uygun harita boyutu 5X6 (EK-4) şeklinde seçildikten sonra oluşturulan 25 adet nöron, örnek sayısına göre (25) 4 farklı kümeye ayrılmış ve Şekil 4.80'de sunulan bir dağılım elde edilmiştir. Burada, 1. Küme, karstik olup, çalışma alanının çoğunlukla sağ-üst bölümünü temsil eden kuyular ile kümelenecektir. 2. Küme ise, çalışma alanının sol-üst bölümünde yer alan kuyu, orta-alt bölümü temsil eden karstik bölge ile kümelenecektir. 3. Küme ise, karstik arazi olup, çalışma alanının sol-alt bölümünü temsil eden kuyu (İstasyon: 16) ile çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı olan bölgelerini kapsayan kuyunun (İstasyon: 35) birlikte kümelendiğini göstermiştir. 4. Küme ise, çalışma alanının sağ-alt bölgesini temsil eden kuyular ile kümelenecek olup Statistica (Şekil 4.77) sonuçları ile de uyumlu bir sonuç oluşturmuştur. Sonuç olarak, bu 4 küme, Statistica (Şekil 4.77) ve Kohonen-SOM programlarında benzer şekilde kümelenecek olup, bu sebeple 4. Küme seçilmiştir.



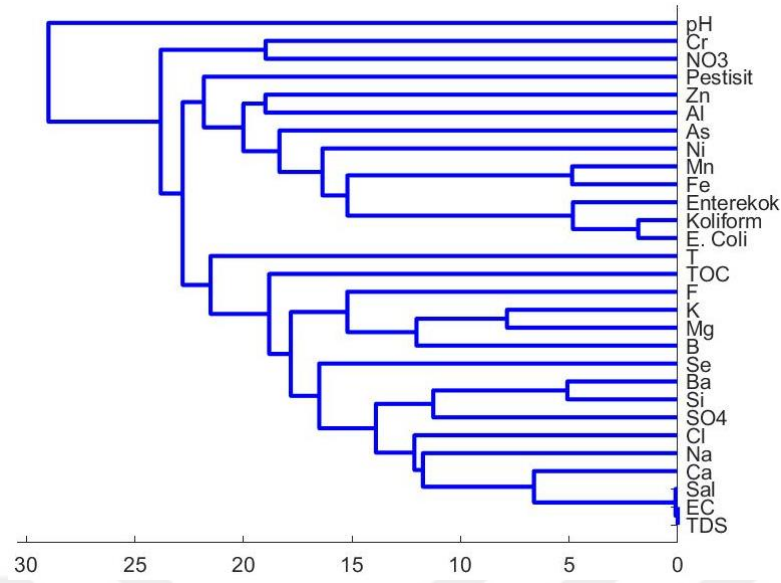
Şekil 4.80. Nöronların örnek sayılarına göre kümelerine ayrılması

Şekil 4.81, benzerliklerine göre nöron başına düşen örnek sayısını göstermektedir. Bu sayının en yüksek 3, en düşük 1 olduğu görülmektedir. Bu 4 kümeye bakıldığında, aslında homojen bir dağılım olmadığı görülmektedir.



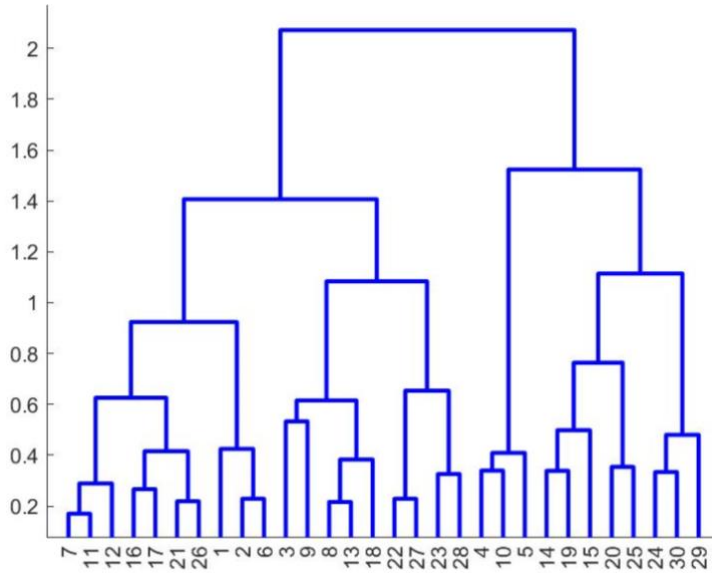
Şekil 4.81. Nöron başına düşen örnek sayısı

Altınova Bölgesi'nden elde edilmiş olan 29 adet su kalitesi parametresinin yatay dendrogram (ağaç grafiği) grafiği Şekil 4.82'de gösterilmektedir. Parametreler kendi içlerinde fizikokimyasal ve bakteriyolojik özellikler ile anyon-katyon gruplarına göre kümeler oluşturmuştur.



Şekil 4.82. Su kalitesi parametrelerinin oluşturduğu dendrogram grafiği

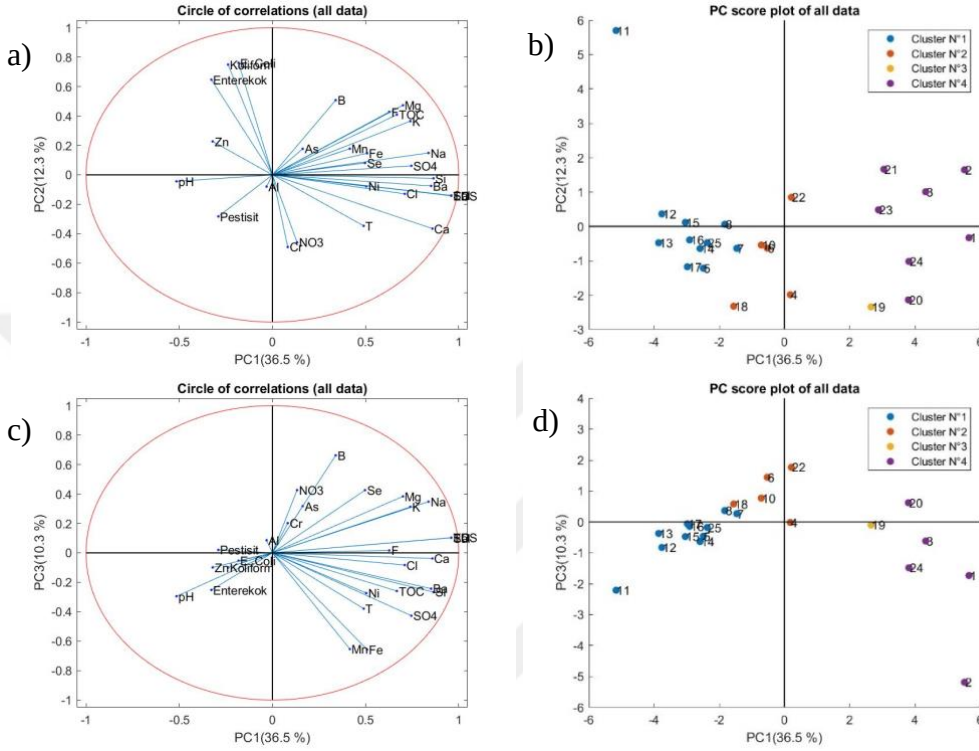
Şekil 4.83, 30 adet nöron için su kalitesi açısından benzerliklerini gösteren kümelenmiş dikey dendrogram grafiğini sunmaktadır. Burada nöronların birbiri ile gösterdikleri korelasyon tahmin edilmeye çalışılmıştır. Eksene en yakın olan nöronlar korelasyonu en yüksek olan nöronları ifade etmektedir. Şekil 4.83'e göre, 7. ve 11. nöronlar bu duruma örnektir.



Şekil 4.83. 30 adet nöron için oluşturulan dendrogram grafiği

Toplam varyansın çeyreğinden fazlasını açıklayan ilk Eksen 1 (%36,5), Mg^{2+} , TOK ve Na^+ (faktör koordinatı $< 0,8$) ile güçlü ve pozitif; S, TDS ve Ca^{2+} (faktör koordinatı $< 0,9$) ile çok güçlü ve negatif şekilde yüklenmiştir. Toplam varyansı %12,3 oranında açıklayan Eksen 2, NO_3^- ve Cr ($-0,6 < \text{faktör koordinatı} < -0,4$) orta düzeyde ve

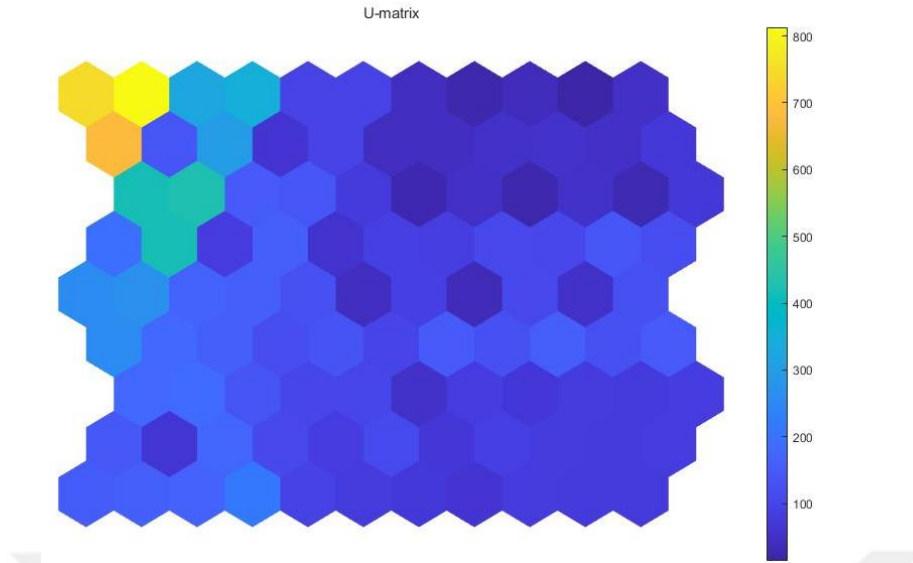
negatif yönlü şekilde bir değişimle yüklenirken, *Escherichia coli*, Koliform ve Enterekok parametreleri ise ($0,6 < \text{faktör koordinatı} < 0,8$) orta düzeyde ve pozitif yönlü şekilde bir değişimle yüklenmiştir. Toplam varyansı daha az oranda açıklayan (%10,3) Eksen 3 ise, B, Mn ve Fe parametreleriyle orta düzeyde ($-0,6 < \text{faktör koordinatı} < 0,6$) yüklenmiştir (Şekil 4.84a, b, c, d).



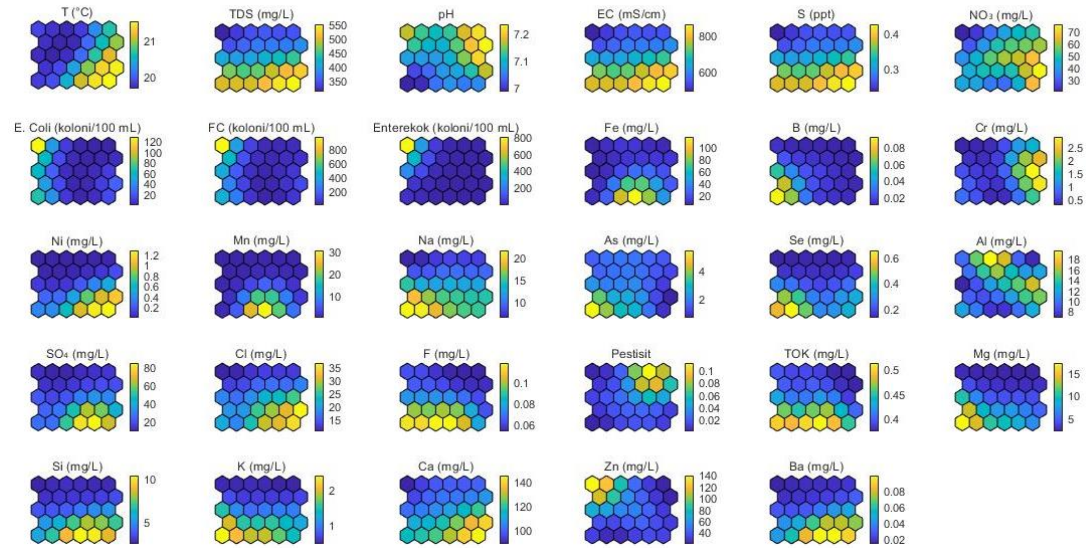
Şekil 4.84. Altınova Bölgesi’inde su kalitesi parametrelerinin TBA grafiği (a) parametrelerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (b) ölçümlerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (c) parametrelerin PC-1 ve PC-3 grafiği ve (d) ölçümlerin PC-1 ve PC-3 grafiği

Birleşik Uzaklık Matrisi (U-matris) algoritması ile SOM birimleri arasındaki alt grup sınırları Şekil 4.85’teki gibi belirlenmiştir. U matrisindeki komşu düğümler arasındaki yakınlık, haritada renklerle gösterilen Öklid mesafesine göre MATLAB R2021a programında oluşturulmuştur. Haritadaki mavi renkler yakın olan komşu düğümleri, kırmızı renkler ise birbirinden uzak olan düğümleri temsil etmektedir. Haritaya göre, sol-üst köşe hariç, genel olarak U-Matris’in mavi renklere hâkim olduğu görülmektedir.

Şekil 4.86’da her bir su kalitesi parametresi için oluşturulan SOM haritaları yer almaktadır. EC ve S parametreleri SOM haritalarında yer alan anyon-kasyon gruplarıyla (Cl^- , Ca^{2+}) ve TDS parametreleri ile benzer desenler oluşturmuştur. Bu parametrelerin her birinde de sol-üst bölge mavi bir renk kümesi oluştururken alt bölge ise turuncu bir renk kümesi oluşturmuştur. Kısaca, bu parametreler aynı yönlü korelasyon sergilemişlerdir. Fekal Koliform ve Enterekok parametreleri de kendi aralarında benzer renk desenleri oluşturmuştur ve pozitif yönlü korelasyonlara sahiptir.



Şekil 4.85. Altınova Bölgesi verilerine göre oluşturulan U-Matrix



Şekil 4.86. Altınova Bölgesi'ne ait su kalitesi parametreleri için oluşturulan SOM haritaları

4.4.4. Mayıs 2016 dönemi su kalitesi izleme verileri ile YAS kirlilik hassasiyeti indeks sonuçlarının istatistiksel analizi

4.4.4.1. Korelasyon analizi

Altınova bölgesinin Mayıs 2016 dönemine ait saha ve analiz ölçümü sonuçlarından elde edilen 24 adet su kalitesi parametreleri ile 6 adet YAS kirlilik hassasiyeti indeksleri (COP, PI, EPIK, SI, DI-P, DI) için toplamda 30 adet parametre ile Statistica Statsoft 12 programında korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Ancak, derinlik parametresinde yer alan 17 ve 25 nolu izleme noktasında veri temin edilememiştir. Bu

sebeple ilgili kuyulara ait veriyi elde edebilmek amacıyla, Şubat 2016 ve Mayıs 2016 dönemlerinde ölçülen kuyu derinliklerinin dönemsel olarak ortalaması alınmıştır. Ardından, Mayıs 2016 dönemindeki derinlik ortalaması, Şubat 2016 döneminde oluşan derinlik ortalaması ile oranlanmış ve 1,08 katsayısı elde edilmiştir. Oluşan bu katsayı ile Şubat 2016 yılında 17 ve 25 nolu kuyulardan elde edilen derinlik verileri çarpılarak Mayıs 2016 dönemi için istenilen verilerek elde edilmiştir.

Çizelge 4.72'ye göre, toplam TDS ile S ve EC parametreleri %100 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon oluşturmuştur. Benzer şekilde, Ca^{2+} parametresi, TDS parametresi ile S ve EC parametreleri %93,9 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü korelasyon gösterirken, Fe ve Mn parametreleri ise birbirleriyle %96,2 oranında çok güçlü ve pozitif yönlü korelasyon sergilemiştir. Yanı sıra, DI ve COP kirlilik hassasiyeti indeksleri ise, birbirleriyle %90,1 oranında çok güçlü ve negatif yönlü bir korelasyon oluşturmuştur. COP kirlilik hassasiyeti indeksi ile SO_4^{2-} , Si, Ca^{2+} ve Ba parametreleri %74,4-84,7 oranında güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon göstermiştir. EPIK kirlilik hassasiyeti indeksi ise SO_4^{2-} , Si, Ca^{2+} ve Ba parametrelerinin yanı sıra PI kirlilik hassasiyeti indeksi ile %77-87,6 oranında güçlü ve pozitif yönlü bir korelasyon sergilemiştir. Buna ek olarak, DI-P kirlilik hassasiyeti indeksi, COP ve EPIK indeksleri ile %76,8-81,5 oranında güçlü ve negatif yönlü bir korelasyon oluşturmuştur. DI kirlilik hassasiyeti indeksi ise, Si ve Ba parametreleri ile %76,1-78,7 oranında güçlü ve negatif bir korelasyon ortaya çıkarmıştır.

4.4.4.2. Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) sonuçları

Altınova Bölgesi'ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerinin zamansal ve mekânsal değişimlerdeki benzerlikleri ve farklılıklarını anlamak amacıyla HCA kullanılmıştır. Bağlantı mesafelerinin D_{link} / D_{max} olarak ifade edileceği kümeleme için Wards yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizde uzaklık katsayısı olarak, Öklidyen Mesafesi (Euclidean Distance) belirlenmiştir. İncelenen 30 adet parametre için ham veri seti kullanılmış ve Statistica StatSoft 12 Programında uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

HCA Altınova Bölgesi'nde tayin edilen su kalitesi parametrelerine bağlı olarak izlenen örnekleme noktalarının sergilediği heterojeniteyi ortaya çıkarmıştır. HCA sonuçları, Şekil 4.87'de yer almaktadır. HCA Altınova Bölgesi'nde tayin edilen 24 adet su kalitesi parametreleri ile 6 adet YAS kirlilik hassasiyeti indekslerine bağlı olarak izlenen örnekleme noktalarının sergilediği heterojeniteyi ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.87). HCA, örnekleme noktalarını $D_{link} / D_{max} * 100 < 50$ istatistiksel anlamlılık düzeyinde iki ana kümeye gruplandırmıştır.

Birinci ana kümede yer alan kuyuların çoğunluğu çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı arazisinde bulunan kuyulardan oluşmakta olup, karstik arazide yer alan 9, 21, ve 23 nolu kümeler ile aynı grupta kümelenemiştir.

İkinci ana kümenin birinci alt kümesinde yer alan kuyular ise, karstik yapılı olmakta olup, çalışma sahasındaki farklı noktaları temsil etmektedir.

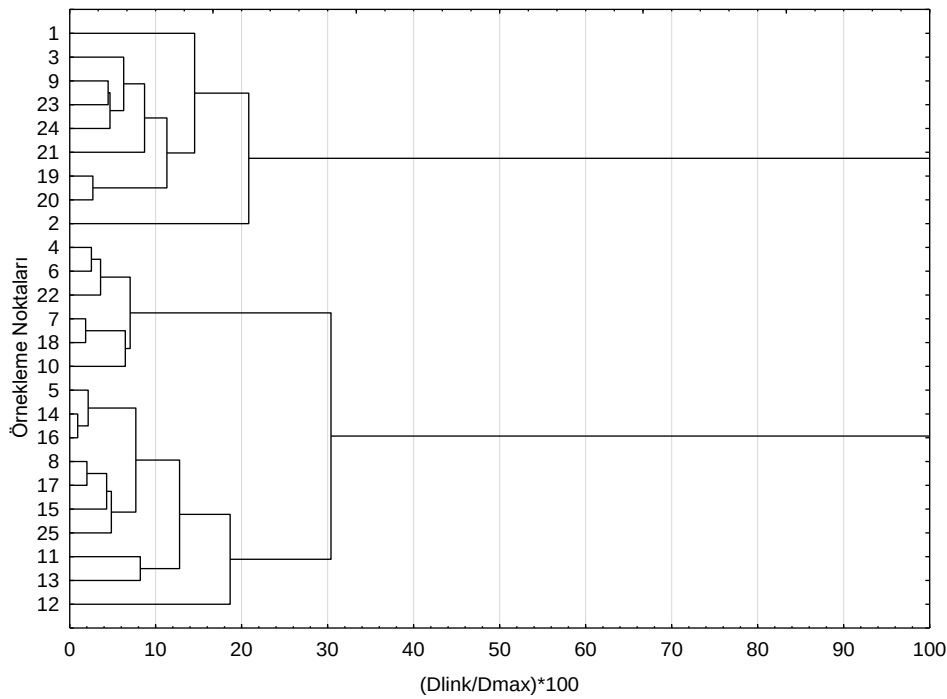
İkinci ana kümenin ikinci alt kümesinde yer alan kuyular ise, çoğunluğu çalışma sahasının sağ-üst köşesinde yer alan, karstik yapılı kuyulardan oluşmaktadır.

Çizelge 4.72. 30 adet parametre için Statistica StatSoft 12 programında oluşturulan korelasyon matrisi

	TDS	EC	S‰	NO ₃	Derinlik	Fe	B	Cr	Ni	Mn	Na	As	Se	Al	SO ₄	Cl	F	Pestisit	Mg	Si	K	Ca	Zn	Ba	COP	PI	EPIK	SI	DI-P	DI
TDS	1																													
EC	1,00	1																												
S‰	1,00	1,00	1																											
NO ₃	0,31	0,31	0,31	1																										
Derinlik	-0,30	-0,30	-0,30	0,15	1																									
Fe	0,35	0,35	0,35	-0,35	-0,34	1																								
B	0,31	0,31	0,31	0,07	0,22	-0,09	1																							
Cr	0,20	0,20	0,20	0,54	0,02	-0,13	-0,02	1																						
Ni	0,49	0,49	0,49	0,14	-0,23	0,22	0,00	0,05	1																					
Mn	0,27	0,27	0,27	-0,35	-0,21	0,96	-0,06	-0,15	0,28	1																				
Na	0,82	0,82	0,82	0,21	-0,01	0,33	0,61	0,12	0,25	0,31	1																			
As	0,08	0,08	0,08	-0,24	0,18	-0,04	0,33	-0,04	-0,21	-0,10	0,26	1																		
Se	0,53	0,53	0,53	0,20	-0,08	-0,11	0,28	0,01	0,16	-0,15	0,62	-0,08	1																	
Al	0,02	0,02	0,02	0,07	-0,31	0,04	0,02	0,11	-0,11	-0,08	-0,05	-0,10	0,03	1																
SO ₄	0,69	0,69	0,69	-0,12	-0,33	0,57	0,04	-0,04	0,43	0,46	0,40	-0,01	0,06	-0,09	1															
Cl	0,74	0,74	0,74	0,36	-0,31	0,40	0,18	0,27	0,40	0,33	0,57	0,12	0,05	-0,02	0,53	1														
F	0,46	0,46	0,45	-0,16	-0,15	0,34	0,40	-0,27	0,40	0,28	0,50	0,25	0,41	-0,10	0,46	0,21	1													
Pestisit	-0,27	-0,27	-0,27	0,04	0,35	-0,13	-0,16	0,19	-0,07	-0,12	-0,28	-0,03	-0,22	-0,13	-0,12	-0,25	-0,18	1												
Mg	0,60	0,60	0,60	-0,04	-0,05	0,23	0,87	-0,06	0,28	0,20	0,77	0,37	0,39	-0,04	0,41	0,40	0,72	-0,22	1											
Si	0,78	0,78	0,78	-0,11	-0,44	0,52	-0,03	-0,06	0,41	0,38	0,57	0,16	0,46	-0,09	0,79	0,53	0,63	-0,21	0,44	1										
K	0,63	0,63	0,63	0,02	-0,24	0,25	0,65	-0,04	0,17	0,12	0,72	0,35	0,47	0,04	0,46	0,52	0,75	-0,27	0,88	0,63	1									
Ca	0,94	0,94	0,94	0,31	-0,36	0,31	0,03	0,29	0,48	0,21	0,62	0,02	0,42	0,01	0,68	0,70	0,25	-0,22	0,34	0,77	0,40	1								
Zn	-0,32	-0,32	-0,32	-0,23	0,15	-0,15	-0,06	-0,16	-0,06	-0,13	-0,31	-0,08	-0,19	0,15	-0,15	-0,16	-0,10	-0,13	-0,17	-0,24	-0,16	-0,31	1							

Çizelge 4.72'nin devamı.

Ba	0,78	0,78	0,78	0,04	-0,50	0,47	-0,05	0,01	0,52	0,32	0,54	0,09	0,47	-0,07	0,72	0,57	0,64	-0,20	0,42	0,96	0,63	0,76	-0,27	1						
COP	0,69	0,69	0,69	0,07	-0,48	0,52	-0,22	0,01	0,61	0,42	0,32	-0,05	0,13	-0,12	0,74	0,69	0,35	-0,03	0,21	0,80	0,35	0,75	-0,15	0,85	1					
PI	0,64	0,64	0,64	0,09	-0,29	0,22	0,02	0,10	0,56	0,15	0,40	0,43	0,19	-0,15	0,47	0,62	0,34	-0,10	0,33	0,65	0,40	0,70	-0,19	0,71	0,76	1				
EPIK	0,72	0,72	0,73	0,06	-0,50	0,53	-0,20	0,03	0,63	0,43	0,35	-0,04	0,16	-0,13	0,77	0,72	0,38	-0,16	0,24	0,83	0,39	0,79	-0,17	0,88	0,97	0,77	1			
SI	-0,45	-0,45	-0,45	0,07	0,11	-0,35	0,02	0,06	-0,48	-0,29	-0,30	0,04	-0,17	0,14	-0,61	-0,44	-0,38	0,05	-0,30	-0,60	-0,38	-0,39	-0,15	-0,63	-0,70	-0,41	-0,66	1		
DI-P	-0,53	-0,53	-0,53	-0,01	0,09	-0,42	0,10	0,04	-0,52	-0,38	-0,35	0,05	-0,18	0,35	-0,63	-0,53	-0,36	-0,04	-0,27	-0,68	-0,35	-0,51	-0,06	-0,71	-0,82	-0,53	-0,77	0,91	1	
DI	-0,65	-0,65	-0,65	-0,06	0,16	-0,48	0,12	0,01	-0,61	-0,43	-0,40	0,03	-0,17	0,39	-0,72	-0,64	-0,40	0,02	-0,27	-0,76	-0,36	-0,67	0,06	-0,79	-0,90	-0,67	-0,89	0,82	0,95	1



Şekil 4.87. Altınova Bölgesi’nde izlenen örnekleme noktalarının Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerine dayalı HCA dendrogram grafiği

Altınova Bölgesi’nde gerçekleştirilen mekânsal analizde uzaklık katsayısı olarak Öklidyen mesafesi kullanılmıştır. HCA’da belirlenen istasyonlar arasındaki mesafeler ise Çizelge 4.73’te gösterilmektedir. Çizelge 4.73’e göre, istasyonların kendileri arasındaki değerin 0 olması, katsayının düştükçe (sıfıra yaklaştıkça) birbirine yakın olduğunu, katsayıların büyüdükçe mesafenin arttığını yani uzaklaştığını göstermektedir. Buna göre birbirine en yakın benzerlik 14 ve 16 istasyonlarında (Öklid Mesafesi: 21) gözlenirken, en uzak benzerlik ise 1 ve 11 istasyonlarında (Öklid Mesafesi: 683) gözlenmiştir. Çizelge 4.78’e göre birbirine en yakın benzerlik, 16 ve 14 numaralı örnekleme noktaları (Öklid Mesafesi: 21) arasında gözlenirken, en uzak benzerlik ise 1 ve 11 numaralı örnekleme noktaları (Öklid Mesafesi: 683) arasında gözlenmiştir.

CA sonuçları incelendiğinde, 16 ve 14 numaralı kuyuların birbirine yakın bölgelerde konumlandığı ve karstik arazi üzerinde yer aldığı için en yakın Öklid mesafesini ortaya çıkardığı görülmektedir. 11 (üst-orta ve karstik bölge) ve 1 (sağ-alt ve çakıltaşı yapılı bölge) numaralı kuyuların ise hem konum olarak hem de yapı olarak birbirinden farklı olduğu bilinmektedir. Bu sebeple en uzak Öklid mesafesi sonucunu ortaya çıkardığı görülmektedir. Sonuçlar, dendrogram grafiği (Şekil 4.87) ile benzer olup, kümeleme analizinin su kalitesi veri setine uygulanabildiğini ve analiz sonucunda güvenilir sonuçlara ulaşılabilirdiğini göstermektedir.

Çizelge 4.73. Altınova Bölgesi’nde izlenen örnekleme noktalarının Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerine dayalı HCA Öklid mesafeleri (Euclidean Distances)

İstasyonlar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0	347	294	360	538	377	465	495	294	426	683	670	629	562	577	566	528	449	225	200	274	391	282	222	513
2		0	283	380	498	407	452	477	360	441	616	634	504	516	532	514	490	439	371	359	355	413	359	352	466
3			0	155	292	173	229	263	126	230	438	475	379	314	337	317	287	220	190	215	185	178	136	136	276
4				0	192	59	119	164	159	137	358	414	313	217	248	222	191	112	246	278	176	80	179	210	173
5					0	178	78	89	310	187	193	336	177	38	111	48	71	102	414	452	326	160	333	368	109
6						0	103	157	170	143	354	420	314	206	246	214	187	99	249	284	176	74	179	215	191
7							0	79	242	139	256	357	229	104	153	112	96	43	341	379	258	91	265	296	115
8								0	260	110	204	280	217	100	96	111	47	75	374	416	297	113	302	325	98
9									0	193	450	452	423	333	343	340	294	226	142	184	175	172	104	104	288
10										0	292	297	301	203	193	216	143	108	305	348	255	103	257	265	162
11											0	229	190	169	123	170	171	262	570	613	487	310	496	514	210
12												0	348	324	239	330	275	344	572	620	517	360	522	520	303
13													0	165	177	156	187	242	530	563	415	289	447	480	191
14														0	91	21	75	126	440	479	352	183	359	392	108
15															0	94	77	162	461	505	377	200	384	409	112
16																0	87	138	446	485	356	190	363	399	109
17																	0	98	408	449	329	148	335	358	88
18																		0	328	366	254	84	260	282	124
19																			0	63	190	275	118	101	403
20																				0	215	317	148	132	440
21																					0	198	150	174	320
22																						0	206	227	157
23																							0	111	325
24																								0	356
25																									0

4.4.4.3. Temel bileşen analizi (TBA) sonuçları

Parametreler arasındaki benzerlik ve farklılıkları incelemek amacıyla TBA yöntemi uygulanmış ve 30 adet parametre için analizler gerçekleştirilmiştir. İlgili veri setinde limit değerinin altında kalan parametreler “<” işareti ile gösterildiği için hesaplama yaparken bu işaretin olduğu veriler için limit değerinin yarısı esas alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Veri setine “Outlier Removed” yöntemi uygulanmadan ham haline range normalizasyonu yapılmış ve Statistica StatSoft 12 Programında uygulamalar gerçekleştirilmiştir. TBA, Altınova Bölgesi su kalitesinde ortaya çıkan toplam varyansın %50’den fazlasını >1 özdeğere sahip ilk 2 eksenle ve toplam varyansın %84,87’sini >1 özdeğere sahip ilk 7 eksenle açıklamıştır (Çizelge 4.74, Şekil 4.88 ve Çizelge 4.75). Altınova Bölgesi’nde araştırma periyodunda izlenen örneklem noktalarında derinlik, Fe, Mn, Se ve pestisit parametrelerinin değişiminin toplam varyansa etkisi zayıf ($-0,5 < \text{faktör koordinatı} < 0,5$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.76 ve Şekil 4.89-a, b, c, d).

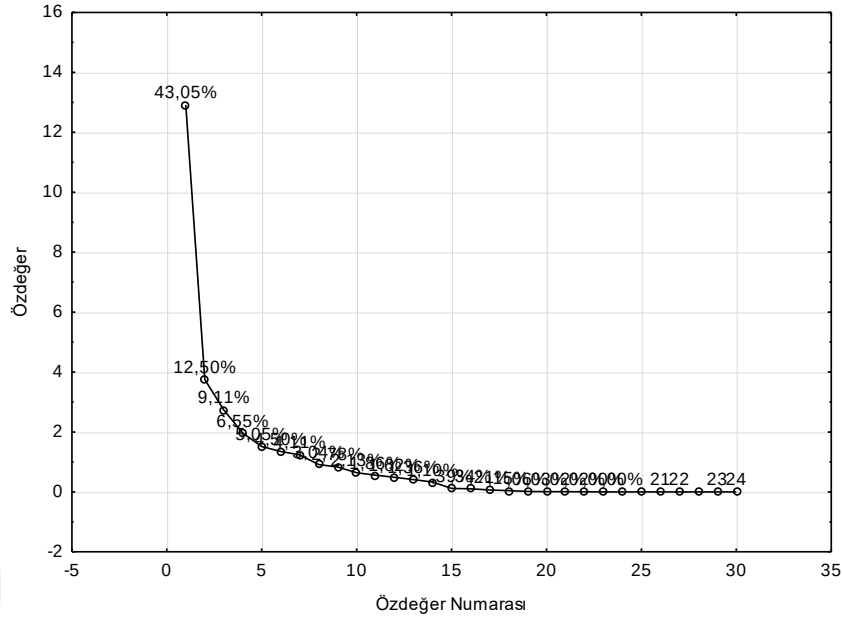
Çizelge 4.74. Altınova Bölgesi’ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerine dayalı TBA istatistik özeti

Eksen No	Özdeğer	Toplam Özdeğer	Toplam Varyansa Katkı (%)	Toplam Varyans (%)
1	12,92	12,92	43,05	43,05
2	3,75	16,67	12,50	55,55
3	2,73	19,40	9,11	64,66
4	1,96	21,36	6,55	71,21
5	1,52	22,88	5,05	76,26
6	1,35	24,23	4,50	80,76
7	1,23	25,46	4,11	84,87

Temel bileşenleri belirlemek için analiz sonucunda ortaya çıkan grafik kullanılmaktadır (Şekil 4.88). Grafiğe göre ve elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında ilk 7 eksen için özdeğerlerin önemli olduğu söylenebilmektedir (Çizelge 4.74 ve Şekil 4.88).

İzlenen su kalitesi parametreleri için, eksen özdeğerlerine bulunulan, oransal katkı değerlerine ait bilgiler Çizelge 4.75’te gösterilmektedir. Çizelge 4.75’e göre, TDS, EC, S, Si, Ba parametreleri ile EPIK kirlilik hassasiyetinin değişimlerinin Faktör 1 özdeğerine katkısı büyük ($> \%6$) olmuştur. Özdeğer katkısı açısından, Faktör 2’ye bakıldığında ise, B ve Mg^{2+} parametrelerinin daha büyük ($> \%11$) katkısı olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Faktör 3’e bakıldığında ise, NO_3 parametresinin ($> \%24$) Faktör 1 ve Faktör 2’de yer alan parametrelere göre daha fazla katkı sağladığı görülmektedir.

Toplam varyansın çeyreğinden fazlasını açıklayan ilk Eksen 1 (%43,05), TDS, EC, S, Si ve Ba ($0,90 < \text{faktör koordinatı} < 0,91$) ile çok güçlü ve pozitif yönlü; Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} parametreleri ve COP, PI, EPIK indeksleri ($0,67 < \text{faktör koordinatı} < 0,89$) ile güçlü ve pozitif yönlü şekilde yüklenirken, SI, DI-P ve DI indeksleri ile ($-0,84 < \text{faktör koordinatı} < -0,66$) güçlü ve negatif yönde yüklenmiştir.



Şekil 4.88. Toplam özdeğer verileri için scree plot sonucu

Çizelge 4.75. İzlenen parametrelerin eksen özdeğerlerine oransal katkısı

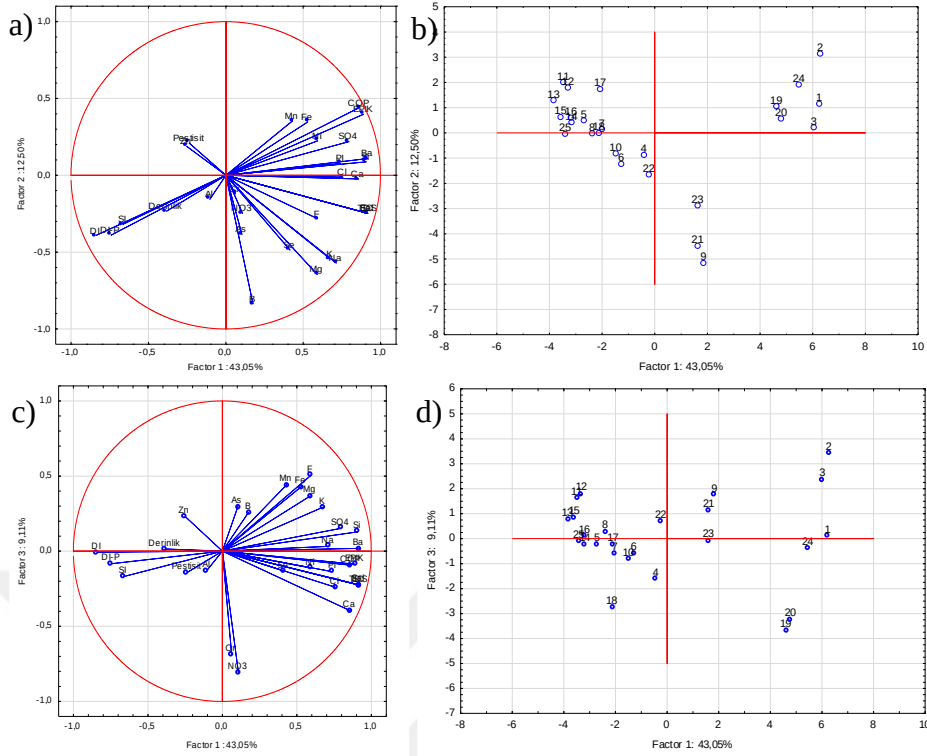
	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6	Faktör 7
TDS	0,065	0,016	0,019	0,004	0,001	0,003	0
EC	0,065	0,016	0,019	0,004	0,001	0,003	0
S%	0,065	0,016	0,018	0,004	0,001	0,003	0
NO ₃	0,001	0,016	0,24	0,01	0,001	0,033	0,004
Derinlik	0,011	0,014	0	0,238	0,039	0,037	0
Fe	0,022	0,032	0,068	0,069	0,129	0,026	0
B	0,002	0,187	0,025	0,011	0,012	0,023	0,034
Cr	0	0,004	0,172	0	0,066	0	0,023
Ni	0,027	0,013	0,005	0,01	0,015	0,024	0,001
Mn	0,014	0,033	0,071	0,041	0,171	0,068	0,002
Na	0,039	0,087	0	0	0,022	0,024	0,003
As	0,001	0,039	0,032	0,028	0,035	0,393	0,026
Se	0,013	0,063	0,006	0	0,143	0,027	0,146
Al	0,001	0,006	0,006	0,21	0,021	0,001	0,092
SO ₄	0,049	0,013	0,008	0,002	0,004	0,001	0
Cl	0,044	0	0,021	0,001	0,045	0,001	0,127
F	0,027	0,021	0,093	0,003	0,025	0	0,023
Pestisit	0,004	0,012	0,007	0,11	0,063	0,001	0,059
Mg	0,027	0,111	0,05	0,005	0,005	0,005	0,009
Si	0,064	0,002	0,006	0,003	0,014	0,019	0,03
K	0,035	0,079	0,031	0	0,005	0,002	0,007
Ca	0,057	0	0,057	0,008	0	0,004	0,001
Zn	0,005	0,009	0,02	0,012	0,119	0,026	0,341
Ba	0,065	0,003	0	0,001	0,026	0,015	0,024
COP	0,058	0,052	0,003	0,001	0,001	0,008	0,001
PI	0,042	0,002	0,007	0,013	0	0,188	0,01
EPIK	0,061	0,042	0,003	0	0,001	0,01	0,001
SI	0,034	0,027	0,01	0,062	0,029	0,031	0,032
DI-P	0,043	0,041	0,003	0,091	0,004	0,02	0,003
DI	0,055	0,041	0	0,058	0	0,004	0

Toplam varyansı %12,50 oranında açıklayan Eksen 2, Na^+ , Mg^{2+} ve K^+ parametreleri ($-0,64 < \text{faktör koordinatı} < -0,54$) ile orta düzeyde ve negatif yönlü yüklenmiş olup, B parametresi de ($\text{faktör koordinatı} > -0,83$) güçlü ve negatif yönlü bir değişimle yüklenmiştir. Toplam varyansı daha az oranda açıklayan (%9,11) Eksen 3 ise, NO_3 ve Cr parametreleriyle orta düzeyde ve negatif şekilde yüklenirken ($-0,80 < \text{faktör koordinatı} < -0,68$) F parametresi ile orta düzeyde ve pozitif şekilde ($\text{faktör koordinatı} < 0,50$) yüklenmiştir (Çizelge 4.76 ve Şekil 4.89a, b, c, d).

Çizelge 4.76’da korelasyonlara bağlı faktör yükleri yer almaktadır. Liu vd. (2003), tarafından sınıflandırılan faktör yüklerine göre değerler güçlü, orta ve zayıf şeklinde farklı renklere boyanmıştır.

Çizelge 4.76. Faktör-Değişken korelasyonları (korelasyonlara bağlı faktör yükleri)

	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6	Faktör 7
TDS	0,917	-0,248	-0,225	-0,089	0,037	0,061	-0,011
EC	0,917	-0,248	-0,225	-0,089	0,037	0,061	-0,011
S‰	0,917	-0,247	-0,223	-0,089	0,037	0,062	-0,011
NO_3	0,108	-0,249	-0,809	0,137	0,039	0,211	0,067
Derinlik	-0,383	-0,233	0,015	0,683	0,242	0,225	-0,005
Fe	0,529	0,347	0,43	-0,368	0,442	0,188	-0,022
B	0,175	-0,836	0,259	0,144	0,135	0,175	0,205
Cr	0,062	-0,121	-0,686	0,025	0,317	0,022	0,168
Ni	0,594	0,224	-0,112	0,14	-0,149	0,18	0,036
Mn	0,431	0,354	0,441	-0,282	0,51	0,302	-0,045
Na	0,714	-0,571	0,032	0,008	0,181	0,181	-0,059
As	0,104	-0,385	0,296	0,236	0,229	-0,729	0,18
Se	0,415	-0,486	-0,133	-0,011	-0,466	0,19	-0,424
Al	-0,103	-0,156	-0,127	-0,642	-0,179	0,041	0,337
SO_4	0,796	0,22	0,152	-0,059	0,079	0,035	0,017
Cl	0,757	-0,012	-0,239	-0,047	0,261	-0,028	0,396
F	0,594	-0,283	0,505	0,08	-0,196	0,012	-0,167
Pestisit	-0,237	0,21	-0,142	0,465	0,31	-0,035	-0,27
Mg	0,59	-0,645	0,368	0,101	0,084	0,085	0,103
Si	0,907	0,088	0,129	-0,078	-0,144	-0,16	-0,193
K	0,675	-0,544	0,293	0,009	-0,09	-0,057	0,09
Ca	0,858	-0,024	-0,396	-0,127	0,024	-0,075	-0,028
Zn	-0,252	0,189	0,233	0,155	-0,425	0,187	0,649
Ba	0,918	0,109	0,019	-0,054	-0,2	-0,144	-0,173
COP	0,863	0,44	-0,093	0,033	-0,032	-0,104	0,033
PI	0,74	0,076	-0,137	0,161	-0,003	-0,503	0,11
EPIK	0,89	0,397	-0,087	-0,03	-0,047	-0,116	0,041
SI	-0,665	-0,319	-0,169	-0,35	0,21	-0,206	-0,2
DI-P	-0,745	-0,391	-0,083	-0,424	0,079	-0,163	-0,066
DI	-0,843	-0,393	-0,006	-0,337	0,004	-0,072	-0,016



Şekil 4.89. Altınova Bölgesi’ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerinin TBA grafiği (a) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (b) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 2 grafiği, (c) parametrelerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği ve (d) ölçümlerin Eksen 1 ve Eksen 3 grafiği

4.4.4.4. Kendi kendini düzenleyen haritalar (SOM) sonuçları

Vesanto ve Alhoniemi (2000), tarafından öne sürülen optimal nöron sayısının bulunma yöntemi ile $(5\sqrt{n} / n = 25)$ hesaplama yapılmış ve 25 adet nöron sayısına ulaşılmıştır. Li vd. (2018) tarafından yapılan çalışma referans alınarak uygun harita boyutu için 20 ile 30 nöron sayılarını kapsayan harita boyutlarının yanı sıra 36 (6X6) ve 42 (6X7) nöronlar da uygun harita boyutunun belirlenebilmesi için MATLAB R2021a programında denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen QE ve TE değerleri Çizelge 4.77’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.77. Vesanto ve Alhoniemi’ye (2000) göre hesaplanan harita boyutlarına ait hata analizleri

	20 (4X5)	21 (3X7)	24 (4X6)	25 (5X5)	27 (3X9)	30 (5X6)	36 (6X6)	42 (6X7)
QE	0,8052	0,8166	0,7559	0,7478	0,7378	0,7216	0,6400	0,6404
TE	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 4.77’de elde edilen sonuçlar doğrultusunda QE ve TE değeri en az olan 36 (6X6) harita boyutu seçilmiş ve işlemler bu harita boyutu esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

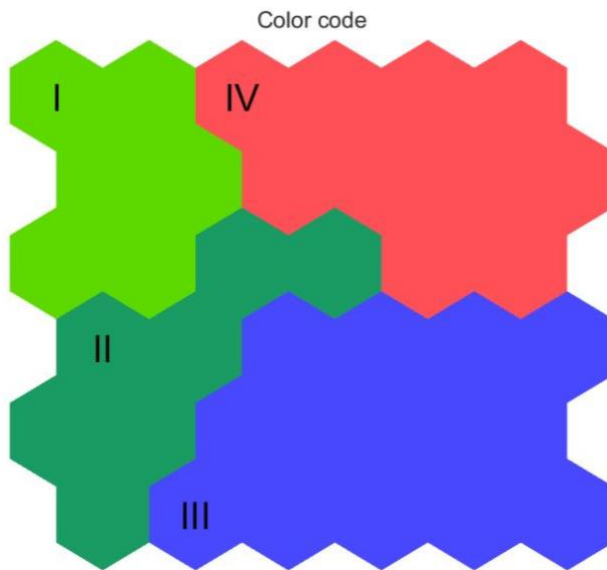
İşlemler, 24 adet su kalitesi parametreleri ile 6 adet YAS kirlilik hassasiyeti indeksleri (COP, PI, EPIK, SI, DI-P, DI) için toplamda 30 adet parametre için ham-outlier verileri kullanılarak ve Matlab R2021a programında range normalizasyonu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ek olarak 2, 3 ve 4 küme için denemeler yapılmıştır.

Oluşturulan bu kümeler ile Statistica programından elde edilen İstasyon (Şekil 4.87) kümelemeleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.87'deki İstasyon kümelemesinde istasyonların iki ana kümede kümelendiği görülmektedir. Şekil 4.87'de yer alan birinci ana kümedeki kuyular, Kohonen-SOM sonuçlarındaki (EK-5) birinci ve dördüncü kümede yer alan kuyuları kapsamıştır. Ayrıca, ikinci ana kümenin birinci alt kümesinde kümelenen kuyular (Şekil 4.87) ile Kohonen-SOM sonuçlarındaki (EK-5) ikinci kümede yer alan kuyular aynı şekilde kümeleneştir. Ek olarak, ikinci ana kümenin ikinci alt kümesinde kümelenen kuyular (Şekil 4.87) ise, Kohonen-SOM sonuçlarındaki (EK-5) üçüncü kümede yer alan kuyuları kapsamıştır.

İlgili veri setinde limit değerin altında kalan parametreler “<” işareti ile gösterildiği için hesaplama yaparken bu işaretin olduğu veriler için limit değerin yarısı esas alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

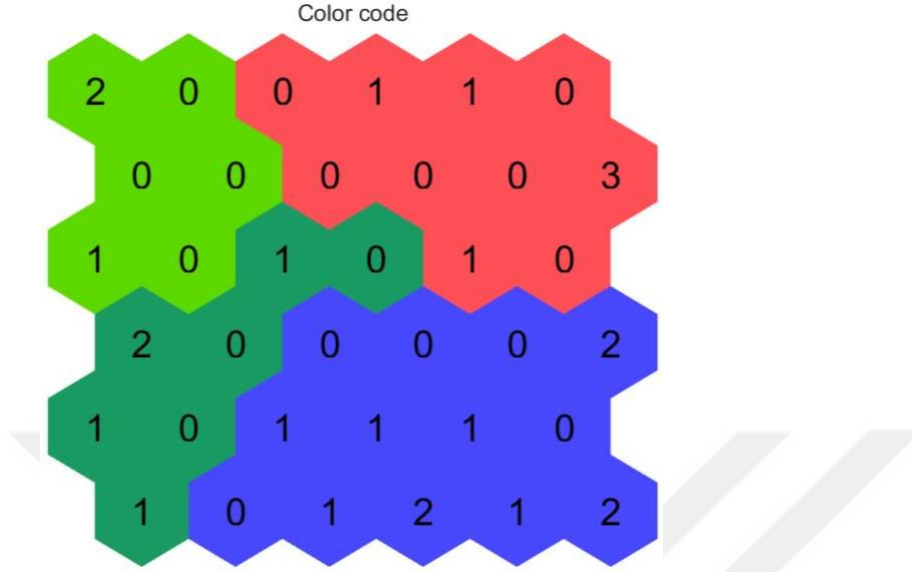
• 4 Küme için SOM Sonuçları

Uygun harita boyutu 6X6 (EK-5) şeklinde seçildikten sonra oluşturulan 36 adet nöron, örnek sayısına göre (25) 4 farklı kümeye ayrılmış ve Şekil 4.90'da sunulan bir dağılım elde edilmiştir. Burada, 1. Küme, karstik arazide yer alan kuyular ile kümeleneştir. 2. Küme ise, karstik arazi ve çalışma alanının sol bölümündeki üst-orta-alt bölümü temsil eden kuyular ile benzer parametrik özelliklerdeki kuyulara göre kümeleneştir. 3. Küme ise, çalışma alanının sağ-üst bölümünde yer alan kuyular ile kümeleneştir olup Statistica sonuçları (Şekil 4.87) ile benzerlik göstermiştir. 4. Küme ise, çalışma alanının sağında ve orta-alt bölgesini temsil eden kuyular ile kümeleneştir. Sonuç olarak, bu 4 küme, Statistica (Şekil 4.87) ve Kohonen-SOM programlarında benzer şekilde kümeleneştir olup, bu sebeple 4. Küme seçilmiştir.



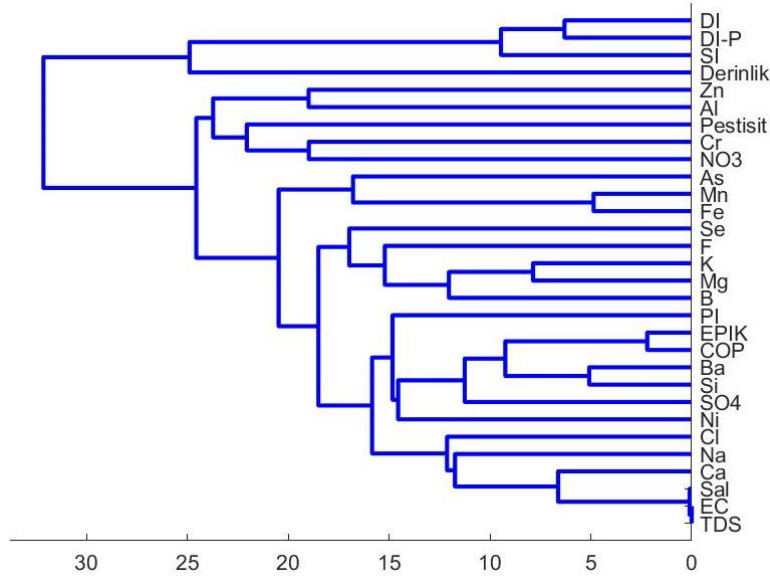
Şekil 4.90. Nöronların örnek sayılarına göre kümelerine ayrılması

Şekil 4.91, benzerliklerine göre nöron başına düşen örnek sayısını göstermektedir. Bu sayının en yüksek 3, en düşük 1 olduğu görülmektedir. Bu 4 kümeye bakıldığında, aslında homojen bir dağılım olmadığı görülmektedir.



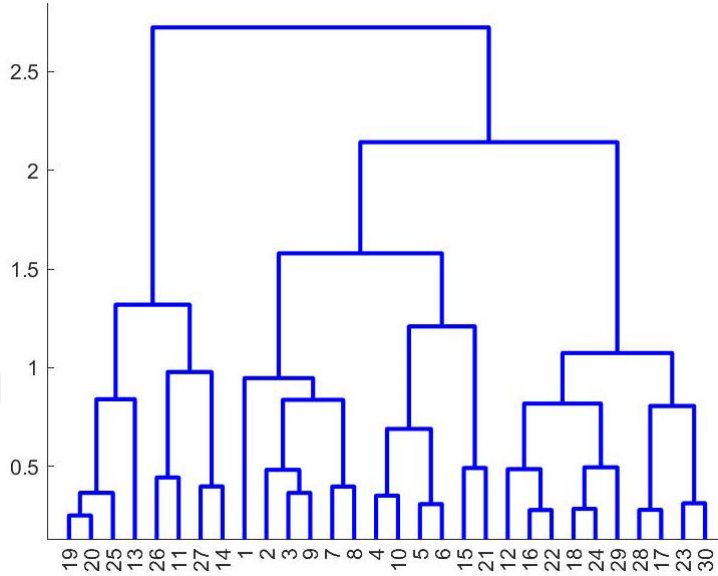
Şekil 4.91. Nöron başına düşen örnek sayısı

Altınova Bölgesi'nden elde edilmiş olan 30 adet parametre için yatay dendrogram (ağaç grafiği) grafiği Şekil 4.92'de gösterilmektedir. Parametreler kendi içlerinde indeksler olarak ve fizikokimyasal, bakteriyolojik özellikler ve anyon-katyon grupları olarak kümeler oluşturmuştur.



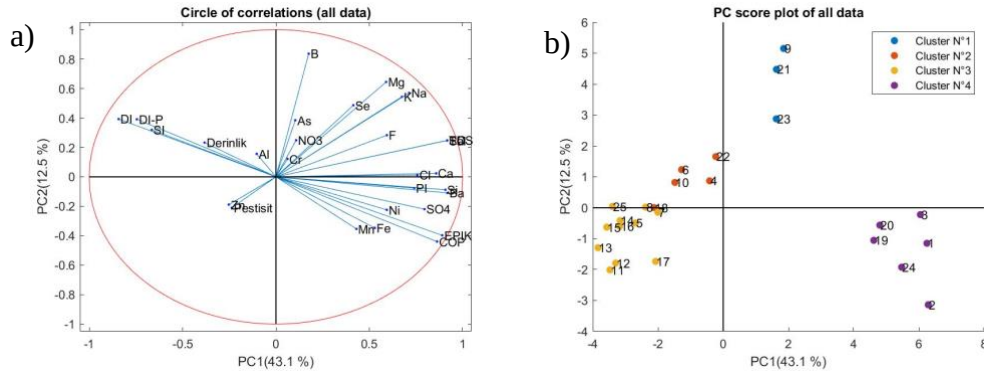
Şekil 4.92. Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerinin oluşturduğu dendrogram grafiği

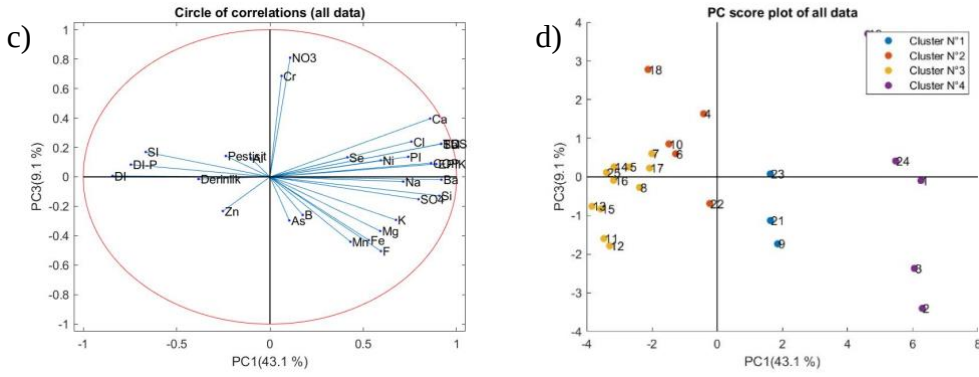
Şekil 4.93, 30 adet nöron için parametreler ve indeksler açısından benzerliklerini gösteren kümelenmiş dikey dendrogram grafiğini sunmaktadır. Burada nöronların birbiri ile gösterdikleri korelasyon tahmin edilmeye çalışılmıştır. Eksene en yakın olan nöronlar korelasyonu en yüksek olan nöronları ifade etmektedir. Grafiğe göre, 19. ve 20. nöronlar bu duruma örnektir.



Şekil 4.93. 30 adet nöron için oluşturulan dendrogram grafiği

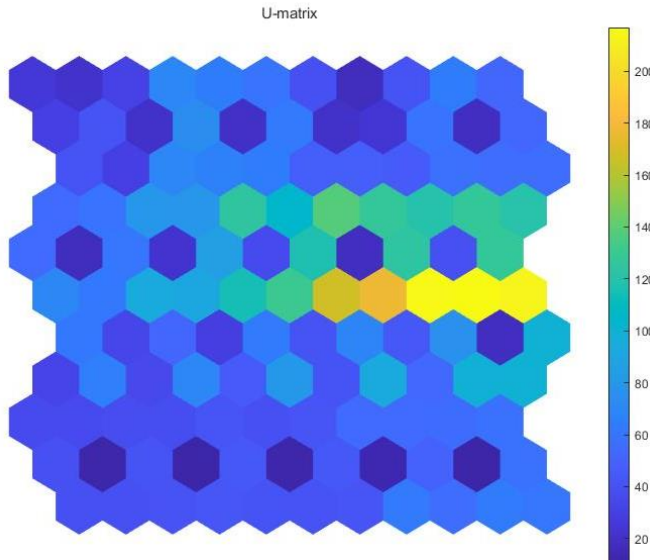
Toplam varyansın çeyreğinden fazlasını açıklayan ilk Eksen 1 (%43,1), Na^+ , TDS ve S parametreleri (faktör koordinatı $< 0,9$) ile çok güçlü ve pozitif; Si, Ba parametreleri ve EPIK, COP indeksleri (faktör koordinatı $< 0,9$) ile çok güçlü ve negatif şekilde yüklenmiştir. Toplam varyansı %12,5 oranında açıklayan Eksen 2, Mn, Fe, Ni ve SO_4^{2-} parametreleri ($-0,4 < \text{faktör koordinatı} < -0,2$) ile düşük düzeyde ve negatif yönlü şekilde bir değişimle yüklenirken, B parametresi ile ($0,8 < \text{faktör koordinatı} < 1$) güçlü düzeyde ve pozitif yönlü şekilde bir değişimle yüklenmiştir. Toplam varyansı daha az oranda açıklayan (%9,1) Eksen 3 ise, NO_3^- ve Cr parametreleriyle ($0,6 < \text{faktör koordinatı} < 0,8$) orta düzeyde ve pozitif yönlü şekilde yüklenmiştir (Şekil 4.94a, b, c, d).





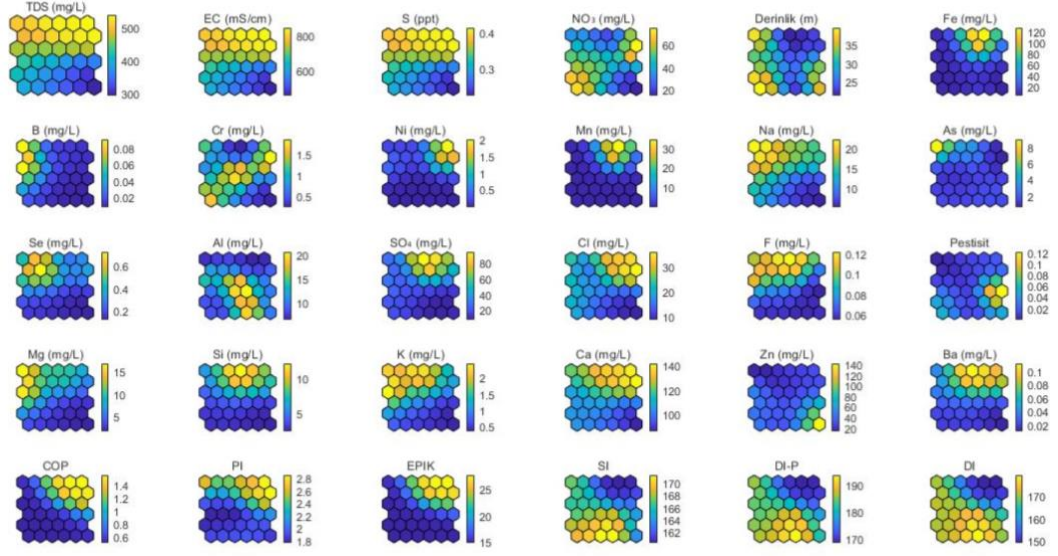
Şekil 4.94. Altınova Bölgesi’ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerinin temel bileşenler analizi grafiği (a) parametrelerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (b) ölçümlerin PC-1 ve PC-2 grafiği, (c) parametrelerin PC-1 ve PC-3 grafiği ve (d) ölçümlerin PC-1 ve PC-3 grafiği

Birleşik Uzaklık Matrisi (U-matris) algoritması ile SOM birimleri arasındaki alt grup sınırları Şekil 4.95’teki gibi belirlenmiştir. U matrisindeki komşu düğümler arasındaki yakınlık, haritada renklerle gösterilen Öklid mesafesine göre MATLAB R2021a programında oluşturulmuştur. Haritaya göre, orta-sağ bölge hariç genel olarak U-Matris’in mavi renklere (yakın olan düğümlerden oluştuğu) hâkim olduğu görülmektedir.



Şekil 4.95. Altınova Bölgesi’ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indekslerine ait verilere göre oluşturulan U-Matris

Şekil 4.96’da her bir su kalitesi parametresi için oluşturulan SOM haritaları yer almaktadır. EC, S ve TDS parametreleri birbirleri ile benzer desenler oluşturmuştur. Bu parametrelerin her birinde de sol-üst bölge turuncu, sağ-alt bölge ise mavi bir renk kümesi oluşturmuş ve aynı yönlü korelasyon sergilemişlerdir. İndekslerden ise, COP ile EPIK, DI-P ile DI birbirleriyle benzer renk kümesi oluşturmuştur.



şekil 4.96. Altınova Bölgesi'ndeki Mayıs 2016 su kalitesi parametreleri ve indeksleri için oluşturulan SOM haritaları

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Aksu Çayı ve Altınova Bölgesi'nin su kalitesi verileri kullanılarak zamansal ve mekânsal açıdan çok değişkenli istatistiksel analiz ve kendi kendini düzenleyen haritalar ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu iki çalışma alanının su kalitesi hakkında genel anlamda bilgi sahibi olabilmek için tanımlayıcı istatistiksel yöntemler kullanılmış olup, minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma verileri oluşturulmuştur. %ÇO, bulanıklık, AKM, Cl, SO₄²⁻, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, toplam alkalinite, bikarbonat, TK, FK, FS ve E.Coli parametrelerinin Aksu Çayı üzerinde yüksek standart sapmaya sahip olduğu ve yüksek değişim aralığı oluşturduğu görülmektedir. TDS, EC, NO₃ parametrelerinin ise Altınova Bölgesi yeraltı suyu verileri üzerinde aynı etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Aksu Çayı'nda izlenen parametreler için hazırlanan tanımlayıcı istatistiksel analiz çalışmaları sonuçları incelendiğinde genel olarak çalışma alanının denize dökülen bölümlerini temsil eden 10 numaralı istasyonun sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk verilerinin diğer istasyonlara nazaran daha yüksek olduğu ortaya çıkmış olup, deniz suyu girişiminin etkisi bu konuda büyüktür. Yanı sıra, en yüksek NO₃⁻, PO₄³⁻ ve AKM miktarının Yan Kol 1'de olduğu belirlenmiştir. Yan kol 1'de yüksek debili drenaj kanal bağlantısı bulunduğu ve tarımsal deşarj sularının da taşındığı göz önüne alındığında bu durumu desteklediği görülmüştür. En yüksek Cl⁻, Br⁻ ve bakteriyolojik parametre miktarları ise 10 numaralı istasyonda görülmüş olup, deniz suyu girişiminin yanı sıra bölgede bulunan atıksu artıma tesisine ait deşarj sularının da bu durumu etkilediği bilinmektedir.

Ek olarak, oluşturulan box-plotlar ile elde edilen verilerin mekansal olarak görselleştirilmesi sağlanarak izlenebilirliğinin kolaylaştırılması amaçlanmış olup, bu sayede bütün verilerin minimum ve maksimum değerleriyle istasyon bazındaki 1 yıllık değişimlerinin rahat bir şekilde gözlemlenebilmesi sağlanmıştır.

Aksu Çayı'nda izlenen parametrelerin aylık ve mevsimsel olarak değerlendirildiği korelasyon analizlerine bakıldığında (Çizelge 4.36 ve Çizelge 4.44) hemen hemen aynı parametre grupları üzerinde, sonuçların birbiri ile korele olduğu ve tutarlı sonuçlar oluşturduğu gözlenmiştir.

Aksu Çayı'na ait mekânsal HCA-Aylık ve HCA-Mevsimsel kümeleme sonuçlarına göre (Şekil 4.36 ve Şekil 4.47) elde edilen kümelerin ikisi de Dlink / Dmax * 100 < 50 istatistiksel anlamlılık düzeyinde iki ana kümeye gruplandırmıştır. Aylık olarak izlenen verilerin oluşturduğu kümeleme analizi sonucu, birinci ana kümenin büyük oranda üst bölge örnekleme noktalarını kapsadığını gösterirken, mevsimsel kümeleme analizi sonuçlarında ise, aynı kümenin büyük oranda üst ve orta bölge örnekleme noktalarını kapsadığı görülmüştür. Bunun sebebi ise, aylık yapılan değerlendirmelerde bazı örnekleme noktalarında ölçüm yapılamamasının yanı sıra kullanılan veri setindeki parametre sayılarının farklı oluşundan da kaynaklanmaktadır.

Öklid mesafesi kullanılarak oluşturulan kümeleme analizi sonuçları ise (Çizelge 4.37 ve Çizelge 4.45) aylık olarak elde edilen verilerde en yakın Öklid mesafesi 7 ve YK1 istasyonu olarak görülürken, mevsimselde ise 7 ve 6 numaralı istasyonların birbiri ile en yakın mesafeye sahip olduğu görülmüştür. Bu iki sonuç birbiri ile kıyaslandığında ise, 7 numaralı istasyonun aylık veya mevsimsel veri seti değişikliğine rağmen Öklid mesafesinde su kalitesi bakımından benzer sonuç verdiği görülmektedir.

Aksu Çayı'na ait zamansal HCA-Aylık ve HCA-Mevsimsel kümeleme sonuçlarına göre (Şekil 4.37 ve Şekil 4.48) elde edilen kümelerin aylık verilerin sonucuna göre $Dlink / Dmax * 100 < 50$ istatistiksel anlamlılık düzeyinde iki ana kümeye gruplanırken, mevsimsel verilerin sonucuna $Dlink / Dmax * 100 < 60$ istatistiksel anlamlılık düzeyinde iki ana kümeye gruplanmıştır. Aylık ve mevsimsel olarak izlenen verilerin oluşturduğu kümeleme analizleri sonucunda her iki kümeleme analizinin de birebir örtüştüğü görülmüştür.

Öklid mesafesi kullanılarak oluşturulan kümeleme analizi sonuçları ise (Çizelge 4.38 ve Çizelge 4.46) aylık olarak elde edilen verilerde en yakın Öklid mesafesi Mayıs 2021 ve Mart 2021 arasında görülürken, mevsimselde ise Yaz ve İlkbahar dönemlerinde görülmüştür. Bunun sebebi ise, aylık yapılan değerlendirmelerde bazı örnekleme noktalarında ölçüm yapılamamasının yanı sıra kullanılan veri setindeki parametre sayılarının farklı oluşundan da kaynaklanmaktadır.

Aksu Çayı'na ait TBA-Aylık sonuçlarına göre, >1 özdeğere sahip olan eksen sayısı 8 iken, TBA-Mevsimsel sonuçlarına göre ise 7 eksen olarak görülmüştür (Çizelge 4.39 ve Çizelge 4.47). Toplam varyansa etkisi zayıf olan parametreler her iki sonuçta da benzer çıkmıştır: PO_4^{3-} , NH_4 , TN, TP, KOİ. TBA-Aylık sonuçlarında toplam varyansın %50'den fazlasını ilk 3 eksen ile açıklarken, TBA-mevsimsel sonuçlarında ise ilk 2 eksen de açıklamıştır. Toplam varyansın %50'den fazlasını açıklayan bu ilk 2 ve 3 eksen de, varyansa etkisi zayıf olan parametreler ise hemen hemen benzer çıkmıştır: NO_3 , PO_4^{3-} , NH_4 , TN.

TBA-Aylık ve TBA-Mevsimsel sonuçlarının eksen özdeğerlerine olan oransal katkısına bakıldığında da benzer parametrelerin ilk 3 faktör üzerinde aynı oranda katkı sağladığı görülmektedir (Çizelge 4.40 ve Çizelge 4.48). Örneğin, her iki sonuçta da EC, S, Cl, Br, SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ ve Mg^{2+} değişimlerinin Faktör 1 özdeğerine katkısı büyük ($> \%7$) olmuştur.

Korelasyonlara bağlı faktör yükleri sonuçlarına bakıldığında ise, faktör 1 düzeyinde EC, S, Cl, Br, SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ ve Mg^{2+} parametrelerinin TBA-Aylık sonuçlarında faktör koordinatı $< 0,9$ olarak yüklenirken, TBA-Mevsimsel sonuçlarından ise faktör koordinatı $> -0,9$ olarak yüklenmiştir (Çizelge 4.41 ve Çizelge 4.49).

Aksu Çayı'na ait Kohonen-Aylık ve Kohonen-Mevsimsel sonuçları karşılaştırıldığında ise, her iki çalışmada da EC ve S parametreleri SOM haritalarında anyon-kasyon gruplarıyla (Cl, Br, Li, Na^+ , K^+ , Mg^{2+}), SO_4^{2-} ve TOK parametreleri ile benzer desenler oluştururken, ÇO-%ÇO, Renk parametreleri (Color-525, Color-620) ve FK-E.Coli parametreleri de kendi aralarında benzer renk desenleri oluşturmuştur (Şekil 4.46 ve Şekil 4.57).

Altınova Bölgesinde Mayıs 2016 döneminde yapılan ölçüm sonuçları ile YAS kirlilik hassasiyet indekslerinin korelasyonunun incelendiği Çizelge 4.72'de, COP, PI, EPIK indekslerinin TDS, EC, S, Ni, SO_4^{2-} , Cl, Si, Ca^{2+} ve Ba parametreleri üzerinde pozitif yönlü korelasyon izlediği görülürken, DI-P ve DI indekslerinin ise aynı parametrelerin yanı sıra diğer indekslerle de arasında negatif korelasyon oluşturduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise, ilgili indekslerin çalışma prensibinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, korelasyonlara bağlı faktör yüklerinin incelendiği Çizelge 4.76'daki sonuçlar da Çizelge 4.72'de elde edilen sonuçları doğrulamaktadır. Kısaca, HCA ve TBA sonuçları birbirleriyle hemen hemen uyumlu sonuçlar oluşturmuştur. Ancak Kohonen SOM sonuçlarının yer aldığı Şekil 4.96'da su

kalitesi parametreleri ile indekslerin birbiriyle çok fazla korele olmadıkları görülmektedir. Bu durum, kullanılan farklı metotların her zaman birbirleriyle uyumlu olmadıklarının da bir göstergesi olmuştur.

Çalışmanın yapıldığı bölge olan Aksu Çayı ile Altınova Bölgesi'nin yerüstü ve yeraltı su kalitesinin değerlendirilmesi açısından kullanılan bu üç farklı metot (HCA, TBA, Kohonen-SOM) aracılığı ile benzer sonuçların yanı sıra farklı sonuçların da elde ediliyor olması, çalışmada kullanılan metot sayısı ve çeşidi arttıkça su kalitesinin hangi açıdan değerlendirilmesinin daha doğru olabileceği konusunda yardımcı olmaktadır. Zamansal ve mekânsal benzerlikler ve gruplamalar, izleme sıklığını, örnekleme istasyonlarının sayısını ve ilgili maliyetleri azaltabilecek en uygun izleme stratejisinin tasarımı kolaylaştırmaktadır. Havza yönetimi çalışmalarında kapsamlı veri elde edilebilmek için pek çok kaynak (ekip, ekipman, zaman, maliyet) kullanımı gerekli olmaktadır. Ancak elde edilen veriler için düzenli ve kapsamlı analiz, yorum, kirlilik faktörlerinin tanımlanması ve su kalitesindeki zamansal/mekânsal değişimlerin irdelenmesi gereklidir ve bu amaçla da çok değişkenli istatistiksel tekniklerin kullanımı oldukça önemlidir.

Bu çalışmada uygulanan istatistiksel analizlerin, ilgili kurum ve kuruluşlara nehir havzalarında yürütülecek olan izleme çalışmaları için çok sayıdaki izleme noktasında, aylık olarak ve birçok parametre için veri elde etmek yerine daha az sayıda istasyon ve parametre kullanılarak, mevsimsel açıdan su kalite durumunu açıklayıcı optimal veri elde etme konusunda ışık tutacağı düşünülmektedir. Böylelikle hem zaman hem de maliyet açısından önemli kazanımlar elde edilirken, daha az veriyle ancak açıklayıcılık düzeyi yine yüksek olacak şekilde kısa sürede sonuçlar elde edilebilecektir. Sürekli ve mali olarak desteklenen projeler/çalışmalar olmadığı zamanlarda izleme programlarındaki izleme istasyonu, parametreleri ve sıklıklarını ekip, ekipman ve mali kaynaklara göre yönetmek ve optimize etmek için istatistiksel çalışma bulgularından faydalanılması önem kazanmaktadır.

Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ile uyumlu olarak ülkemizdeki nehir havzaları için uygulanmakta olan havza yönetimi çalışmaları ile hazırlanan Nehir Havza Yönetim Planları altı yılda bir revize edilmekte olup, pek çok izleme verisi içermektedir. Elde edilen veri setleri ile zamansal/mekânsal su kalitesi değişimlerinin irdelenmesinde istatistiksel analiz yöntemlerinden faydalanılması önerilmektedir. Tez çalışması kapsamında Aksu Çayı için su kalitesinin zamansal/mekânsal değişimlerinin istatistiksel yöntemlerle irdelenmesi neticesinde özellikle Aksu Çayı'nın orta ve mansap bölümlerinde evsel atıksu deşarjı, tarımsal faaliyetler ve mansap bölümde de deniz suyu girişi nedeniyle noktasal ve yayılı kirlilik etkileri gözlenmiş ve su kalitesinde önemli düzeyde kötüleşme olduğu tespit edilmiştir. Altınova Bölgesi'nde de özellikle yeraltısuyu kalitesinin jeolojik yapı ve farklı kirlilik etkileri nedeniyle oldukça heterojen özellik taşıdığı belirlenmiştir. Her iki çalışma sahası için su kalitesinin mekânsal ve zamansal değişimini en yüksek düzeyde açıklayan su kalite parametreleri ve izleme noktaları ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar, Antalya Havzası genelinde gerçekleştirilen su kalitesi izleme çalışmaları için önemli bir altlık oluşturacak ve Nehir Havza Yönetimi Planları'nın ilerleme sürecine fayda sağlayacaktır. Sonuç olarak tez çalışmasında uygulanan istatistiksel yöntemlerin, yeraltı ve yerüstü su kalitesinin zamansal/mekânsal değişimlerinin analizi ve özellikle Kohonen-SOM analizi ile görselleştirilmesi açısından havza yönetimi çalışmalarına ve ilgili literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abdi, H., Williams, L., 2010. Principal component analysis.
- Açıkel, S., Ekmekçi, M., 2018. Assessment of groundwater quality using multivariate statistical techniques in the Azmak Spring Zone, Mugla, Turkey. *Environmental Earth Sciences* 77:753, <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7937-x>.
- Akbal, F., Gürel, L., Bahadır, T., Güler, i., Bakan, G., Büyükgüngör, H., 2011. Multivariate Statistical Techniques for the Assessment of Surface Water Quality at the Mid-Black Sea Coast of Turkey. *Water Air Soil Pollut* 216:21–37, DOI 10.1007/s11270-010-0511-0.
- Akın, Y.K. (2008). Veri Madenciliğinde Kümeleme Algoritmaları ve Kümeleme Analizi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul: Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü
- Alberto, W.D., del Pilar, D.M., Valeria, A.M., Fabiana, P.S., Cecilia, H.A., de los Ángeles, B.M., 2001. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquia River Basin (Córdoba – Argentina). *Water Res.* 35, 2881–2894.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. H, and Hackett, G. 1987. DRASTIC: A standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, US EPA Report 600/2-87/035, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma, 1987.
- Amil, A., Çil, A., Avcı, P., Muhammetoğlu, A., Özyurt, N. N., 2020. SINTACS yöntemi ile karstik ortamlarda yeraltısuyu duyarlılığının belirlenmesi: Altınova akiferi örneği. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 26(3), 559-571.
- Amil, A., Çil, A., Avcı, P., Muhammetoğlu, A., Özyurt, N. N., 2020. Significance of validation for karst aquifers' vulnerability assessments: Antalya Travertine Plateau (Turkey) application. *Journal of Contaminant Hydrology* 228, 103557.
- APHA. 1998. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition. American Public Health Association, Washington, DC.
- Arslan H., 2013. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of groundwater quality in seawater intrusion area in Bafra Plain, Turkey. *Environ Monit Assess* 185:2439–2452, DOI 10.1007/s10661-012-2722-x.
- Atasoy, M. 2019. Kentsel Sürdürülebilirliğin Kendini Düzenleyen Haritalar İle Kümelenmesi. T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Barclay, J.R., Tripp, H., Bellucci, C.J., Warner, G., Helton, A.M., 2016. Do waterbody classifications predict water quality? *J. Environ. Manag.* 183, 1–12.
- Barzegar, R., Moghaddam, A.A., Tziritis, E., Fakhri, M.S., Soltani, S., 2017. Identification of hydrogeochemical processes and pollution sources of groundwater resources in the Marand plain, northwest of Iran. *Environ. Earth Sci.* 76, 297.
- Basumallick, L., Rohrer, J. 2019. Monitoring Inorganic Anions and Cations During Desalination. Application Note 260. Thermo Fisher Scientific, Sunnyvale, CA, USA.

- (<https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CMD/Application-Notes/AN-260-IC-Inorganic-Anions-Cations-Seawater-AN71351-EN.pdf>)
- Belgacem A (2018) Assessing hydrothermal groundwater flow path using Kohonen's SOM, geochemical data, and groundwater temperature cooling trend, El Hamma, southeastern Tunisia. *Environ Sci Pollut Res* 25:13597–13610. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1525-1>
- Bierman, P., Lewis, M., Ostendorf, B., Tanner, J., 2011. A review of methods for analysing spatial and temporal patterns in coastal water quality. *Ecol. Indic.* 11, 103–114.
- Bilgin, A., Konanç M.U., 2016. Evaluation of surface water quality and heavy metal pollution of Coruh River Basin (Turkey) by multivariate statistical methods. *Environ Earth Sci* 75:1029, DOI 10.1007/s12665-016-5821-0.
- Bouguerne, A., Boudoukha, A., Benkhaled, A., Mebarkia, A. H., 2017. Assessment of surface water quality of Ain Zada dam (Algeria) using multivariate statistical techniques. *International Journal of River Basin Management*, 15:2, 133-143, DOI: 10.1080/15715124.2016.1215325
- Braga, A., Ludermit, T., Carvalho, A., 2000. *Redes Neurais Artificiais – Teoria e Aplicações*, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, RJ.
- Chow, M.F., Shiah, F.K., Lai C. C., Kuo H. Y., Wang, K. W., Lin, C. H., Chen, T. Y., Kobayashi, Y., Ko, C. Y., 2016. Evaluation of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of Fei-Tsui Reservoir basin, Taiwan. *Environ Earth Sci* (2016) 75:6, DOI 10.1007/s12665-015-4922-5.
- Cil, A., Muhammetoglu A., Ozyurt, N. N., Yenilmez, F., Keyikoglu, R., Amil, A., Muhammetoglu H. "Assessment of groundwater contamination risk with scenario analysis of hazard quantification for a karst aquifer in Antalya, Turkey", *Environmental Earth Sciences* (2020) 79:191, <https://doi.org/10.1007/s12665-020-08932-5>.
- Civita, M. 1994. *Aquifer vulnerability maps to pollution*, Pitagora Ed., Bologna, 1994.
- Civita, M. and De Maio, M. 1997. *SINTACS Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia per la valutazione della vulnerabilit  degli acquiferi all'inquinamento*, Metodologia e automazione, Pitagora Ed., Bologna, 191 pages.
- COST 620 Final Raporu. 2003. *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*, François Zwahlen (Chairman, Editor in Chief), 297 pages.
- Davraz, A., Varol, S., 2022. Aksu ayı Havzası (Tefenni-Burdur) Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal İncelemesi. *AKÜ FEMÜBİD* 22 (2022) 025802 (390-404).
- Doerfliger, N. and Zwahlen, F. 1997. EPIK: a new method for outlining of protection areas in karstic environment, In: *International symposium and field seminar on "karst waters and environmental impacts"*, edited by: Günay, G. and Jonshon, A. I., Antalya, Turkey, Balkema, Rotterdam, 117–123.
- Doerfliger, N., Jeannin, P. Y., Zwahlen F. 1999. Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method), *Environ. Geol.*, 39(2): 165–176.

- European Communities, 2003. Public Participation in relation to the Water Framework Directive.
- Everitt, B., Dunn, G., 1992. Applied Multivariate Data Analysis, Oxford Uni. Press, New York, s:101.
- Foster, S.S.D., 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy”, In: Van Duijvenboden, W., Van Waegeningh, H.G. (Eds.), Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants, vol. 38. TNO Committee on Hydrogeological Research, Proceedings and Information, The Hague, 69–86.
- Gogu, R.C., Dassargues, A. 2000. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overly and index methods, Environ. Geol., 39(6): 549–559.
- Goldscheider, N., Klute, M., Sturm, S., Hötzl, H. 2000. The PI method: a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers, Z. angew. Geol., 46(3): 157-166.
- Gökdereli, G., 2015. Su Çerçeve Direktifi Kapsamında Yeraltısuyu Kütlelerinin Belirlenmesinde Tanımlanan Metodoloji ve Türkiye İçin Öneriler. T. C. ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI, Uzmanlık Tezi.
- H.C. Romesburg, 1984. Cluster Analysis for Researchers. Belmont, Calif.: Lifetime Learning Publications.
- Hamil, S., Arab, S., Chaffai, A., Baha, M., Arab, A., 2018. Assessment of surface water quality using multivariate statistical analysis techniques: a case study from Ghrib dam, Algeria. Arabian Journal of Geosciences 11: 754, <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4102-5>.
- Havza Yönetim Planlarının Hazırlanması, Uygulanması ve Takibi Yönetmeliği, 17 Ekim 2012 Tarihli ve 28444 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- ISO 5667-2. 1991. Water quality -- Sampling -- Part 2: Guidance on sampling techniques, International Organization for Standardization.
- ISO 5667-3. 1994. Water quality -- Sampling -- Part 3: Guidance on the preservation and handling of samples, International Organization for Standardization.
- ISO 5667-6. 1990. Water quality -- Sampling -- Part 6: Guidance on sampling of rivers and streams, International Organization for Standardization.
- ISO 7887. 2011. Water quality -- Examination and determination of colour, International Organization for Standardization.
- İnan, N. 1985. “Antalya travertenlerinin oluşumu ve özellikleri”, Cumhuriyet Üniv. Jeoloji Müh. Böl. Yayınları, Sivas.
- İnan, N. 1985. Antalya travertenlerinin oluşumu ve özellikleri, *Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yayınları*, Sivas.
- İşçen, C.F., Emiroğlu, Ö., İlhan, S., Arslan, N., Yılmaz, V., Ahiska, S., 2008. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. Environ Monit Assess 144:269–276, DOI 10.1007/s10661-007-9989-3.

- İşçen, C.F., Emiroğlu, Ö., İlhan, S., Arslan, N., Yılmaz, V., Ahiska, S., 2008. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. *Environ Monit Assess* 144:269–276, DOI 10.1007/s10661-007-9989-3.
- Kalyoncu, H., Barlas, M., Ertan, O.O., 2009. The study of the water quality of the Aksu stream according to the biotic index (diatoms and invertebrates) and physicochemical parameters, the relations of the organisms with the water quality, *J. Tübvav.*, 2 (1), 14–25.
- Kalyoncu, H., Barlas, M., Ertan, O.O., Cavusoglu, K., 2005. A study on the water quality of Aksu River, *SDU J. Nat. Appl. Sci.* 9 (1), 37–45.
- Kalyoncu, H., Barlas, M., Yorulmaz, B., 2008a. Aksu Çayı’nda (Isparta-Antalya) Epilitik Alg Çeşitliliği ve Akarsuyun Fizikokimyasal Yapısı Arasındaki İlişki, *Ekoloji*, 17 (66), 15–22. DOI:10.5053/ekoloji.2008.662.
- Kalyoncu, H., Yorulmaz, B., Barlas, M., Yıldırım, M. Z., Zeybek, M., 2008. Aksu Çayı’nın Su Kalitesi ve Fizikokimyasal Parametrelerinin Makroomurgasız Çeşitliliği Üzerine Etkisi. *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 20 (1), 23–33.
- Kalyoncu, H., Yorulmaz, B., Barlas, M., Yıldırım, M.Z., Zeybek, M., 2008b. Water quality of Aksu stream and effect of physicochemical parameters on the macroinvertebrate diversity, *Science and Eng. J of Fırat Univ.*, 20 (1), 23–33.
- Kaski, S., Kangas, J., and Kohonen, T., 1998. Bibliography of self-organizing map (SOM) papers: 1981-1997. *Neural Computing Surveys*, 1: 102-350.
- Ketchen, D.Jr. ve Shook, C.L., 1996. “The Application of Cluster Analysis in Strategic Management Research: An Analysis and Critique”, *Strategic Management Journal*, 17(6), pp. 441-458.
- Kohonen, T. 2014. Matlab implementations and applications of the self-organizing map, Unigrafia Oy, Helsinki, Finland.
- Kohonen, T., 1982. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43:59-69.
- Kohonen, T., 2001. Self-Organizing Maps. Third, Extended Edition. Springer Series in Information Sciences vol. 30, Berlin, Germany: Springer-Verlag, ISBN 978-3-540-67921-9
- Koltan Yılmaz, Ş., Patır, S. (2011) Kümeleme Analizi Ve Pazarlamada Kullanımı. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, İlkbahar 2011 Cilt:2 Sayı:1.
- Li T., Sun, G., Yang, C., Liang K., Ma S., Huang L., 2018. Using self-organizing map for coastal water quality classification: Towards a better understanding of patterns and processes, *Science of The Total Environment*, Vol. 628–629, S. 1446-1459.
- Monyr, N., Agoubi, B., Berrada, M., Abdallaoui, A., Hmaidi, A., 2016. Topological Maps of Kohonen Self-Organization (SOM) Applied To the Study of Sediments Contaminated With Heavy Metals, *American Journal of Engineering Research (AJER)*, Volume-5, Issue-4, pp-99-105.
- Muhammetoglu, A., Özyurt, N.N., Muhammetoğlu, H., Yenilmez, F., Akpınar, M., Çil, A. 2017. Yeraltısuyu Risk Değerlendirmesi ve Pestisit Risk İndikatörleri

- Kullanılarak Tarımsal Karstik Bölgelerdeki Yeraltısuyu Kalitesinin Entegre Yönetimi, TÜBİTAK 114Y696 nolu Proje Sonuç Raporu.
- Muhammetoğlu, A., Muhammetoğlu, H., Koçer, M. A., Yeşiltaş, M., Çoban, H., 2021. Nehir Su Kalitesinin Deterministik Modelleme, Su Kalite İndeksleri ve İstatistiksel Analizler ile Değerlendirilmesi ve Yönetimi, TÜBİTAK Projesi.
- Nosrati, K., Eeckhaut, M., 2012. Assessment of groundwater quality using multivariate statistical techniques in Hashtgerd Plain, Iran. *Environ Earth Sci*, 65:331–344.
- Oja, M., Kaski, S., and Kohonen, T., 2003. Bibliography of Self-Organizing Map (SOM) Papers: 1998-2001 Addendum. *Neural Computing Surveys*, 3: 1-156.
- Ouzerbane, Z., Loulida, S., Hmaidi, A., Essahlaoui1, A., Boughalem, M., Ousmana, H., Berrada, M., 2021. Study of the salinity of groundwater in the HAHA syncline by the Kohonen self-organized classification (Essaouira, Morocco), *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16598-0>.
- Özdamar, K., 2004. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi 2, Eskişehir: Kaan Kitabevi.
- Patil, V.B., Pinto, S.M., Govindaraju, T., Hebballu, V.S., Bhat, V., Kannanur, L.N., 2020. Multivariate statistics and water quality index (WQI) approach for geochemical assessment of groundwater quality—a case study of Kanavi Halla Sub-Basin, Belagavi, India. *Environ Geochem Health* (2020) 42:2667–2684, <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00500-6>.
- Polemio, M., Casarano, D., Limoni, P.P. 2009. Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, southern Italy), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 1461–1470.
- Pöllä, M., Honkela, T., and Kohonen, T., 2007. Bibliography of Self-Organizing Map (SOM) Papers: 2002-2005 Addendum. *Neural Computing Surveys*, forthcoming.
- Sarı, M., Altunbaş, S., Sönmez, N.K. 2010. Aksu araştırma ve uygulama alanının ideal arazi kullanım planlaması, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(1), 61-69.
- Sarı, M., Dinç, U. ve Şenol, S. 1982. “Karstik Toprakların Oluşu, Önemli Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri ile Sınıflandırılması”, *Türkiye Toprak İlmi Derneği 9. Kongresi*, İçel.
- Sarı, M., Sönmez, N.K., Altunbaş, S. 2009. Aksu araştırma ve uygulama istasyonu topraklarının morfolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), 157-168.
- SKKY, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31 Aralık 2004 Tarihli ve 25687 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Smith, L., 2002. A tutorial on Principal Components Analysis.
- Soltani, S., Moghaddam, A.A., Barzegar, R., Kazemian, N., Tziritis, E., 2017. Hydrogeochemistry and water quality of the Kordkandi-Duzdüzan plain, NW Iran: application of multivariate statistical analysis and PoS index. *Environ. Monit. Assess.* 189, 455.
- Sönmez, N.K., Sarı, M., Aksoy, E. 2007. “Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri

- Kullanılarak Sürdürülebilir Arazi Yönetimi ve Toprak Koruma Planının Oluşturulması: Antalya-Altınova Örneği”, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20:1, 11-22.
- Swan, A.R.H., ve Sandilands M., 1995. Introduction to Geological Data Analysis. Blackwell Science: Oxford, s. 446.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A., 2017. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). Science of the Total Environment 584–585, 131–144.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A., 2017. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey), Science of the Total Environment 584–585, 131–144.
- Şimşek, O., Altunbaş, S., Demirel, B. Ç., Gözükara, G. 2020. Alüviyal fizyografyalar üzerinde gelişen farklı topraklarda arazi değerlendirme çalışmaları, Mediterranean Agricultural Sciences, 33 (1). DOI: 10.29136/mediterranean.608330
- T.C. ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI, 2014. Ulusal Havza Yönetim Stratejisi (2014-2023).
- T.C. ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI, 2014. Ulusal Havza Yönetim Stratejisi (2014-2023).
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Nihai Raporu, Ek 11 – Antalya Havzası.
- Taşan, M., Demir, Y., Taşan, S., 2014. Groundwater quality assessment using principal component analysis and hierarchical cluster analysis in Alaçam, Turkey. Water Supply Vol 22 No 3, 3431, doi: 10.2166/ws.2021.390.
- Tatlıdil, H., 1996. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Cem Web Ofset, Ankara.
- TSE -TS 266 2005. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, sular-içme ve kullanma suları: Türk Standartları. Ankara.
- Tung-Chun Huang, 2001. The Effects of Linkage Between Business and Human Resource Managment Strategies, Personal Review, Vol.30, No.2, s.11.
- TÜBİTAK MAM, 2013. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi, Antalya Havzası, Proje Nihai Raporu, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 827 s.
- TÜBİTAK MAM. (2014). Havza Koruma Eylem Planları. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı adına TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi.
- Usman, U.N., Toriman, M.E., Juahir, H., Abdullahi, M.G., Rabi, A.A., Isiyaka H., 2014. Assessment of Groundwater Quality Using Multivariate Statistical Techniques in Terengganu. Science and Technology, 4(3): 42-49 DOI: 10.5923/j.scit.20140403.02.
- Ünlükaplan, Y., 2008. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerin Peyzaj Ekolojisi Araştırmalarında Kullanımı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Varol, M., Şen, B., 2009. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of Behrimaz Stream, Turkey. *Environ Monit Assess*, 159:543–553, DOI:10.1007/s10661-008-0650-6.
- Vatansever, M., 2008. Görsel Veri Madenciliği Tekniklerinin Kümeleme Analizlerinde Kullanımı ve Uygulanması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, s. 85.
- Vesanto, J., Alhoniemi, E., 2000. Clustering of the self-organizing map. *IEEE Trans. Neural Netw.* 11, 586–600
- Vias, J.M., Andreo B, Perles MJ, Carrasco F, Vadillo I, Jimenez P. 2004. “The COP method”. In: Zwahlen F, editor. *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*, EUR 20912. Brussels7 European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development, 163-71.
- Vias, J.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo I., Jimenez P. 2002. “Preliminary proposal of a method for vulnerability mapping in carbonate aquifers”, In: Carrasco F., Dura’n JJ, Andreo B, editors. *Second Nerja Cave Geol Symp Karst and Environment*, 20– 23 October 2002, Nerja, Espan’a; 75-83.
- Vias, J.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I., Jimenez, P. 2006. Proposed Method for Groundwater Vulnerability Mapping in Carbonate (Karstic) aquifers: the COP method: Application in Two Pilot Sites in Southern Spain, *Hydr. J.*, 14(6): 1-14.
- Vrouhakis, I., Tziritis, E., Stamatis, G., Panagopoulos, A., 2022. Groundwater Vulnerability Analysis of Tirnavos Basin, Central Greece: An Application of RIVA Method. *Water*, 14, 534. <https://doi.org/10.3390/w14040534>.
- Yap, C.K., Chee, M.W., Shamarina, S., Edward, F.B., Chew, W., Tan, S.G., 2011. Assessment of Surface Water Quality in the Malaysian Coastal Waters by Using Multivariate Analyses. *Sains Malaysiana* 40(10): 1053–1064.
- Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 7 Nisan 2012 Tarihli ve 28257 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- YSYK, 2012. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 30 Kasım 2012 Tarihli ve 28483 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Yürüklü, E., Koçal, O., 2012. Kendi Kendini Düzenleyen Haritalar Yöntemiyle Türkçe Sesli Harflerin Sınıflandırılması ve Tanınması, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 17, Sayı 1.
- Zghibi, A., Merzougui, A., Chenini, I., Ergaieg, K., Zouhri, L., 2016. Groundwater vulnerability analysis of Tunisian coastal aquifer: An application of DRASTIC index method in GIS environment. *Groundwater for Sustainable Development* 2, 169-181.
- Zwahlen, F. 2003. *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Scope-Goals-Results*, European Commision, Cost Action 620, Directorate-General, Science, Research and Development, 39 pages.

7. EKLER

EK-1. Aksu Çayı SOM analizinde 4 küme için istasyon-tarih karşılaştırması (Aylık)

11-12 Matrisi (4 Küme)			
Cluster	Neuron	Station	İstasyon-Tarih
1	99	52	YK1-4
1	99	112	9-4
1	99	124	10-4
1	119	40	4-4
1	119	64	5-4
1	121	88	7-4
1	130	38	4-2
1	132	50	YK1-2
1	132	63	5-3
2	90	121	10-1
2	92	37	4-1
2	92	39	4-3
2	92	78	6-6
2	102	97	8-1
2	103	25	3-1
2	103	61	5-1
2	103	73	6-1
2	103	75	6-3
2	107	76	6-4
2	107	100	8-4
2	112	14	2-2
2	112	87	7-3
2	113	85	7-1
2	113	99	8-3
2	113	109	9-1
2	113	111	9-3
2	114	13	2-1
2	123	3	1-3
2	123	4	1-4
2	123	51	YK1-3
2	124	62	5-2
2	126	26	3-2
2	126	74	6-2
2	126	98	8-2
2	126	110	9-2
2	128	86	7-2
2	129	1	1-1
2	129	2	1-2
2	129	49	YK1-1
3	1	53	YK1-5
3	1	77	6-5
3	1	113	9-5
3	1	125	10-5
3	2	65	5-5
3	3	67	5-7
3	3	101	8-5
3	4	79	6-7
3	4	103	8-7

EK-1.'in devamı.

Cluster	Neuron	Station	İstasyon-Tarih
3	4	114	9-6
3	4	115	9-7
3	5	18	2-6
3	5	43	4-7
3	5	66	5-6
3	6	108	8-12
3	7	47	4-11
3	7	48	4-12
3	7	107	8-11
3	8	35	3-11
3	8	36	3-12
3	8	71	5-11
3	8	119	9-11
3	11	7	1-7
3	11	15	2-3
3	11	16	2-4
3	11	19	2-7
3	11	27	3-3
3	11	28	3-4
3	11	31	3-7
3	11	72	5-12
3	11	83	6-11
3	16	21	2-9
3	16	41	4-5
3	16	42	4-6
3	16	90	7-6
3	16	91	7-7
3	16	102	8-6
3	17	84	6-12
3	19	23	2-11
3	19	44	4-8
3	19	120	9-12
3	27	20	2-8
3	27	24	2-12
3	28	45	4-9
3	28	89	7-5
3	28	96	7-12
3	29	46	4-10
3	30	95	7-11
3	40	30	3-6
3	41	22	2-10
3	41	104	8-8
3	42	8	1-8
3	43	32	3-8
3	44	5	1-5
3	44	6	1-6
3	44	12	1-12
3	44	17	2-5
3	44	60	YK1-12
3	44	80	6-8
3	50	82	6-10

EK-1.'in devamı.

Cluster	Neuron	Station	İstasyon-Tarih
3	50	94	7-10
3	51	54	YK1-6
3	51	55	YK1-7
3	53	29	3-5
3	53	33	3-9
3	53	92	7-8
3	53	116	9-8
3	55	9	1-9
3	55	11	1-11
3	62	81	6-9
3	62	93	7-9
3	66	10	1-10
3	71	106	8-10
3	72	70	5-10
3	73	117	9-9
3	74	105	8-9
3	76	57	YK1-9
3	76	59	YK1-11
3	76	68	5-8
3	76	69	5-9
3	76	118	9-10
3	83	34	3-10
3	83	58	YK1-10
3	86	56	YK1-8
4	35	126	10-6
4	35	127	10-7
4	46	128	10-8
4	56	129	10-9
4	56	132	10-12
4	58	131	10-11
4	67	123	10-3
4	68	130	10-10
4	78	122	10-2

EK-2. Aksu Çayı SOM analizinde 4 küme için istasyon-tarih karşılaştırması
(Mevsimsel)

5-8 Matrisi (4 Küme)			
Cluster	Neuron	Station	İstasyon-Tarih
1	1	23	1-(6-7-8)
1	1	24	2-(6-7-8)
1	1	26	4-(6-7-8)
1	1	30	7-(6-7-8)
1	1	31	8-(6-7-8)
1	1	32	9-(6-7-8)
1	1	35	2-(9-10-11)
1	6	14	3-(3-4-5)
1	6	28	5-(6-7-8)
1	7	41	7-(9-10-11)
1	11	25	3-(6-7-8)
1	11	37	4-(9-10-11)
1	11	39	5-(9-10-11)
1	11	40	6-(9-10-11)
1	11	42	8-(9-10-11)
1	11	43	9-(9-10-11)
1	12	13	2-(3-4-5)
1	12	27	YK1-(6-7-8)
1	16	36	3-(9-10-11)
1	16	38	YK1-(9-10-11)
2	18	29	6-(6-7-8)
2	19	7	6-(1-2-12)
2	19	9	8-(1-2-12)
2	19	15	4-(3-4-5)
2	23	2	2-(1-2-12)
2	23	6	5-(1-2-12)
2	23	8	7-(1-2-12)
2	23	12	1-(3-4-5)
2	24	10	9-(1-2-12)
2	26	1	1-(1-2-12)
2	26	34	1-(9-10-11)
3	33	4	4-(1-2-12)
3	33	19	7-(3-4-5)
3	36	5	YK1-(1-2-12)
3	36	20	8-(3-4-5)
3	37	18	6-(3-4-5)
3	38	3	3-(1-2-12)
3	38	17	5-(3-4-5)
3	40	16	YK1-(3-4-5)
3	40	21	9-(3-4-5)
4	5	11	10-(1-2-12)
4	5	22	10-(3-4-5)
4	5	33	10-(6-7-8)
4	5	44	10-(9-10-11)

EK-3. Altınova Bölgesi Kasım 2015 dönemi su kalitesi izleme verilerinin som analizinde 4 küme için kuyu numarası karşılaştırması

5-6 Matrisi (4 Küme)			
Cluster	Neuron	Station	Kuyu Numarası
1	15	19	35
1	15	20	36
1	30	3	3
1	30	22	41
1	30	23	44
2	12	7	14
2	16	8	15
2	18	18	33
2	21	10	17
2	27	4	5
2	27	6	10
2	27	9	16
2	27	21	39
3	1	11	20
3	1	12	22
3	1	13	24
3	2	14	26
3	2	15	27
3	6	16	29
3	7	5	7
3	8	25	48
3	11	17	31
4	5	1	1
4	5	2	2
4	9	24	45

EK-4. Altınova Bölgesi Mayıs 2016 dönemi su kalitesi izleme verilerinin SOM analizinde 4 küme için kuyu numarası karşılaştırması

5-6 Matrisi (4 Küme)			
Cluster	Neuron	Station	Kuyu Numarası
1	1	11	20
1	11	12	22
1	12	8	15
1	16	15	27
1	16	17	31
1	16	25	48
1	17	7	14
1	21	13	24
1	21	14	26
1	26	5	7
1	26	16	29
2	18	10	17
2	18	22	41
2	23	4	5
2	23	6	10
2	27	18	33
3	5	9	16
3	10	19	35
4	19	3	3
4	20	2	2
4	24	21	39
4	24	23	44
4	24	24	45
4	25	1	1
4	30	20	36

EK-5. Altınova Bölgesi Mayıs 2016 dönemi su kalitesi izleme verileri ve yas kirlilik hassasiyeti indeks sonuçlarının SOM analizinde 4 küme için kuyu numarası karşılaştırması

6-6 Matrisi (4 Küme)			
Cluster	Neuron	Station	Kuyu Numarası
1	1	21	39
1	1	23	44
1	3	9	16
2	4	6	10
2	4	22	41
2	5	10	17
2	6	18	33
2	15	4	5
3	17	7	14
3	18	5	7
3	23	25	48
3	24	14	26
3	24	16	29
3	29	13	24
3	30	15	27
3	34	8	15
3	34	17	31
3	36	11	20
3	36	12	22
4	19	1	1
4	25	2	2
4	27	3	3
4	32	19	35
4	32	20	36
4	32	24	45

ÖZGEÇMİŞ

Zeynep ÜNSAL

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2021-2024	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Tezsiz Yüksek Lisans 2023-2024	Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Ankara
Lisans 2015-2020	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Bursiyer 2021-2022	TÜBİTAK 119Y267 nolu proje Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya
Uzman Yardımcısı 2023-Devam Ediyor	Ziraat Bankası İstanbul Finans Merkezi, Performans Yönetimi Bölüm Başkanlığı, İstanbul