

**ERZURUM İLİ PASİNLER İLÇESİNDEKİ
HASANKALE ÇAYININ SULAMA SUYU
KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Raisa KALKAY

Danışman: Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

Yüksek Lisans Tezi

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı

2025

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ERZURUM İLİ PASINLER İLÇESİNDEKİ HASANKALE ÇAYININ SULAMA
SUYU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

(Evaluation of Irrigation Water Quality of Hasankale Stream in Pasinler District Erzurum
Province, Türkiye)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Raisa KALKAY

Danışman: Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

Erzurum
Eylül, 2025



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

**ERZURUM PASINLER İLÇESİNDEKİ HASANKALE ÇAYININ SULAMA SUYU
KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Prof.Dr.Nesrin YILDIZ danışmanlığında, Raisa KALKAY tarafından hazırlanan bu çalışma, 02/09/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Bitki Besleme Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

İMZA

Jüri Başkanı Prof.Dr.ÖmerANAPALI..... Aslı Islak İmzalıdır
Atatürk Üniversitesi

Danışman Prof.Dr. Nesrin YILDIZ Aslı Islak İmzalıdır
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Prof.Dr.Ali Rıza ÖZTÜRKMEN Aslı Islak İmzalıdır
Harran Üniversitesi

Enstitü Yönetim
Kurulunun .../.../... tarih
ve sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Alper NUHOĞLU

Enstitü Müdürü
Aslı Islak İmzalıdır

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi BAP Yüksek Lisans Tezi Kapsamında Desteklenmiştir. Proje No: FYL-2023-12744

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**Graduate School of Natural and
Applied Sciences**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ****ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU**

Yüksek lisans Tezi olarak Prof. Dr. Nesrin YILDIZ danışmanlığında sunulan “ **ERZURUM PASINLER İLÇESİNDEKİ HASANKALE ÇAYININ SULAMA SUYU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ** ” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	18	30
Kuramsal Temeller	16	30
Materyal ve Metot	14	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	11	20
Sonuçlar ve Öneriler	10	20
Tezin Geneli	14	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Raisa Kalkay	Prof. Dr. Nesrin YILDIZ
25.9.2025	25.9.2025
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince ve özellikle bu çalışmanın konu seçiminden numune alımına ve analiz sürecine kadar olan tüm aşamalarda bilgi, görüş ve desteğini daima yanımda hissettiren, Saygı değer Danışman Hocam **Prof. Dr. Nesrin YILDIZ’a**, göstermiş olduğu sonsuz sabır ve anlayış için en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamın değerlendirme jürisinde yer alan **Prof. Dr. Sn. Ömer ANAPALI** ve **Prof. Dr. Sn. Ali Rıza ÖZTÜRKMEN** hocalarıma değerli katkıları ve destekleri için minnet duygularımı belirtir şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın birçok safhasında katkı sağlayan ve desteklerini esirgemeyen kıymetli arkadaşım, doktora öğrencisi Muhammed ALTUN’a da teşekkür ederim. Arazi çalışmaları sırasında, alan tespiti aşamasında bizzat eşlik eden Pasinler İlçe Tarım Müdürü Hamza Moroğlu’na ve ilgili köyün muhtarı Mahmut Ulubaş’a katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca ve yaşamımın her evresinde beni koşulsuz sevgi ve destekle güçlendiren, en büyük şansım olarak gördüğüm değerli aileme ve bu süreçte bana manevi desteğini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FHD-2023-12728 numaralı “Yüksek Lisans Tez Projesi” kapsamında desteklenmiş olması tezime büyük bir katkı sağlamıştır. Bu vesile, su örneklerinin analiz sürecinde yardımını esirgemeyen DAYTAM ve BİYOTAR Analiz Laboratuvarı’na da ayrıca teşekkür ederim.

Raisa KALKAY

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERZURUM İLİ PASINLER İLÇESİNDEKİ HASANKALE ÇAYININ SULAMA SUYU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Raisa KALKAY

Danışman: Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

Amaç: Sulama suları ile tarım arazilerine taşınan ağır metallerin miktarlarının ve su kalitesiyle ilişkili parametrelerin konsantrasyonlarının belirlenerek denetim altına alınması, sürdürülebilir tarımsal üretimin sağlanabilmesi açısından son derece önemlidir. Bu bağlamda yürütülen bu çalışmanın temel amacı; Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Erzurum ili Pasinler ilçesinden geçen ve bölgede yaygın olarak tarımsal sulamada kullanılan Hasankale Çayı'ndaki tarımsal su kalitesi sınıfının ve ağır metal kirliliği düzeyinin toprak verimliliği üzerindeki etkilerini değerlendirmektir.

Yöntem: Araştırma kapsamında, 2023 yılı içerisinde Hasankale Çayı'nın Pasinler ilçesi sınırları içerisinde yer alan, atık suların ve kaplıca sularının çaya karıştığı noktalar ile bent aracılığıyla ayrılmış temiz su bölgelerinden su örnekleri toplanmıştır. Yaklaşık 8 km'lik bir alanı kapsayan bu bölgede, toplam 15 farklı noktadan, her biri 500 ml hacminde ve ikişer tekerrürlü olacak şekilde su numuneleri alınmıştır. Elde edilen bu su örnekleri, laboratuvar ortamında her parametre için uygun metodoloji kullanılarak, analiz edilmiştir. Sonrasında referans değerlerle karşılaştırılarak gerek sulama suyu olarak gerekse olası potansiyel toksik ağır metal vb kriterler açısından durumu ortaya konacaktır.

Bulgular; Elde edilen bulgular doğrultusunda, incelenen su örneklerinin pH değerleri hafif alkalın özellik göstermektedir. Elektriksel iletkenlik (EC) değerleri çoğunlukla II. ve III. sınıf su kalitesi aralığında yer almaktadır. Klorür (Cl) konsantrasyonları ise büyük ölçüde IV. sınıf su kalitesi kategorisine girmektedir. Sodyum (Na) düzeylerinin de ağırlıklı olarak IV. sınıf su kalitesine karşılık geldiği belirlenmiştir. Sülfat (SO_4) içerikleri yine çoğunlukla IV. sınıf su kalitesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Karbonat (CO_3) konsantrasyonları ise genel olarak I. sınıf su kalitesi kapsamında değerlendirilirken, bikarbonat (HCO_3) düzeylerinin çoğunlukla II. sınıf su kalitesi sınıfına ait olduğu tespit edilmiştir. Arsenik (As), molibden (Mo), bor (B) ve cıva (Hg) elementlerinin ise belirlenmiş sınır değerlere uygunluk göstermediği sonucuna varılmıştır. Magnezyum (Mg) içeriği, IV. sınıf su kalitesi düzeyinde değerlendirilmiştir. Kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) gibi potansiyel toksik ağır metal içeriklerinin ise belirlenen sınır değerlerin altında olduğu ve bu bağlamda önemli bir risk oluşturmadığı saptanmıştır.

Sonuç; Araştırma bölgesindeki 3 farklı bölgeden tekerrürlü olarak alınan örneklerde yapılan araştırmada 3 farklı su kolundaki suların kimyasal karakterlerinin birbirinden çok farklı olmadığı tespit edilmiştir. Mazgal girişi olarak isimlendirilen nokta Hasankale çayının Pasinler ilçesine giriş yaptığı noktadır. Bu örneğin içerik değerlerine baktığımızda söz konusu olan kirlilik ve kalite etmenleri 8 km alanda aralarında iki kola ayrılan sulama suyu olarak kullanılan kol ile Hasankale deresinden serbest akıp Aras nehrine kadar uzanan kol arasında da ciddi farklar olmadığı tespit edilmiştir.

Araştırma konusu Hasankale çayının tarımsal sulama ve ekolojik denge üzerine olası etkileri dikkate alındığında; özellikle gerek bitkiler için özel iyon etkileri (Na, B, Cl) ve sözü geçen iyonların toprakta kümlatif olarak miktarının artması sonucu toprağın fiziksel kimyasal

biyolojik özelliklerinin olumsuz etkilenmesine karşı ve gerekse ekolojik dengeyi korumak için; sık periyotlarla toprak ve su analizlerinin yapılarak takibi ve geçmişten bugüne yetiştiriciliği yapılan ürünlerin, morfolojik ve gözlemsel kimyasal analizlerinin teşhis ve analizlerinin yapılması gerekmektedir. Islah ve rehabilitasyon çalışmalarında (bitki artıklı tarım , minimum toprak işleme uygulamalarına tarım topraklarının organik madde düzeyini artıracak bazı gübrelerin (kompost çiftlik gübre, organo mineral gübre, yeşil gübre , gerektiği durumlarda kükkürtlü gübre vb) dahil edilerek, sürdürülebilir hedef doğrultusunda itinayla uygun düzeylerde ve şekilde uygulanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hasankale Çayı, Ağır Metaller, Su Kirliliği, Tarımsal Sulama,

Eylül 2025, 138 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

EVALUATION OF IRRIGATION WATER QUALITY OF HASANKALE STREAM IN PASINLER DISTRICT OF ERZURUM PROVINCE

Raisa KALKAY

Supervisor: Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

Purpose: Controlling the amounts of heavy metals transported to agricultural lands by irrigation water and the concentrations of parameters related to water quality is extremely important for ensuring sustainable agricultural production. In this context, the main objective of this study is to evaluate the effects of the agricultural water quality class and heavy metal pollution levels in the Hasankale Stream, which passes through the Pasinler district of Erzurum province in the Eastern Anatolia Region and is widely used for agricultural irrigation in the region, on soil fertility.

Method: Within the scope of the research, water samples were collected in 2023 from points where wastewater and spa water mix into the Hasankale River within the boundaries of Pasinler district, as well as from clean water areas separated by weirs. Covering an area of approximately 8 km, water samples were taken from a total of 15 different points, each with a volume of 500 ml and in duplicate. These water samples were analysed in a laboratory environment using appropriate methodologies for each parameter. Subsequently, they were compared with reference values to determine their suitability as irrigation water and to identify any potential toxic heavy metals, etc.

Findings: Based on the findings obtained, the pH values of the water samples examined show slightly alkaline properties. Electrical conductivity (EC) values mostly fall within the range of Class II and III water quality. Chloride (Cl) concentrations largely fall within the Class IV water quality category. It was determined that sodium (Na) levels also corresponded predominantly to Class IV water quality. Sulphate (SO_4) contents are again mostly within Class IV water quality limits. Carbonate (CO_3) concentrations are generally assessed as falling within Class I water quality, while bicarbonate (HCO_3) levels were found to mostly belong to Class II water quality. It was concluded that the arsenic (As), molybdenum (Mo), boron (B) and mercury (Hg) elements did not comply with the specified limit values. The magnesium (Mg) content was assessed as Class IV water quality. Potential toxic heavy metal contents such as cadmium (Cd) and lead (Pb) were found to be below the specified limit values and, in this context, were determined not to pose a significant risk.

Result; Research conducted on samples repeatedly taken from three different areas within the research region revealed that the chemical characteristics of the water in the three different watercourses were not significantly different from one another. The point referred to as the inlet is where the Hasankale stream enters the district of Pasinler. Looking at the content values of this sample, it was found that there were no significant differences in the pollution and quality factors in question between the branch used for irrigation water, which is divided into two branches in an 8 km area, and the branch that flows freely from the Hasankale stream to the Aras river.

Considering the potential effects of the Hasankale stream on agricultural irrigation and ecological balance, it is necessary to monitor soil and water analyses at frequent intervals and to diagnose and analyse the morphological and observational chemical analyses of products

cultivated from the past to the present, particularly in view of the specific ionic effects on plants (Na, B, Cl) and the negative impact on the physical, chemical and biological properties of the soil resulting from the cumulative increase in the amount of the aforementioned ions in the soil, and in order to protect the ecological balance. it is necessary to monitor the situation by conducting soil and water analyses at frequent intervals and to diagnose and analyse the morphological and observational chemical analyses of the products cultivated from the past to the present. In improvement and rehabilitation efforts (plant-based agriculture, minimum tillage practices), it is recommended that certain fertilisers (compost, farm manure, organo-mineral fertilisers, green manure, sulphur fertilisers when necessary, etc.) that increase the organic matter level of agricultural soils be included and applied carefully at appropriate levels and in appropriate ways, in line with sustainable goals.

Translated with DeepL.com (free version)Translated with DeepL.com (free version)

Keywords: Hasankale Stream, Heavy Metals, Water Pollution, Agricultural Irrigation,

September 2025, 138 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xv
GİRİŞ.....	1
Yağış Suları	3
Yüzeysel Sular	4
Yeraltı Suları	4
Dünya ve Türkiye'de Tarımsal Su Kaynakları Durumu.....	4
Türkiye'deki Tarımsal Su Kaynakları Potansiyeli	5
Erzurum'daki Tarımsal Su Kaynakları	7
Erzurum'daki yeraltı tarımsal su kaynakları	7
Erzurum'daki yüzeysel su kaynakları	8
Erzurum'daki Kaplıcalar	9
Sulama Suyunun Kalitesi ve Kirlilik Kaynakları.....	11
Sulama sularının özellikleri.....	11
Sulama suyunda kirlilik yaratan faktörler	12
Sulama Sularında Ağır Metal Kirliliği	14
Sulama suyu kaynaklarının evsel ve termal turizm ile kirlenmesi sonucu ortaya çıkan ağır metaller ve tuzlar	16
KURAMSAL TEMELLER.....	18
MATERYAL ve YÖNTEM	25
Materyal	25
Çalışma alanının (Erzurum/Pasinler) genel özellikler	25
İklimi	26
Toprak özellikleri ve jeolojik yapısı	26
Yetiştiricilik	27

Erzurum Pasinler ilçesindeki tarımda kullanılan su kaynakları	28
Erzurum Pasinler İlçesi Hasankale Çayında kirlilik yapan etmenler	28
Örneklerin alınma ve analize hazırlama aşamaları	31
Thermo Scientific Icp-MS çalışma prensibi	36
Su kalitesinin sınıflandırılması.....	37
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	39
Su Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçlarının Tarımsal Verimlilik Açısından	
Değerlendirilmesi.....	42
Su örneklerinin California tuzluluk EC (ppm) analizi	43
Su Örneklerinin ABD tuzluluk laboratuvar tuzluluk sınıflaması (USSL)analizi.....	45
Su örneklerinin (SAR)Sodyum absorpsiyon analizi	48
Su örneklerinin artık karbonat miktarı (RSC) analizi	49
Su örneklerinin BOR B (ppm) analizi.....	50
Su örneklerinin KI analizi	53
Su örneklerinin PI analizi.....	54
Su örneklerinin PS analizi.....	55
Su örneklerinin MR analizi	56
Su örneklerinin CI (ppm) analizi	59
Su örneklerinin CI (me/l) analizi	60
Su örneklerinin SO_4^{-2} (me/l) analizi.....	62
Su örneklerinin % Na analizi	62
Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarının toprak ve su kirliliği açısından	
değerlendirilmesi.....	64
Su örneklerinin reaksiyonu pH analizi	67
Su örneklerinin elektrik iletkenlik analizi ($dS\ m^{-1}$).....	68
Su örneklerinin klor analizi (Cl)	69
Su örneklerinin sodyum analizi (Na)	70
Su örneklerinin potasyum analizi (K)	71
Su örneklerinin sülfat analizi (SO_4^{-2}).....	72
Su örneklerinin karbonat analizi (CO_3^{-2})	73
Su örneklerinin bikarbonat analizi (HCO_3^{-})	74
Su örneklerinin magnezyum (Mg) analizi (ppb).....	75
Su örneklerinin krom analizi (Cr)	80
Su örneklerinin mangan analizi (Mn)	81
Su örneklerinin demir analizi Fe (ppb)	82

Su örneklerinin kobalt analizi Co (ppb).....	84
Su örneklerinin nikel analizi Ni (ppb).....	85
Su örneklerinin bakır analizi Cu (ppb).....	86
Su örneklerinin çinko (Zn) analizi (ppb).....	87
Arsenik Analizi (As)	91
Su örneklerinin molibden Mo (ppb) analizi	91
Su örneklerinin kadminyum (Cd) analizi (ppb)	92
Su örneklerinin Cıva (Hg) analizi (ppb).....	93
Su örneklerinin kurşun (Pb) analizi (ppb).....	94
Su örneklerinin Bor (B) analizi (ppm)	95
Su örnekleri korelasyon analizi ve değerlendirilmesi	95
SONUÇ VE ÖNERİLER	102
KAYNAKÇA	115
ÖZGEÇMİŞ.....	120

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1. Türkiye’de Havzalar	6
Tablo 2. Erzurum İlinin Su Potansiyeli	7
Tablo 3. Erzurum İli İçerisindeki Önemli Akarsular ve Yıllık Ortalama Debileri.....	8
Tablo 4. Erzurum'da bulunan termal alanlar	10
Tablo 5. Pasinler Hasankale Çayı Su Örnekleri Alma Noktaları.....	29
Tablo 6. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler	39
Tablo 7. Su Kalite Sınıfları	40
Tablo 8. pH İçeriklerine Göre Suların Yorumlanması	40
Tablo 9. Toplam Eriyebilir tuzların konsantrasyonu	40
Tablo 10. (SAR)Sodyum Adsorpsiyon Oranı	41
Tablo 11. Bor İyonunun Konsantrasyonu	41
Tablo 12. Suların Yüzde Sodyum Oranı.....	41
Tablo 13. Artık Karbonat Miktarı.....	41
Tablo 14. Klorür Oranı	41
Tablo 15. KI, MR, PI, PS Su kalite İndeksleri.....	42
Tablo 16. Klor (Cl), Sülfat (SO ₄).....	42
Tablo 17. Su Örneklerinin Tarımsal Kalite Parametreleri	42
Tablo 18. Su Örneklerinin Tarımsal Kalite Parametreleri	47
Tablo 19. Su Örneklerinin Tarımsal Kalite Parametreleri.....	52
Tablo 20. Su Örneklerinin Tarımsal Kalite Parametreleri	58
Tablo 21. Su Örneklerinin Kimyasal Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi	65
Tablo 22. Su Örneklerinin Sürekli ve Kısa Dönem Sulama Uygunluğuna Göre Analiz Sonuçları 1	76
Tablo 23. Su Örneklerinde Kirlilik Yaratıcı Elementler Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi 2.....	89
Tablo 24. Su Örnekleri İstatistik Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi	95
Tablo 25. Farklı Su Örneklerinin KI, PI, PS, MR, SAR, RSC, Na, ve Cl Değerlerine Ait Korelasyon Katsayısı Analiz Sonuçları	96
Tablo 26. Su örnekleri İstatistik Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi	97
Tablo 27. Su örnekleri İstatistik Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çalışma alanı (Pasinler) genel görünüm	29
Şekil 2. Uydu görüntüsü ile örnek alma noktaları.....	30
Şekil 3. Mazgal girişi karışmamış su alanı.....	31
Şekil 4. Mazgal girişi karışmamış su alanı.....	32
Şekil 5. Kuyu 1 girişi su örneği alma alanı	32
Şekil 6. Kuyu 1 girişi su örneği alma alanı	33
Şekil 7. Kuyu 2 girişi örnek alanı.....	33
Şekil 8. Kaplıca çıkış 500 mt	34
Şekil 9. Örnek alım süreci	34
Şekil 10. Sulama suyu olarak ayrılan kanalın su yüzeyine çıkış noktası	35
Şekil 11. Sulama suyu olarak ayrılan suyun devamı.....	35
Şekil 12. Sulama alanlarında yetiştirilen ürün örneği	35
Şekil 13. Numunelerin laboratuvarda analiz aşamalarının hazırlanması	36
Şekil 14. ICP_MS cihazı	37
Şekil 15. Su örneklerinin EC (dS m^{-1}) analiz sonuçları	44
Şekil 16. Su örneklerinin Eriyebilir tuzların California tuzluluk sınıflaması EC (ppm) analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	44
Şekil 17. Su örneklerinin USSL analiz sonuçları	45
Şekil 18. Su örneklerinin eriyebilir tuzların ABD tuzluluk sınıflaması (USSL) tuzluluk sınıflaması EC (ppm) analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	46
Şekil 19. Su örneklerinin sodyum (SAR) analiz sonuçları.....	48
Şekil 20. Su örneklerinin Sodyum (SAR) analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	49
Şekil 21. Su Örneklerinin artık karbonat miktarı (RSC) analiz sonuçları.....	50
Şekil 22. Su örneklerinin bor B (ppm) analiz sonuçları	50
Şekil 23. Su örneklerinde bor içeriğinin bitki türlerine göre sulama suyu uygunluğuna dağılımı.....	51
Şekil 24. Su örneklerinin KI analiz sonuçları	53
Şekil 25. Su örneklerinin KI analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	53

Şekil 26. Su örneklerinin PI analiz sonuçları	54
Şekil 27. Su örneklerinin PI analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	55
Şekil 28. Su örneklerinin PS analiz sonuçları	55
Şekil 29. Su örneklerinin PS analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	56
Şekil 30. Su örneklerinin MR analiz sonuçları	57
Şekil 31. Su örneklerinin MR analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	57
Şekil 32. Su örneklerinin CI analiz sonuçları.....	59
Şekil 33. Su örneklerinin CI (ppm) analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	60
Şekil 34. Su örneklerinin CI (me/l) analiz sonuçları.....	61
Şekil 35. Su örneklerinin CI (me/l) analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	61
Şekil 36. Su örneklerinin SO_4^{-2} (me/l) analiz sonuçları	62
Şekil 37. Su örneklerinin %Na analiz sonuçları.....	63
Şekil 38. Su örneklerinin %Na analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	63
Şekil 39. Su örneklerinin pH analiz sonuçları.....	67
Şekil 40. Su örneklerinin PH % dağılım grafiği.....	67
Şekil 41. Su örneklerinin EC (dS m^{-1}) analiz sonuçları	68
Şekil 42. Su örneklerinin EC analiz sonuçlarının % dağılım grafiği	69
Şekil 43. Su örneklerinin CI (me/l) analiz sonuçları.....	69
Şekil 44. Su örneklerinin klor (Cl) analizi sonuçlarına göre sınıfsal dağılım grafiği	70
Şekil 45. Su örneklerinin Na (me/l) analiz sonuçları	71
Şekil 46. Su örneklerinin sodyum analizi sonuçlarına göre sınıfsal dağılım grafiği.....	71
Şekil 47. Su örneklerinin K (me/l) analiz sonuçları	72
Şekil 48. Su örneklerinin $\text{SO}_4(\text{me/l})$ analiz sonuçları.....	73
Şekil 49. Su örneklerinin sülfat analizi sonuçlarına göre sınıfsal dağılım grafiği	73
Şekil 50. Su örneklerinin CO_3^{-2} (me/l) analiz sonuçları.....	74
Şekil 51. Su örneklerinin HCO_3^{-} (me/l) analiz sonuçları	74
Şekil 52. Su örneklerinin Bikarbonat analizi sonuçlarına göre sınıfsal dağılım grafiği.....	75
Şekil 53. Su örneklerinin Mg (ppb) analiz sonuçları	75
Şekil 54. Su örneklerinin Al (ppb) analiz sonuçları	79

Şekil 55. Su örneklerinin alüminyum analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	79
Şekil 56. Su örneklerinin Cr (ppb) analiz sonuçları	80
Şekil 57. Su örneklerinin Krom (Cr) analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	81
Şekil 58. Su örneklerinin Mn (ppb) analiz sonuçları	81
Şekil 59. Su örneklerinin Mangan (Mn/ppb) analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	82
Şekil 60. Su örneklerinin Fe (ppb) analiz sonuçları	83
Şekil 61. Su örneklerinin demir analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	83
Şekil 62. Su örneklerinin Co (ppb) analiz sonuçları	84
Şekil 63. Su örneklerinin Kobalt analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	84
Şekil 64. Su örneklerinin Ni (ppb) analiz sonuçları	85
Şekil 65. Su örneklerinin Nikel analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	86
Şekil 66. Su örneklerinin Bakır (ppb) analiz sonuçları	86
Şekil 67. Su örneklerinin Zn (ppb) analiz sonuçları.....	87
Şekil 68. Su örneklerinin Çinko analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	88
Şekil 69. Su örneklerinin As (ppb), analiz sonuçları.....	91
Şekil 70. Su örneklerinin Mo (ppb), analiz sonuçları.....	92
Şekil 71. Su örneklerinin Cd (ppb), analiz sonuçları	92
Şekil 72. Su örneklerinin kadmium analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği	93
Şekil 73. Su örneklerinin Hg (ppb) analiz sonuçları	94
Şekil 74. Su örneklerinin Pb (ppb) analiz sonuçları.....	94
Şekil 75. Su örneklerinin Bor B (ppm) analiz sonuçları	95

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

B	: Bor
%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece
bkz.	: Bakınız
Ca	: Kalsiyum
cm	: Santim
Cu	: Bakır
EC	: Elektriksel Kondüktivite
Fe	: Demir
g	: Gram
GPS	: Global Positioning System
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
km²	: Kilometrekare
m	: Metre
m/sn	: Metresaniye
m²	: Metrekare
Mg	: Magnezyum
mm	: millimetre
Mn	: Mangan
P	: Potasyum
N	: Azot
Na	: Sodyum
P	: Fosfor
pH	: Bir Çözeltinin Asit ve Baz Derecesi
S	: Kükürt
vb.	: Ve Benzer
vd.	: Ve Diğerleri
Zn	: Çinko
Mg	: Magnezyum

Al	: Alüminyum
Cr	: Krom
Mn	: Mangan
Fe	: Demir
Co	: Kobalt
Ni	: Nikel
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
As	: Arsenik
Mo	: Molibden
Cd	: Kadmiyum
Hg	: Cıva
Pb	: Kurşun
K	: Potasyum
CO₃	: Karbonat
HCO₃	: Bikarbonat
CL	: Klor
SO₄	: Sülfat
Ds/cm	: DesiSiemens/santimetre
Ton/da	: Ton/Dekar
WHO	: World Healt Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
kgda⁻¹	: Kilogram/Dekar
kgha⁻¹	: Kilogram/ Hektar
f<0,001	: F testi önem seviyesi
f<0,01	: F testi önem seviyesi
p<0,05	: İstatistiksel Düşük Önem (*) Derecesi
P<0.001	: İstatistiksel yüksek önem (**) Derecesi

GİRİŞ

Tarımsal üretim dünya üzerindeki en gerekli ve en yaygın faaliyettir. Yaşamın sürdürülebilmesi için gıda ihtiyacımızın büyük bir bölümü tarımsal üretimle karşılanmaktadır. Su da tarımsal üretimde ürün verimliliğini sağlamak amacıyla önemli girdilerden biridir. Bu kapsamda su kaynaklarının yönetimi, kaynağın korunması ve sürdürülebilirliğinin kontrol altına alınması tarımsal üretimde kullanılan suyun ürün verimliliği ve sürdürülebilirliği açısından oldukça önem taşımaktadır. Su ihtiyacı önem sırasına göre guruplara ayrıldığında tarımsal su ihtiyacı 3. sırada yer almaktadır. Tarımda sürdürülebilirlik sadece suyun mevcudiyetine bağlı değildir; aynı zamanda suyun etkin ve verimli kullanımı kadar, kalitesi de kritik bir rol oynar. Kullanılan suyun sulama suyu kriterlerine uygun olması ve insan sağlığını tehdit edecek kirleticileri içermemesi büyük önem taşır. Aksi takdirde, kirlilik hem toprağın verimliliğini düşürerek gıda güvenliğini tehdit edebilir hem de üretilen ürünler aracılığıyla insan sağlığına zarar verebilir. Bu nedenle, sürdürülebilir tarım uygulamaları, su kaynaklarının miktarını korumanın yanı sıra kalitesini de güvence altına almayı hedefler (Baştuğ (2018a, 2018b), Bayraktar ve Küçükbayrak (2025), Orman ve Su İşleri Bakanlığı (2017) ile Tarım ve Orman Bakanlığı (2022).

Son dönemlerde hızlı nüfus artışı ile birlikte artan ihtiyaçların karşılanması amacıyla endüstriyel ve tarımsal faaliyetler de artmış; dolayısıyla bu alanlarda, tarımsal sulamada kullanılacak su kaynaklarına olan talepte de artmıştır. 2050 yılında tarımda kullanılan su ihtiyacının 2 katına çıkacağı öngörülmektedir (Faures *et al.* 2007). İklim değişikliği, hızlı kentleşme, gıda ihtiyacı ve doğal kaynakların bilinçsizce ve aşırı kullanımı gibi etkenler nedeniyle, dünya nüfusunun yaklaşık %40'ı su kıtlığıyla yüzleşmektedir (Calzadilla *et al.* (2011); Connell, 2018). Buna ek olarak, iklim değişikliğinden dolayı su döngüsünde ve sıcaklıklardaki ani değişimler, tarım sektöründeki su kullanım faaliyetlerini etkilemiştir. Dünyadaki mevcut yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının %70'i tarımsal sulamada, %22'si endüstriyel faaliyetlerde ve geri kalan %8'lik oran içme ve kullanım amaçlı tüketilmektedir. Özellikle ülkemiz açısından mevcut su kullanım oranları düşünüldüğünde, su rezervlerindeki azalma ve kaynakların sınırlı doğası, suyun sürdürülebilir ve planlı bir şekilde yönetilmesini gerekli kılmaktadır. Aynı zamanda, gereksiz su tüketimini önlemeye yönelik stratejik adımların atılması kaçınılmazdır (Altıkat & Bingöl, 2017).

Atık sular, yalnızca su kıtlığı yaşanan bölgelerde sulama suyu olarak kullanılmakla kalmayıp; içeriklerinde bulunan azot, fosfor ve potasyum gibi besin elementleri sayesinde bitki gelişimini destekleyerek, bitkisel üretim maliyetlerinde %10–20 oranında azalma sağlayabilmektedir (Sarwar *et al.* 2020). Ancak bazı faaliyetler sonucunda örneğin; madencilik, endüstriyel sıvı, gaz ve katı atıkları, tarımsal üretim faaliyetlerinde pestisit ve yapay gübre kullanımıyla beraber atık sulara ve tarımsal sulama sularına yoğun bir derecede kimyasal maddeler ve ağır metal gibi kirleticiler karışmakta ve kirliliğe neden olmaktadır. Doğanın bir parçası olarak tarımsal sulamada kullanılan su kaynakları bu ağır kirleticilerden etkilenmekte ve ortaya çıkan ağır metal stresi ve kirli su kalitesi toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumsuz etkilemeyle beraber bitkilerdeki gelişimi sınırlamakta ve ürünün kalitesini düşürmektedir (Cennet & Mammadov, 2013). Çinko, bakır, demir, manganez, molibden, nikel ve kobalt gibi bazı ağır metaller, bitki gelişimi ve büyümesi için gerekli mikro elementler arasında yer alırken; arsenik, cıva, krom, kadmiyum ve kurşun gibi diğer ağır metaller ise toksik özellikleri nedeniyle bitki gelişimi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Nies, 1999). Ağır metal konsantrasyonu ve olumsuz su kalite sınıfları atmosferde, suda ve toprakta belli bir düzeyin üzerine çıkması tüm canlılar alemi için hayati problemlere neden olmaktadır (Benavides *et al.* 2005).

Sağlıklı bir tarımsal üretim düşünüldüğüne, ağır metaller ve suların kalitesi toprakların kirlenmesinde önemli kirletici kaynakların başında sayılmaktadır. Toprağın yüklenmiş olduğu ağır metallerin kaynağı toprak oluşumu esnasında oluşmuş etkiler olabileceği gibi tarımsal sulama vasıtasıyla toprağa geçen ağır metaller, biyolojik arıtma çamurlarının boşaltımı, hayvansal dışkıları, evsel kaynaklı atıkların uzaklaştırılması ile oluşan proseslerin sonucu veya atmosferik iletim sonucunda da olabilmektedir. Su kalitesinin bozulmasına yol açan birçok doğal ve insan kaynaklı sebep bulunmaktadır. Bu sebepler, Jeolojik Faktörler, Erozyon ve Sedimentasyon, Organik Madde Girişi, Doğal Olaylar Tuzlu Su Girişi (Deniz Suyu Girişi), İnsan Kaynaklı Sebepler; evsel kaynaklı atık su deşarjları, endüstriyel kaynaklı atık su deşarjları, tarımsal faaliyetler, maden faaliyetleri, katı atık depolama alanları, ulaşım ve petrol sızıntıları, termal kirlilik, orman yangınları kaynaklı bozulmaktadır. Bu tahribatlar, su kaynaklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısını bozarak, suyun kullanım potansiyelini önemli ölçüde sınırlar (Karadere 1997).

Suyun en büyük kullanıcılarından biri tarım sektörüdür. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Kurumu'nun (USGS) raporlarına göre, termik santrallerden çok daha fazla su sulama amacıyla kullanılmaktadır. Termik santraller haricinde dünyadaki tatlı su kaynak kullanımının %65'ini kapsamaktadır (Pintilie *et al.* 2016). Ülkemiz bir tarım ülkesi özelliğini taşıdığı için

verimli ve yeteri miktarda üretim yapabilmesi için sulama suyuna büyük oranda ihtiyaç duymaktadır. Ülkemizin yüzölçümü 78 milyon hektardır bunun %36 sı tarım arazisi olarak kullanılmaktadır. Tarım sektöründe kullanılan suyun büyük kısmı yüzey sularından (%71,06) sağlanmaktadır. İkinci olarak %17,3'lik bir kısımda yenilenebilir yeraltı su kaynaklarıdır. Drenaj suyu (%7,24) ve arıtılmış atık su (%3,62) tarımsal alanlarda kullanılan toplam su miktarının onda birlik kısmını oluşturmaktadır. Kullanılmayan yeraltı suyu miktarı ise toplamda kullanılan su miktarının sadece %0,72'sidir (WWAP, 2009). Ülkemizde sulama dışında da don kontrolü, gübre uygulamaları, mahsul soğutma ve ilaçlama uygulamalarında suya ihtiyaç vardır. Ülkemizdeki su kaynakları; kaynak, nehir, göl, doğal veya yapay birikinti noktalarından, kuyulardan, maliyeti yüksek olmasına karşın zaruri durumlarda deniz suyu arıtılarak kullanımı sağlanabilmektedir.

Tarımsal sulamada kullanılan su kaynakları başta olmak üzere bütün su kaynaklarının miktarı yağış ile doğrudan ilişkilidir. Su kaynaklarımız oluşum şekillerine göre ayırırsak: yağış suları (sarnıçlarda biriken sular), yeraltı suları (kuyular ve kaynak) ve yüzeysel sular (baraj, nehir, göl vb.) olarak gruplandırabiliriz.

Yağış Suları

Yağış suları bütün su kaynaklarının besin kaynağı olduğu için insanlık için her zaman büyük değer taşımaktadır. Yağış suları; sulama, elektrik üretimi, şehirler ve endüstri bölgelerinde günlük kullanım ve içme suyu gereksinimleri için kullanılmaktadır. Ancak, gelişen nüfusla paralel olarak kentleşme ve sanayileşmede gelişmek zorunda kalmıştır. Bu değişimler ile birlikte yer altı suyunu besleyen önemli bir kaynak olan yağış sularında kirlenme oranlarının arttığı gözlenmiştir. Kentleşmenin sonucu olan beton ve geçirimsiz yüzeylerin artışı ile yağış sularının hızlı bir miktarda kirleticileri yüklenerek su biriken ortamlara taşınması büyük bir risk oluşturmaktadır. Bu kirleticiler (ağır metaller, zirai ilaçlar, gübreler, kentsel atıklar, organik maddeler) yağış suları ile geçirimsiz yüzeylerden geçerken aşırı birikinti oluşturması ile sel baskınlarına sebep olabilmektedir (Levi 2007).

Artan nüfus yoğunluğu suya olan ihtiyacı artırdığı gibi güvenli ve temiz su kavramlarını da hayatımıza dahil etmiştir. Bu yüzden yeni alternatif yollar araştırılmış ekonomik, sağlıklı ve daha kısa sürede ulaşma bakımından çözümler bulunmuştur. Bunların başında yağmur hasadı yöntemi gelmektedir. Yağmur suyu hasadı aşırı su kullanımı ve azalan yeraltı suyu seviyeleri nedeniyle su temini çözümü olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem yağmur sularının toplanıp depolanması ile profesyonel bir sistem oluşturularak evsel tüketimde kullanılabilir. Gıda güvenliği açısından bir güvenilirliği olmasa da yaşam kalitemize katkıları fazladır. Bina yıkamaları, yangın söndürülmesi, soğutma kuleleri, ev temizliği, peyzaj alanlarının

sulanmasında, havuz ve göletlerin doldurulmasında, tuvalet sifonlarında, çamaşır ve araç yıkamada kullanılmaktadır (Kantaroğlu 2009).

Yüzeysel Sular

Su rezervleri ihtiyaçlarının büyük bir bölümünü yüzey ve yeraltı suları vasıtası ile karşılamaktadır. İnsanların kullandığı suyun %60 yüzeysel sulardan karşılanmaktadır. Toprak yüzeyinde bulunan yüzeysel sular, çeşit olarak (insan yapımı, kalıcı ve yarı kalıcı) üçe ayrılmaktadırlar. Güneş ışınlarına daha fazla maruz kalır çünkü açıktadır ve yüzeydedir bu sebeple suyun bir kısmı buharlaşır. İçme, kullanma, sulama vb. alanlarda kullanılır. Temel olarak akarsu, baraj, göl ve göletleri yüzeysel suları oluşturur. (Yılmaz & Çiçek 2002). Yüzey sularının işletimi yer altı sularına oranla daha ekonomiktir. Ama yüzey suları kirleticilere direkt maruz kaldığı için arıtma gerektirmektedir. Yeraltı suları ise yüzeysel suya nazaran daha az bu riskle karşılaşmaktadır. (National Research Council 1997).

Yeraltı Suları

Yeraltı suları, kurak ve yarı kurak bölgeler için önemli bir içme ve kullanma suyu kaynağıdır. (Karaman ve Gökalp 2010:62). Yeraltı tabakasının beslenmesi göl ile ırmaklar vasıtasıyla oldukça yavaş bir şekilde gerçekleşir. Uzun sürelerde yeraltı sularının azalmasının en büyük sebebi aşırı ve bilinçsiz kullanımdır. Bu durum, yeraltı suyu rezervlerinin tükenmesine zemin hazırlamaktadır. Bu sebeplerden kaynaklı suni beslenme kritik öneme sahip olmaktadır. Suni beslenmede doğal akiferler arıtma sistemi olarak kullanılmaktadır. Yüzey suların depolanmasına göre daha temizdir. Yeraltında olduğu için uygun alan bulma problemi yoktur. Suni beslenmeye en büyük katkıyı arıtılmış sular sağlamaktadır. Suyun arıtılarak kullanılmasının katkıları şu sebeplerle özetlenebilir. Sahil akiferlerini tuzlu su maruziyetinden korumak, tekrar kullanımı için ek arıtım sağlamak, arıtılmış suyu tekrar kullanabilmek için depolamak. Arıtılarak geri kazanılmış sular doğal ortama verince parçalanma süresi uzar ve yavaşça ayrılan kirleticiler bu süre içinde parçalanır (Polat 2013). Kullanılabilir tatlı suyun bir bölümü ekosistemin devamı için gereklidir. Deniz suları yüksek tuz içeriklerinden dolayı insanların kullanabileceği niteliklere sahip değildir.

Dünya ve Türkiye'de Tarımsal Su Kaynakları Durumu

Dünyanın yüzey alanının toplamı 510 milyon km² 'dir. 510 km²'nin yaklaşık %71'i sular ile kaplıdır. Bu suyun %97'si tuzluyken, geriye kalan %3'lük kısmı tatlı sudur. Bu oranın %97'si tuzlu su iken geriye kalan %3 kısım tatlı su olarak bilinmektedir. Bu tatlı su oranının sadece %23'ü kullanıma hazır durumdadır. Bu tatlı su kaynakları tatlı su varlığını %60 na denk gelirken dünya nüfusunun %40 tarafından kullanılmaktadır. Dünyadaki tatlı su rezervleri

incelendiğinde, dünya nüfusunun %60'ını oluşturan Asya kıtası, toplam su kaynaklarının yalnızca %32'sine sahiptir. Dünyadaki total su miktarı ise 1,4 milyar km³ 'dir. Bu alanın ise %97,5'i okyanus ve denizlerdeki tuzlu suyu, %2,5'i ise göl ve nehirlerde ki tatlı su olarak yer almaktadır. Çok az olan tatlı su miktarının %90'nı kutuplarda ve yeraltı sularında bulunduğu için insanlar kolaylıkla ulaşamamaktadır (Denhez, 2007). Karalarda mevcut olan suyun yalnızca %10'u elverişli tatlı su olarak tespit edilmiştir. Bu oran toplam su miktarının %0,3'ne denk gelmektedir. (Karaman ve Gökalp, 2010). Yapılan bilimsel çalışmalar, gelecekte suya olan talebin artacağına ve bu durumun su temininde ciddi güçlükler yaratabileceğine işaret etmektedir (National Research Council 1997; World Bank 2022)

Su kullanılan sektörler arasında büyük bir rekabet bulunmaktadır. Tarımsal su ihtiyacı 20. yy. başları itibari ile %90,5 iken şu an %69'a gerilemiştir, enerji ve sanayi sektörlerinde bu oran %23'e, evsel kullanımda %8'e çıkmıştır. Bütün dünyadaki total su kullanımının %73'ü tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Artan nüfus yoğunluğu sonucu 300 yıl önce kullanılan su miktarının günümüzde yapılan araştırmalar sonucu 45 kat arttığı tespit edilmiştir (Herge 2000).

Türkiye'deki Tarımsal Su Kaynakları Potansiyeli

Ülkemizdeki bütün su rezervleri 26 havzada toplanmaktadır. Bu akarsu havzalarından bazıları olan Fırat, Dicle, Meriç, Aras ve Çoruh nehirleri bazı ülkelerle sınır oluşturan bazı ülkeler vasıtası ile sınır değiştiren akarsular olduğu için uluslararası öneme sahip olmaları kaçınılmaz olmuştur. Fırat, Dicle ve Aras nehirleri ülkemiz sınırlarında doğup sınırı aşan akarsulardır. Çoruh ve Aras nehirlerimiz ise yine ülkemiz sınırlarında doğup Ermenistan ile Gürcistan ülkeleri ile sınırimızı oluşturmaktadır. Asi ve Meriç nehirlerimiz ise ülke sınırları dışında doğup ve ülkemizin sınırları içerisinde denize dökülmektedir. Ülkemizde uluslararası standartlar baz alınarak baraj özelliğinde 504 adet depolama tesisi inşa edilmiştir (Anonim 2005). Ülkemizde yıllık toplam yağış miktarı 501 milyar metreküp suya tekabül ediyor. Bu miktarın 274 milyar metreküpü, bitkiler ve toprakların yüzeylerinden buharlaşma yoluyla atmosfere geri dönüyor (Anonim 2005). Uluslararası hesaplara göre bir ülkede su sıkıntısının olmadığını gösteren oranın 10000 m³/yıl olması gerektiği belirlenmiştir. Belirlenen bu oranın 1000 m³ altında olması o ülkenin su fakiri olduğunu göstermektedir. Bu durumda ülkemizde her geçen gün artan nüfusta göz önünde bulundurulduğunda su sıkıntısı çeken ülke konumundadır (Türkiye Sulama Raporu, 2001; Anonim 2005). Suyun dörtte üçünün tarımsal sulamada tüketildiği gerçeği, verimli sulama tekniklerine ve çiftçilerin bu konudaki eğitimine verilen önemin ne denli büyük olduğunu ortaya koyuyor (Aydoğdu vd 2015).

Tablo 1. Türkiye’de Havzalar (Cebe 2007)

Havza Numarası	Havza İsmi	Ortalama Yıllık Akış (km ³)	Su Potansiyeli (%)
1	Meriç Havzası	1.33	0.7
2	Müteferrik Marmara Sulama Havzası	8.33	4.5
3	Susurluk Havzası	5.43	2.9
4	Müteferrik Ege Suları Havzası	2.09	1.1
5	Gediz Havzası	1.95	1.1
6	Küçükçukuk Havzası	1.19	0.6
7	Büyükçukuk Havzası	3.03	1.6
8	Müteferrik Batı Akdeniz Suları Havzası	8.93	4.8
9	Müteferrik Orta Akdeniz Suları Havzası	11.06	5.9
10	Burdur Gölü Kapalı Havzası	0.50	0.3
11	Afyon Suları Kapalı Havzası	0.49	0.3
12	Sakarya Havzası	6.40	3.4
13	Müteferrik Batı Karadeniz Suları Havzası	9.93	5.3
14	Yeşil Irmak Havzası	5.80	3.1
15	Kızıl Irmak Havzası	6.48	3.5
16	Konya (Orta Anadolu) Kapalı Havzası	4.52	2.4
17	Müteferrik Doğu Akdeniz Suları Havzası	11.07	6.0
18	Seyhan Havzası	8.01	4.3
19	Hatay Suları Havzası (Asi Havzası)	1.17	0.6
20	Ceyhan Havzası	7.18	3.9
21	Fırat Havzası	31.61	17.0
22	Müteferrik Doğu Karadeniz Suları Havzası	14.90	8.0
23	Çoruh Havzası	6.30	3.4
24	Aras Havzası	4.63	2.5
25	Van Gölü Kapalı Havzası	2.39	1.3
26	Dicle Havzası	21.33	11.5

Tablo 1’de belirtilen havzalardan dört tanesi denize bağlantısı olmayan kapalı havzalardır: Konya Kapalı Havzası, Burdur Gölü Havzası, Afyon Suları Havzası ve Van Gölü Havzası. Altı tanesi ise müteferrik havza olarak sınıflandırılmıştır: Müteferrik Batı Karadeniz, Müteferrik Batı Akdeniz, Müteferrik Marmara, Müteferrik Doğu Akdeniz, Müteferrik Doğu Karadeniz ve Müteferrik Orta Akdeniz Havzaları. Geriye kalan on altı havza ise nehir havzasıdır. Bu sınıflandırma, su havzalarının farklı coğrafi ve hidrolojik özelliklerine göre yapılmıştır.

Erzurum'daki Tarımsal Su Kaynakları

Erzurum genel itibari ile Fırat havzasında yer alır. Bu havzada önemli akarsular; karasu, Pulur çayı, Aras, Çoruh ve Tortum çaylarıdır. Tuzla çayı, Oltu çayı, Hınıs çayı ve Köroğlu deresi bu önemli akarsuların kollarıdır. Erzurum ili, belirgin karasal iklim özelliklerinin görüldüğü bir bölgedir. Yağışları mevsimlere göre değerlendirdiğimizde en yüksek yağışı ilkbaharda %36 oranla ikinci olarak yaz mevsiminde %25 oranla, üçüncü olarak yaz mevsiminde %22 oranla ve son olarak en az yağışı tahmin edilenin aksine kış aylarında %17 oranla almaktadır. Fırat, Çoruh ve Aras havzalarının kaynak kısımları ile Yeşilırmak havzasının küçük bir dilimi Erzurum sınırları içerisinde olan su kaynaklarımızdandır. Bu bölge çalışma alanlarında geliştirilen projeler vasıtası ile mevcut bitki su ihtiyacı 650 mm olarak hesaplanmıştır. Ancak yıllık yağış oranı 211 mm oranlarındadır. Sulamaya yaz ayları süresince gerek duyulduğu göz önünde bulundurulduğunda bu bölgenin su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanabilmek için çeşitli sulama projelerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir (AFAD 2021).

Erzurum'daki yeraltı tarımsal su kaynakları

Erzurum Ovası (Kümbet ve Cinia dahil) ile Pasinler-Hınıs-Karaçoban ovaları ilin zengin yeraltı su kaynaklarının olduğu bölgeleri oluşturmaktadır. Erzurum ve Pasinler ovalarının yeraltı su kaynakları genellikle tarımsal sulama amaçlı kullanılmaktadır. Hınıs–Karaçoban ovasındaki suların tarıma elverişli olmadığı tespit edilmiştir. Erzurum ovasında 5 adet, Pasinler ovasında 7 adet ve Narman ilçesinde 2 adet olmak üzere toplamda 14 rasat kuyusu mevcuttur. Erzurum ovasındaki mevcut yeraltı su seviyeleri, ovanın beslendiği bölgeler ile boşaltım bölgelerine olan mesafe bakımından farklılık gösterebilmektedir. Ovanın boşaltım ve beslenme yönü batıdan doğuya doğrudur. Örneğin karasuya yakın bölgede yeraltı su seviyesi yüksek iken, Pasinler ovasından batıya gidildikçe yer altı su seviyesi artmaktadır (Erzurum İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu 2022).

Tablo 2. Erzurum İlinin Su Potansiyeli

Kaynağın İsmi	hm ³ /yıl
Erzurum Ovası (Erzurum-Kümbet-Cinis Ovaları)	85,00
Hınıs-Karaçoban	73,50
Pasinler	72,90
Horasan	46,90
Tekman	113,02
Çat	12,00

Kaynak: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022

Erzurum'daki yüzeysel su kaynakları

Akarsular, doğal göller, göletler rezervuarlar ve akarsuların yapay bir şekilde kesilmesi ile oluşan baraj suları yüzeysel suları oluşturmaktadır. Bu sular, yağışlar ve yeraltı suları vasıtası ile beslenirler. Erzurum ilinin akarsuları; Çoruh nehri, tortum çayı, karasu nehri ve Aras nehirleridir. Çoruh nehri; İspir ilçe sınırlarından geçen, kaynağını Mescit Dağları'nın batı yamaçlarından alarak ilerleyen Çoruh Nehri, Bayburt'u ve İspir'i geçip Artvin il sınırına girmektedir. Tortum Çayı; kaynağını Kargapazarı Dağları'nın kuzey yamaçlarından alır, Erzurum–Artvin il sınırında ki Kınalıçam köyü ile Yusufeli sınırlarına girerek Tortum Gölünü geçip Yusufeli-Oltu-Erzurum yol ayrımında Oltu Çayı ile birleşir. Karasu Nehri; Erzurum da bulunan Dumlu Dağı'ndan doğarak ve Keban yakınlarında ki Murat nehriyle birleşip, Fırat nehrini oluşturur. Aras Nehri'nin kaynağı Bingöl Dağları'nın Erzurum sınırları içindeki kuzey yamaçlarıdır; nehir Kura ile birleştikten sonra Hazar Denizi'ne ulaşır. Tortum Gölü ise Erzurum'un heyelan set gölüdür. 18. Yüzyılda Uzundere ilçe sınırları içerisinde Tortum Çayı üzerinde oluşmuştur. Kemerlidağ yamacından koptuktan sonra kalker blokları çayın önünü kapatmıştır, sular yaklaşık olarak 50 m yüksekten düşerek Tortum Şelalesini oluşturmuştur. Heyelan set gölünün arkasında 8 33 km² büyüklüğünde Tortum Gölü bulunmaktadır. Gölün üzerinde, DSİ gözetiminde faaliyet gösteren Tortum 1 HES bulunmaktadır (Erzurum İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu 2022:39).

Tablo 3. Erzurum İli İçerisindeki Önemli Akarsular ve Yıllık Ortalama Debileri

Akarsu Adı	Akım Gözlem İstasyonu	Yıllık Ortalama Debi (m ³ /sn)
Karasu	A.Çağdariç	20.780 ⁽¹⁾
Serçeme Çayı	Eğerti	7.660
Pulur Çayı	Sakalikesik	1.640
Köşk Deresi	Köşk	0.750
Karagöbek Çayı	Karagöbek	0.710
Dumlu Suyu	Yeşildere	0.770
Tekederesi	Tekederesi Köyü	0.400
Keklikderesi	A. Yenice	0.210
Yağmurcuk Deresi	Yağmurcuk	0.350
Lezgideresi	A. Çat	2.710
Pisyon Çayı	A. Çat	1.520
Hınıs Çayı	Hınıs	3.210 ⁽¹⁾
Başköy Deresi	Kısıkkomu	2.570 ⁽¹⁾
Ahirçimen Çayı	Halilçavuş	3.840 ⁽¹⁾
Solan Dere	Göksu	1.280

Tablo 3. (devamı)

Has Dere	Burhan	0.540
Çoruh Nehri	İspir	39.190 ⁽¹⁾
Çoruh Nehri	Mescitli	5.993
Oltu Çayı	Ayvalı	20.340 ⁽¹⁾
Oltu Çayı	Kesikköprü	5.097
Tortum Çayı	Tortum TEV	12.360
Büyük Çay	Uzunkavak	1.776
Aras Nehri	Karakurt	47.310 ⁽¹⁾
Aras Nehri	Çobandede	35.870
Hasankale Çayı	Eğirmez	8.390
Tımar Çayı	Demirdöven	1.030
Büyük Dere	Büyükdere Köyü	1.590
Acı Dere	Bulkasım	0.658
Masat Dere	Bulkasım	1.287
Kışla Dere	Çayırdüzü	0.522

Kaynak: DSİ (Anonim. (2005))

⁽¹⁾İl sınırını terk eden miktar (Rasat dışı kalanlar hariç) 136.680 m³/sn

Erzurum'daki Kaplıcalar

Kuzey doğu Anadolu kalkınma Ajansı'nın paylaştığı verilere göre Erzurum ilinde termal su kaynakları standartlarına uyan 170 üzerinde kaynak tespit edilmiştir. Erzurum'da ki termal su kaynakları tektonik kökenli özellikler gösterdiği ve fay kaynaklarının 1000 m derinlikten beslendiği bilinmektedir. Mevcut termal su kaynakları kimyasal ve fiziksel olarak değerlendirildiğinde de standartların üzerinde değerler gözlenmiştir. Erzurum'un jeotermal zenginliği, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay hatlarına olan yakınlığından kaynaklanmaktadır. Erzurum ili kuzey Anadolu ve doğu Anadolu fay hatlarına olan yakınlığı sebebi ile de jeotermal kaynak yönünden oldukça zengindir. Aziziye (Ilıca) ve Pasinler Erzurum'daki en önemli jeotermal alanlardır. Tablo 2'de Erzurum'da bulunan termal alanlar yer almaktadır. Günümüzde termal kaynaklar birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlar; ziraat, tıp, sanayi kuruluşlarından bazıları, elektrik üretimi, soğutma, ısıtma ve kurutma benzeri alanlardır. (Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı 2010).

Tablo 4. Erzurum'da bulunan termal alanlar

İlçe	Termal alan	İlçe	Termal alan
Aşkale	Kızlarkale Çermiği	Çat	Köseler çermiği
	Kızıl Şorak Çermiği		İkiler çermiği
	Cinis Çermiği		Hölenk çermiği
	Kesik köprü acı suyu		Budak çermiği
Hınıs	Dere çermik	Aziziye	Yel Çermiği
	Demirci çermiği		Aziziye kaplıcaları
	Gemik çermiği		Oluklu çermik
	Yelpis çermiği		Zincirli çermik
Pasinler	Pasinler kaplıcaları	Şenkaya	Tuzlu çermik
	Soğuk çermik		Adsız çermik
	Küçük çermik		Çatak çermiği
	Büyük çermik		Akkaynarca çermiği
	Pancar çermiği		Balıklı çermiği
	Değirmen çermiği		Değirmen çermiği
	Değirmen çermiği		Gözeler çermiği
	Camış çemiği		Gelingeldi çermiği
	Kaşmuşat kaynarcası		Serçe boğazı çermiği
	As Boğa çermiği Sarısu		Acısu
Horasan	Balıklaya içmesi	Tekman	Yelsu
	Acı Kurun içmesi		Çamurlu çermik
	Çermik		Gökoğlan çermiği
	Kantarkaya çermiği		Hamzan çermiği
Karayazı	Gücür çermiği	Oltu	Yukarı meman çermiği
	Yekmal çermiği		Orta meman çermiği
Narman	Çarıklı çermiği	Tortum	Başaklı çermiği
	Taşburun içmesi		Uzun Hamam çermiği
Olur	Ilıkkaynak Çermiği	Köprüköy	Esendurak Çermiği
	Süngübayırı Çermiği		Deliçermik

Kaynak: Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı, 2010

Tablo 4'te Erzurum'daki termal su kaynakları listelenmiştir. Günümüzde bu kaynakların çoğunluğu Aziziye ve Pasinler ilçelerinde yoğunlaşmıştır. Ek olarak, Erzurum, Hamam Deresi (Küçüktüy), Arzuti, Akdağ, Köse Mehmet, Çimenözü (Çat), Hölenk, Meman, Olur, Hızır İlyas (Horasan) ve Hemzan (Tekman) gibi önemli termal su kaynaklarına ev sahipliği yapmaktadır. Ancak, bu kaynaklarda tesisleşme yetersiz veya hiç olmadığı için termal turizm hizmeti verilememektedir.

Sulama Suyunun Kalitesi ve Kirlilik Kaynakları

Sulama suyu kalite kriterlerinin oluşturulurken iki ana özellik söz konusu olur. Bu özellikler;

- 1) Açığa çıkartma etki ilişkilerinin ortaya konması,
- 2) Bu ilişkilerin çalışma sınırları içerisinde belirlenmesi için kullanılmasıdır. Genel olarak tarımsal sulamada bazı kriterler dikkate alınmaktadır. Hava şartlarında buhar halinde bulunan su temizdir; ancak yağış olarak yeryüzüne düşerken, hava tabakalarındaki gazlar, tozlar ve mikroorganizmaları bünyesine alarak kirlenmektedir. Bu sular, toprak yüzeyiyle temas ettiğinde ise topraktaki inorganik ve organik maddelerle etkileşime girerek hem kimyasal hem de fiziksel dönüşümlere uğramaktadır (Dorak vd 2018).

Sulama sularının özellikleri

Sulama; tarımsal üretimde bitkinin büyüme ve gelişme süreçleri boyunca ihtiyaç duyduğu suyun, doğal yağışlarla yeterli ve uygun zamanda karşılanamaması durumunda, dış kaynaklardan temin edilerek toprağa uygulanması süreci olarak ifade edilebilir. Tarımda sulamanın temel amacı, ürün verimliliğini artırmak ve bu süreci ekonomik ve sürdürülebilir bir biçimde yürütmektir. Sulama, bitki gelişimini hızlandırmanın yanı sıra tarımsal üretimin sürekliliğine katkı sağlayarak toplumsal refahın artmasında da etkili olmuştur. Türkiye’de artan nüfus, değişen iklim koşulları ve su kaynakları üzerindeki baskılar, sulama ihtiyacının ve yönetiminin önemini giderek artırmaktadır. Bu bağlamda, suyun arz ve talep dengesinin sağlanamaması, onu stratejik bir kaynak hâline getirmiştir. Nüfus artışı hem su kaynaklarının kalitesini hem de kullanım biçimlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Sulama amacıyla kullanılan sular ise belirli kalite kriterleri çerçevesinde değerlendirilmekte ve izlenmektedir. Bunlar; (EC) Toplam eriyebilir tuzların konsantrasyonu, (NA) Sodyum iyonunun diğer katyonlarla olan bağıntılı oranı (%Na) suların yüzde sodyum oranı, (RSC) Artık karbonat miktarı, (SAR)Sodyum absorpsiyon oranı, (B) bor gibi zehir etkisi yaratabilecek özel metallerin konsantrasyonu, $(Ca^{2+}) + (Mg^{2+})$ bazı koşullarda konsantrasyonunun bikarbonat (HCO_3^-) konsantrasyonudur. Tuzlar toprak solüsyonu içerisindeki osmotik basıncı arttırdığı için bitkinin su kullanımını etkilemektedir. Osmotik basınç yükseldiğinde bitkinin suya ihtiyacı azalır. Bu durum bitkide ölümlere sebep olabildiği için sulama sularındaki tuzluluğun konsantrasyonu sınıflandırma kıstasları içerisinde önemli bir yere sahiptir (Yurtseven 2016).

Sodyum (Na^+) iyonunun konsantrasyonun yüksek olması toprağın fiziksel özelliklerini olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeple tarımsal sulamada kullanılan suların (Na^+) değerleri %

(Na⁺) veya sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) konsantrasyonları yararlanılarak hesaplanmalıdır (Erdoğan ve Dağdelen, 2012). Bor (B) elementi, bitki gelişimi açısından kritik olmasına rağmen birkaç ppm değerini geçince toksik etki yapmaktadır. Bitkide gözlenen zararların tuzluluk kaynaklı olmadığı tespit edildiğinde Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, B, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ ve SO₄²⁻ iyonları incelenmelidir. (Yurtseven, 2016). Bu açılardan baktığımızda sulardaki elementlerin miktarının toprak ve çevreye etkileri önem arz etmektedir.

Sulama suyunda kirlilik yaratan faktörler

Su, atmosferde buhar halinde bulunduğunda saf bir formdadır. Ancak yeryüzüne yağmur veya kar olarak düştüğünde, atmosfer katmanlarında bulunan toz, gaz ve mikroorganizmaları bünyesine alarak kirlenmeye başlar. Yeryüzüne ulaştıktan sonra toprakla temas eden su, toprakta bulunan çeşitli organik ve inorganik maddelerle etkileşime girerek kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişiklik gösterir. Yüzeyde ilerlerken veya yer altı katmanlarına süzülürken, insan, hayvan ve bitkilerin faaliyetlerinden kaynaklanan organik maddeler, endüstriyel atıklar, kanalizasyon suları ve tarımsal kalıntılar gibi kirleticileri de bünyesine alabilir. Bu kirleticilerin başlıca kaynakları, insan ve hayvan faaliyetleri sonucu oluşan çeşitli atıklardır. Dolayısıyla, bir suyun ne ölçüde kirleneceği; ilk temas ettiği çevresel koşullara ve bu alanlardaki canlıların yaşam aktivitelerine doğrudan bağlıdır (Oruç 2018).

Sulama suyunda meydana gelen kirlilik, farklı kaynaklardan gelen etkiler sonucu fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin bozulmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu tür nitelik kayıpları, suyu kullanım dışı bırakmakta ve onu atık su niteliğine dönüştürmektedir. Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıkların suya karışması, bu dönüşümün en yaygın nedenlerinden biridir. Sanayi kuruluşlarının türüne bağlı olarak; patojen mikroorganizmalar, çeşitli organik ve inorganik bileşikler, metal tuzları, boya kalıntıları, alkaliler, oksitleyici ajanlar, sülfatlar, yağ ve hidrokarbonlar gibi çok çeşitli kirleticiler sularda birikebilir. Ayrıca bakır, demir, cıva, alüminyum, kadmiyum, kobalt, azot, krom, arsenik ve kurşun gibi toksik ağır metallerin yanı sıra organik fosfor bileşikleri de bu kirleticiler grupları arasında yer alabilir. Tüm bu maddelerin karıştığı kirli suların göl, akarsu ya da kaynak sularına deşarj edilmesi, doğal olarak temiz kabul edilen bu su kaynaklarının kalitesini ciddi düzeyde düşürerek, onları kirli ya da kullanılamaz hâle getirmektedir (Dorak vd 2018).

Kalitesi düşmüş ve kirlenmiş suların sulama amacıyla kullanılması, içerdikleri kirleticilerin doğrudan toprağa taşınmasına neden olmakta; bu da hem toprak yapısının bozulmasına hem de tarımsal ürünler yoluyla insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşmasına yol açmaktadır. Bu riskler nedeniyle, yer altı suları, göller, nehirler ve akarsular gibi sulama amacıyla kullanılan su kaynaklarının kalite parametrelerinin belirli aralıklarla izlenmesi ve

değerlendirilmesi, birçok ülkenin çevre politikaları açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede, su kaynaklarının biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimlerin düzenli olarak takip edilmesi, olası kirlenme durumlarının önceden tespit edilerek gerekli önlemlerin alınmasına olanak sağlar. Özellikle ağır metallerle meydana gelen kirliliklerde, eser miktarlarda dahi toksik etki gösterebilen kurşun (Pb), cıva (Hg) ve kadmiyum (Cd) gibi mikro elementlerin varlığı, çevresel ve halk sağlığı açısından kritik bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, bu tür kirliliklerin önlenmesine yönelik izleme ve kontrol mekanizmaları çevresel sürdürülebilirliğin temel unsurlarından biridir (GalasGorcher 1991). Çünkü ağır metaller biyolojik sistemlere girdiklerinde biyolojik olarak parçalanamazlar ve yok olmazlar, bu da ciddi çevresel sorunlara yol açar. Fe, Cu ve Zn gibi ağır metaller diğer bir Bitkiler ve diğer canlılar için besin maddesi olsalar dahi bu metaller de yüksek miktarları ekolojik denge için tehlikeli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) sınıflandırmalarına göre yüzeysel sulardaki kirlilik unsurları aşağıdaki gibidir.

- 1- Virüsler, bakteriler ve diğer patojen mikroorganizmalar; insan ve hayvan kaynaklı dışkıların çeşitli yollarla su kaynaklarına karışması sonucunda, ciddi halk sağlığı sorunlarına yol açabilen biyolojik kirleticiler olarak tanımlanır. Bu tür organizmalar, suyun içme, kullanma ve sulama gibi hiçbir amaçla güvenli biçimde kullanılmasını mümkün kılmayacak düzeyde kirlilik yaratabilir.
- 2- Organik madde ve kirleticiler, ölmüş hayvanlar, bitki kalıntıları ve tarımsal üretimden kaynaklanan atıkların yüzeysel su kaynaklarına karışması sonucunda ortaya çıkmaktadır.
- 3- Endüstriyel kaynaklı atıklar: Endüstriyel tesisler vasıtası ile yüzeysel sulara ağır metaller, benzen, fenol gibi zehirli maddeleri taşıyarak kirliliğe yol açar.
- 4- Yağlar ve benzeri maddeler: Boru hatları ve tankerler ile taşındığı esnasında petrol ve türevleri, kaza ve sızmalar vasıtası ile yüzeysel sulara karıştığında oluşabilecek kirlilik türleridir.
- 5- Sentetik Deterjanlar ve Ötrofikasyon:

Evsel ve endüstriyel temizlik ürünlerinde yaygın olarak kullanılan sentetik deterjanlar, içeriklerinde bulunan fosfat bileşenleri nedeniyle sucul ekosistemlerde önemli çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu maddeler, yüzeysel su kaynaklarına karıştıklarında fitoplankton ve alg türlerinin aşırı çoğalmasına neden olur. Besin maddelerinin, özellikle azot ve fosforun sudaki konsantrasyonunun artmasıyla oluşan bu durum, ötrofikasyon olarak tanımlanır. Ötrofikasyon, oksijen seviyelerinin düşmesine, su kalitesinin bozulmasına ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına sebebiyet vererek, ekosistem dengesini ciddi şekilde tehdit eder.

- 6- Radyoaktif kirlilik, başta nükleer enerji üretim tesisleri olmak üzere çeşitli kaynaklardan yayılan radyoaktif maddelerin çevreye sızması sonucunda meydana gelir. Nükleer atıkların deniz altı veya yer altı depolama alanlarında uzun süreli muhafazası sırasında, koruyucu kaplamaların zamanla aşınarak sızıntıya neden olması, su kaynaklarında kalıcı radyoaktif kirlilik riskini artırmaktadır. Bu kirlenme yalnızca enerji üretim tesisleriyle sınırlı kalmamakta; hastaneler, nükleer tıp merkezleri ve üniversitelerin araştırma laboratuvarları gibi alanlarda gerçekleştirilen bilimsel faaliyetler de potansiyel kaynaklar arasında yer almaktadır. Radyoaktif maddelerin su döngüsüne karışması, hem insan sağlığı üzerinde ciddi toksik etkiler yaratmakta hem de doğal ekosistemlerin bütünlüğünü uzun vadeli olarak tehdit etmektedir.
- 7- Pestisitler: Yapay organik kimyasallardır. Tarımsal üretimde böcek, bitki ve mantarları hastalıklarla mücadelelerde kullanılırlar. İhtiyaç duyulandan daha çok ve yanlış kullanımda yeraltı ve yüzeysel suları kirletebilirler.
- 8- Kimyasal maddeler: İlaç endüstrilerinde, petrokimya ve kimyasal üretim yapan tesislerde üretilirler.
- 9- Gübre çeşitleri: İkinci kirlenmeye sebep olan maddelerdir. Yoğun bir şekilde kimyasal gübre kullanılmış alanlarda yetiştirilen bitkisel ürünlerin insanlar ve hayvanlar tarafından tüketilmeleri durumunda tehlikeli bileşiklerin canlı bünyelerine geçmesi büyük risklere sebep olur.
- 10- Organik ve inorganik tuzlar: Çözünmüş ve Karbon, Hidrojen bağı içermeyen Sularda ve deşarj noktalarında potasyum, sodyum, kalsiyum, demir, magnezyum, sülfat, bikarbonat, nitrat ve fosfat formunda tuzlara rastlanabilir.
- 11- Kimyasal olarak aktif olmayan, çözünmeyen madde: Jips, tebeşir gibi çok sayıda inert çözünmeyen maddeler sularda bulanık oluşturur. Ayriyeten sular fiziksel (sıcaklık, renk askıda katı madde), fizyolojik (koku, tat) ve biyolojik kirlenmeye de maruz kalabilmektedirler (Tayar 2005; Oruç 2018).

Sulama Sularında Ağır Metal Kirliliği

Ağır metallerin oluşumu, binlerce yıllık süreç içerisinde bulundukları kayaçların fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışma mekanizmalarıyla çözünmesi sonucu gerçekleşmiş; bu metaller zamanla karasal ekosistemlerin bir parçası olan toprak yapısına dâhil olmuştur. Toprakta bulunan mikroorganizmalar ile bitki kök sistemleri, bu elementlerin topraktan alınarak toprak üstü biyokütleyle taşınmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Oluşan yeni biyokütle besin, yenilebilir enerji kaynağı ve yem olarak kullanılabilir, geriye kalan

kısmı da ham materyal şeklinde sistemde kalmaya devam ederek toprak döngüsel olaylarına katılır. Yaşadığımız yüzyılın yarısına kadar, ağır metallerin çoğunluğu yenilemeyen ham maddeler ve fosil enerji kaynakları şeklinde yer kütlenin derinliklerinde inaktif olarak kalmışlardır. Endüstrinin ilerlemesi ile birlikte, ham madde kullanımının artması sonucunda doğadan alınıp işlenen maddelerin ve fosil yakıtların kullanımının çoğalması, çevresel kirliliğe oluşturan birçok soruna sebep olmuştur. Bu süreçte, endüstriyel atıkların çevreye kontrolsüz bir şekilde dökülmesi, doğal kaynakların tahrip edilmesi, atmosferin ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi problemler çoğalmıştır. Bu doğrultuda, endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkilerini azaltacak çözümler ve sürdürülebilir üretim yöntemleri önem kazanmaktadır (Sönmez vd 2012).

İnorganik kirleticiler arasında, yüzey ve yeraltı sularında ağır metaller öne çıkan bir kaynaktır. Ağır metallerin sucul sistemlerdeki dağılımı, hareketi ve birikimi, sayısız değişkene bağlı karmaşık mekanizmalarla açıklanabilir. Ağır metaller, asit yağmurları ya da endüstriyel atıkların etkisiyle toprağa ulaşır. Bu ulaşım sağlandıktan sonra ırmak, göl ve yeraltı sularına taşınır. Suyun içinde konsantrasyonu düşen ağır metaller, katı bileşikler oluşturarak su alt tabakasına çöker ve bu bölgede birikirler. (Kahvecioğlu ve ark 2004). Biyolojik süreçlere katılma düzeylerine göre ağır metaller, hayati ve hayati olmayan şeklinde gruplandırılır. Hayati olarak tanımladıklarımızın organizma yapısı içerisinde belirli bir oranda bulunmaları gerekmektedir ve bu metaller biyolojik sentezlere katıldıkları için düzenli olarak besinler vasıtasıyla alınmaları zorunludur (Bigersson et al 1988). Ülkemizde, özellikle kapalı göllerimizde yeteri kadar çevresel önlemler alınmaması ve kontrol dışı sanayileşme nedeni ile ağır metal konsantrasyonu sürekli artış göstermektedir. Bu durum, su kaynaklarının ve ekosistemin sağlığı açısından ciddi bir tehdit oluşturur.

İnsan yaşamını tehdit eden kirleticilerden en önemli olanları; petrol, klorlu hidrokarbonlar, yağ, radyoaktif atıklar, pestisitler, sentetik deterjanlar, doğal ve yapay ve tarımsal kaynaklı gübreler, ağır metaller, virüs ve bakteri benzeri hastalıklara sebep olan canlılardır. Ağır metal içeren kirleticiler sucul olan ortamlarda veya sucul canlıların bünyelerinde birikim gösterebilirler Yaşadığımız yüzyılın yarısına kadar, ağır metallerin çoğunluğu yenilemeyen ham maddeler ve fosil enerji kaynakları şeklinde yer kütlenin derinliklerinde inaktif olarak kalmışlardır. Endüstrinin ilerlemesi ile birlikte, ham madde kullanımının artması sonucunda doğadan alınıp işlenen maddelerin ve fosil yakıtların kullanımının artması, çevresel kirliliğe neden olan birçok soruna sebep olmuştur. Bu süreçte, endüstriyel atıkların çevreye kontrolsüz bir şekilde dökülmesi, doğal kaynakların tahrip edilmesi, atmosferin ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi problemler çoğalmıştır. Bu

doğrultuda, endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkilerini azaltacak çözümler ve sürdürülebilir üretim yöntemleri önem kazanmaktadır (Sönmez vd 2012).

Topraklar, biyolojik döngülerin bir parçası olarak elementlerin dolaşımını sağlarlar ve aynı zamanda bu elementlerin depolanma alanlarıdır. Bu süreçte topraklar, doğal filtreleme özelliklerine sahip olmalarının yanı sıra tamponlama kapasiteleri ve çeşitli fiziki ve kimyevi özellikleriyle de önemlidirler. Bu özellikler, toprağın çevresel etkileri absorbe etme ve elementlerin dengesini sağlama kapasitesini belirler. Toprak çözeltisinde bulunan ağır metaller, toprak organizmaları ve bitki kökleri tarafından emilebilir. Ayrıca, yeraltı sularına karışıp su kalitesini düşürebilir ve besin döngüsünü aksatabilirler. Sonuç olarak, bu durum çevresel kirlilik ve ekosistem sağlığı açısından kaygı vericidir. (Haktanır ve Arcak 1998). Topraklar, çoğu zaman ağır metallerin biriktiği ve depolandığı son çevresel havuzlar olarak görev yapar. Bu bağlamda, toprakların doğal filtreleme özellikleri ve kimyasal dengelerini koruyabilme yani tamponlama kapasiteleri büyük önem taşır. Bu yetenekler, ağır metallerin çevredeki hareketliliğini ve biyoyararlanımını sınırlar. Toprak çözeltisinde serbest halde bulunan ağır metaller, toprak mikroorganizmaları ve bitki kök sistemleri tarafından emilebilir. Ancak, bu metaller aynı zamanda yeraltı sularına sızarak su kalitesini olumsuz yönde etkileyebilirler. Sonuç olarak, bu kirleticiler besin zincirine dahil olarak ekosistem sağlığını tehdit eder ve biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkiler yaratır (Yıldız 2001).

Bütün bu faktörler dikkate alındığında ağır metaller hem sular hem de canlı organizmalar için konsantrasyon sınırlarını aştıklarında toksik etkiler gösterebildiklerini ve özellikle canlı organizmalarda ki etkiler konsantrasyondan çok organizma türü ve metal iyonunun özelliklerinin belirleyici olduğu anlaşılmaktadır. Toksik etki değerlerine ulaşan konsantrasyonlar aynı anda toprağın derinliklerine işleyerek içme sularımıza kadar ulaşabilmektedir. Bu nedenle, içme sularında ve sulama sularında belirlenen maksimum konsantrasyon sınırları önemlidir ve sistematik olarak kontrol sağlanmalıdır. Bu kontroller, su kirliliği seviyelerini belirlemek için önemlidir.

Sulama suyu kaynaklarının evsel ve termal turizm ile kirlenmesi sonucu ortaya çıkan ağır metaller ve tuzlar

Atık sular, endüstriyel ve evsel kaynaklardan olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Şehirlerde, kanalizasyona verilen atık suyun genellikle evsel kökenli olduğu varsayılmaktadır. Ancak bununla birlikte şehirde bulunan ticarethaneler, imalathaneler, hastaneler vb. gibi kaynaklardan gelen zehirli ve mikrop lu atık sular da kanalizasyona verilmektedir. Fabrikalar, kolay su temini için genellikle akarsulara yakın yerleşim yerlerini seçmektedirler. Özellikle çevre konusunda hassasiyetin olmadığı dönemlerde kurulan tesislerde, atık sular genellikle

herhangi bir arıtma işleminden geçirilmeden doğal akarsulara bırakılıyordu. Fakat endüstriyel tesislerin miktarının artması ve bunun sonucunda yeterli arıtma tesislerinin olmaması birçok sorunu beraberinde (Murathan ve Yıldırım 1996).

Sonuç olarak, atık su arıtımı büyük önem kazanmıştır ve atık suyun içerdiği maddelerin etkilerinin bilinmesi gereklilik arz etmektedir. Bu nedenle, atık su arıtımı fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri içermelidir.

Su kirliliği, deterjanlar gibi kirleticilerin etkisiyle de oluşabilmektedir. Deterjan aktif maddeleri yüksek konsantrasyonlarda olduğundan su yüzeyinde köpük oluşturabilmesi, bu sebeple havalandırmayı ve oksijen alışverişini engelleyebilecek kadar etkilidir. Deterjanlar ayrıştıkları alıcı suların oksijenini kullanarak ani oksijen eksikliğine sebep olabilme özelliğine sahiptir. Evsel ve kaplıca sularının içeriğinde bulunan fosfat gibi organik veya endüstriyel kirlilik kaynaklı maddeler, ötrofikasyona sebep olarak alıcı suların kullanılabilirliğini ciddi bir oranda azaltabilir. Bu tür ortamlarda dejenere olan su da oksijen azalır, renk değişimi ve bulanıklık oluşur, canlı türü sayısında büyük oranda azalma ve bozulma gözlenir ve sonuç olarak su kaynağı maalesef kullanılamaz hale gelir (Minareci vd 2013).

Temizlik ve beyazlatma endüstrisinde, toz deterjanlara mikroorganizmaları öldürücü etki ve su yumuşatma özelliği sağlamak için %10 boraks dekahidrat eklenmektedir. Ayrıca beyazlatıcı etkiyi artırmak için de %10–20 oranında sodyum perborat kullanılmaktadır. Ancak çok geç olsa da bor elementi son dönemlerde ulusal ve uluslararası içme suyu kriterlerinde kirlilik faktörü olarak tanımlanmıştır. Borun sınır değerleri, TS-266 (2005)'e ve EU (1988) standartlarına göre 1 mg/L, WHO (1996) standartlarına göre ise 0,3 mg/L olarak belirlenmiştir. Bor, çeşitli endüstrilerden; sulama sularından yüksek derişimlerde toprağa ve suya karışarak yüksek konsantrasyonlarda insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu sebeple borun toprak ve sular üzerindeki etkilerinin, bitkilere, hayvanlara, insanlara ve içme sularına olan olumsuz etkilerinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir (Egemen 2000).

KURAMSAL TEMELLER

Artan nüfus paralelinde azalan su miktarı, tarım başta olmak üzere birçok sektörde en önemli problem olmuştur. Bu bölümde, tarımsal sularda bulunan fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirleticilerin toprak üzerindeki etkilerine yönelik literatür araştırması yer almaktadır.

Sarwar et al (2020), Pakistan'ın Vehari ilçesinin kent çevresi bölgelerinde atık su ile sulamanın toprak-bitki sürekliliğinde metal (Cd, Cu Cr, Ni, Fe, Zn, Mn ve Pb) birikimi ve buna bağlı sağlık riskleri üzerindeki olası etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, Vehari ilçesinin üç mahallesinde bulunan 15 kentsel alanın atık su (n = 17), toprak (n = 108) ve bitki (n = 65) örnekleri toplanmıştır. Sonuçlar, atık su örneklerindeki ortalama Cd (0.02), Mn (0.25) ve Fe (1.57) konsantrasyonunun (mg/L) ilgili eşik değerlerinden yüksek olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, topraktaki Cd, Mn ve Fe konsantrasyonu, atık su sulaması alan tarım toprağının yasal sınırın çok üstündedir. Bununla birlikte, bitkiler, sebze/ürün türüne bağlı olarak ilgili limitlerinden daha yüksek Pb, Cr ve Fe birikimi göstermiştir. Sağlık riski parametreleri, Pb ve Cd'nin insan sağlığı için başlıca toksik kimyasal maddeler olduğunu ve atık suyla sulanan mahsul tüketiminden dolayı mahsul bitkilerinin günlük alımının potansiyel sağlık tehdidi oluşturabileceğini ortaya koymuştur.

Minareci vd (2013), Büyükçekmece Gölü'nden toplanan su örneklerinde anyonik deterjan, bor ve fosfat içeriklerinin analiz etmişlerdir. Bulgulara göre, fosfat konsantrasyonları, 0–0.034 mg P/L arasında; anyonik deterjan konsantrasyonları 0.054– 0.134 mg/L (ppm) arasında; bor konsantrasyonları 0.101–1.231 mg/L (ppm) arasında değişken değerlerdedir. Elde edilen ortalama değerleri, mevzuatlarla karşılaştırmışlardır. Buna göre, Büyükçekmece Göl suyunun fosfat, anyonik deterjan ve bor parametreleri bakımından yüksek kaliteli olduğunu saptamışlardır.

Kızıloğlu vd (2007), Erzurum ilindeki birtakım su kaynakları sulama suyu kalite kriterleri göz önünde bulundurularak toprak, bitki ve sulama sistemleri bakımından yeterliliklerinin belirlenmesini araştırmışlardır. Alınan su örneklerinde Ca^{2+} , HCO_3^{-2} Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , CO_3^{-2} , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2} , Fe, B, elektriksel iletkenlik ile pH değerleri saptanmıştır. Ayrıca tuz miktarı, yüzde sodyum, Langelier Saturasyon İndeksi, kalıcı sodyum karbonat, sodyum adsorbsiyon oranı, düzeltilmiş sodyum adsorbsiyon oranı, potansiyel tuzluluk, sertlik permeabilite indeksi gibi parametreler hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, HCO_3^{-2} değeri 1,20 me/L olan konsantrasyonu kritik sınırdaki; 1.62–6 me/L arasında değişkenlik gösteren

Serçeme ve Teke dereleri, Köyceğiz, Köprüköy göletleri ve Dumlu çayı ve ile Oltu çayının sorun yaşanabilecek sınırlarda ve 9.40 me/L olan Ormanağzı su kaynağının da şiddetli zararlar oluşturabilecek değerler arasında yer aldığı belirlenmiştir. Kapalı sulama mekanizmalarında pH değerleri yüksek olduğu için tıkanmaya sebep olabilecek özellikte olanlar ise, Mg^{2+} ve Ca^{2+} , konsantrasyonları 4.8–9.3 me/L arasında değişim gösteren, Ormanağzı, Pasinler ve Oltu çayı yeraltı su kaynaklarıdır. Σ ve EC Tuz konsantrasyonları sırasıyla 1027–1397 μ mhos/cm ve 657.28–894.08mg/L arasında farklılaşan Köprüköy göleti, Oltu çayı ve Ormanağzı toprak ve bitkilerde sorun yaratabilecek su kaynaklarıdır. LSI indeks değerleri 0.0–0.9 arasında değişen Köyceğiz ve Köprüköy göletleri ile Ormanağzı ve Oltu çayı su kaynakları kapalı sulama mekanizmalarında tıkanmaya sebep olabilecek kaynaklardır. Son olarak Dadaşköy beldesi kentsel atık su kaynağı bitki, toprak ve basınçlı sulama mekanizmaları bakımından sorunlu niteliklere sahip olduklarını saptamışlardır.

Levi (2007), çalışmasında kentselleşme, su kirliliğine ve sel baskınlarına etkisini azaltmak amacıyla kullanılabilecek sürdürülebilir çözümleri araştırmıştır. Kristianstad Üniversitesi Kampüsü'nde yapılan araştırmalar neticesinde, yeşillendirilmiş çatıların en iyi yönetim uygulamaları ile değerlendirdiklerinde yağış sonrasında meydana gelen yüzey suların tutulmasında daha etkili olduğu saptanmıştır. Ayrıca Yağış sularının yönetiminde doğal yöntemlerle sürdürülebilir drenaj sistemlerinin estetik görünüm ve konfor sağlaması ile uygulanabileceği gösterilmiştir.

Polat (2013), Su kaynaklarının sürdürülebilirliği amacıyla arıtılan atıksuların tekrardan kullanım alanlarını incelediği çalışmasında, arıtılmış atıksuların farklı amaçlar doğrultusunda yeniden kullanımının, hızla tükenen tatlı su kaynaklarından tasarruf sağlayabileceği ve atıksuların yüzey sularına deşarjını yok ederek yer altı ve yüzey sularının kirlenmesini önleyebileceğini vurgulanmıştır. Karaman ve Gökalp (2010), iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri ve alınması gereken tedbir ve yapılan araştırmaları özetledikleri çalışmalarında, küresel ısınmanın su kaynaklarını azaltarak sürdürülebilir yaşamı engellediğini belirtmişlerdir. Bu doğrultuda, ekolojik dengenin devamı ve insanlığın sürdürülebilirliği için su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetiminin gerekliliğini vurgulamışlardır.

Uçar (2012), çalışmasında, Konya Kapalı Havzası'nın yüzeysel sularındaki ağır metal kirlilik potansiyeli incelenmiştir. 32 kalite gözlem noktasından aldığı su örneklerinde As, Fe, Cr, Be, Se, Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Mn, Al ve Ni metalleri i ICP-MS kullanılarak analiz etmiştir. Ağır metal analiz bulgularına göre, Konya Kapalı Havzası'ndan alınan örnekler çoğunlukla 1. ve 2. sınıf kalitededir. İçme suyu kaynaklarından alınan ve içme suyu kalite değerlerine göre incelenen 9 numuneden bazılarında As, Fe ve Cr konsantrasyonlarının standartlardan yüksek

olduğu saptanmıştır. 23 sulama suyu örneği, sulama sularında uygun görülen ağır metal sınır değerleri ile karşılaştırıldığında, yalnızca birinde Se konsantrasyonunun sınır değerin yukarısında olduğu tespit edilmiştir.

Çetinkaya vd (2022), çalışmalarında Erzurum'un termal turizm potansiyeli, alternatif turizm türü olarak kullanılabilirliğini ortaya koyarak, termal turizmin gelişmesine yönelik öneriler sunmayı amaçlamıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, Erzurum'un Aziziye, Köprüköy ve Pasinler ilçeleri başta olmak üzere hem nicelik hem de nitelik açısından birçok termal su kaynağına sahip olmasına karşın bu potansiyelin etkili ve verimli kullanamadığını sonucuna varmıştır. Bu kapsamda, söz konusu termal su kaynaklarının daha verimli ve etkin kullanımını sağlamak amacıyla çeşitli öneriler geliştirmişlerdir.

Aşık ve Özsoy (2016) Nilüfer Çayından aldıkları örnekler ile sulanan topraklarda ağır metal içeriklerini ve ağır metallerin bitkiye ulaşması durumunu araştırmışlardır. Çalışma bulgularına göre; Nilüfer Çayında ötrofikasyona sebebi olan P ve N bakımından IV. Sınıf; Pb, Ni ve Cu içeriği bakımından da III. ve IV. sınıf su kalitesinde olduğu belirlenmiştir. Nilüfer Çayı dip çamuru kalite kriterleri bakımından ise numunelerin ağır metal içerikleri (Zn, Cu, Cr, Pb ve Ni) “orta” ve “yüksek konsantrasyonda kirlenmiş” sınıflarında bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Nilüfer Çayının çalışma için belirlenen alanlarda sulama amacıyla kullanılmasıyla birlikte topraklarda ağır metal birikiminin olduğu ve bilhassa bitki yetiştiriciliği için önemli olan değerler bakımından Nilüfer Çayı civarındaki yoğun tarımsal üretimin yapıldığı topraklarda artış saptanmıştır. Çalışma alanlarında kirlilik unsurunun (CF) değişim değerleri 0,31 ile 6,31 arasında iken zenginleşme katsayısı (EF) değerleri 0,20 ile 5,54 arasında farklılık göstermiştir. Bu değerleri literatür kapsamında değerlendirdiklerin, kirlenme faktörü (CF) değerlerinin ciddi düzeyde kirlilik değerinde olduğu, zenginleşme katsayısı (EF) değerleri bakımından ise minimum birikim düzeyinde olduğu sonucuna varmışlardır. Alınan bazı bitki örneklerinde ise Cu, Cr, B ve Ni miktarının toksik düzeylerde olduğunu tespit etmişlerdir.

Dorak ve Çelik (2017) Bursa ilinde tarımsal sulama kaynağı olarak oldukça önemli bir yere sahip olan ve aynı zamanda çok sayıda kuruluşun arıtma sularının deşarj yeri olan Nilüfer Çayı'nın sulama suyu kalite değerlerini araştırmışlardır. Nilüfer Çayı'na deşarj edilen 5 arıtma tesisinin çıkış noktasından ve bu tesislerin deşarj ettirildikleri derelerden Ağustos 2013–Mayıs 2014 tarihleri arasında 4 farklı dönemde atık su örneklerini analiz etmişlerdir. EC (0.36 – 6.75 mS /cm), pH (7.04 – 9.43), sıcaklık (10.7 – 32,9 °C), Amonyum-N (iz – 86,73 mg/ l), Fosfor (0 – 10,68 mg /l), Nitrat – N (iz – 19,33 mg /l), sülfat (4,1 – 325,8 mg/ L), Bor (0 – 3,85 mg /l), klor (7,09 – 857,9 mg /l) değerleri belirlenerek, ayrıca bakiye sodyum adsorpsiyon oranları (SAR) (0.20 – 37.15) ve sodyum karbonat (RSC) (iz – 44,02 meq /L) hesaplamışlardır. Su

örneklerinin sınıflandırılması EC ve SAR değerleri kapsamında yapılmış olup, buna göre numuneler C2S1-C4S4 sınıfları içinde yer almaktadır. Dönemlere göre Nilüfer Çayı ve Nilüfer Çayı'na deşarj edilen bazı arıtma tesislerinin atık su kalite parametrelerinin farklılık gösterdiği özellikle EC, Sıcaklık, Amonyum, Nitrat, Klor, Sülfat ve Fosfor değerlerini olumsuz etkilediklerini belirlemişlerdir.

Dorak vd (2018), yine tarımsal potansiyeli, yeraltı ve yüzey suları bakımından önemli bir bölge olan Bursa ili Nilüfer Çayı'ı tarımsal sulama ve su kirliliği açısından ele almışlardır. Bu çalışmada, bölge için çok önemli olan çayın su kirliliğinin, çevresel ve sağlık risklerinin önlenmesi ve çayın iyileştirilmesi için gerekli eylemlerin yetkili kurumlar yapılmasının önemine değinmişlerdir.

Altan vd (2020), Türkiye'de yağış ve sıcaklık parametrelerinde yaşanan artış ve azalışların su kaynakları, tarımsal su kullanımı ve bitkisel verimlilik ile arasındaki ilişkiyi belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu doğrultuda tarımsal su kullanım politikalarının neler olduğu araştırılarak, gerekli değerlendirmeler yapıp, birtakım çıkış yolları sunulmuştur. Ayrıca, ülkemizde küresel ısınma nedeniyle 2018 yılındaki yıllık toplam yağış ile ortalama sıcaklıkların 2001-2018 dönem ortalamasından yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Sönmez vd (2012), Karasu Irmağından belirlenen 5 istasyondan bir yıl boyunca alınan su numunelerini Bakır (Cu), Çinko (Zn), Mangan (Mn), Kurşun (Pb), Nikel (Ni), Demir (Fe), ve Kadmiyum (Cd) bakımından analiz etmişlerdir. Ağır metal bulgulara göre istasyonlar arasında bütün ağır metallerin değişimlerinde ciddi derecede değişimler gözlemlenmiştir. Ağır metallerdeki aylık değişimler incelendiğinde ise belirlenen noktalardan alınan verilerin istatistiki olarak önemli oranda değişmediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, bir yıl sürdürülen çalışmalardan elde edilen bulgular çerçevesinde yapılan değerlendirmede ırmağın önemi ölçüde kirliliğe maruz kaldığı ve söz konusu durumunun ekolojik dengeye zarar vereceği sonucunu ortaya koymuşlardır.

Murathan ve Yıldırım (1996), Çalışmalarında evsel atık suların endüstriyel atık sularla beraber arıtılmasına ağır metallerin etkilerini çeşitli parametreler belirlenerek belirlemeye çalışmışlardır. Buna göre evsel ve endüstriyel atık suların beraber arıtımında herhangi bir olumsuz durum gözlemlenmemiştir. Yağ-gres, yağ gibi özelliklerin önemli ölçüde azaldığı kalitatif olarak gözlemlenmiştir.

Yıldız (2001), değişik ağır metallerin belirlenmesi amacıyla kullanılan kleyt yapıcılar, su, tamponlanmış, tamponlanmamış tuzlar ve sulu asitler gibi kimyasal ekstraktla ele aldığı çalışmada, bitki iyon alımı seçici olmasına rağmen, yetiştirme ortamında yararlı besin elementlerinin artmasıyla birlikte, bazı ağır metallerin pasif yollarla bitki bünyesine

geçebileceği ve bu metallerin bitkiler aracılığıyla besin zincirine girebileceği belirtilmiştir. Bu durumun, bitkilerin ve insanların yanı sıra hayvanlar için de toksik etkilere neden olabileceği vurgulanmıştır.

Aydoğdu vd (2015), Tarımda su yönetiminde meydana gelen değişimleri ele aldıkları çalışmalarında, Suyun işletilmesi ve yönetimi başta olmak üzere her aşamasının önemini ayrı ayrı ortaya koymuşlardır. Suyun doğru yönetilmesi aşamasında devletlere büyük görevler düştüğüne değinilerek, su yönetiminde başta özel sektörün dışlanmaması gibi önerilerde bulunmuşlardır.

Sezen (2011), Erzurum ilini toprak ve su varlığı bakımından ele aldığı çalışmasında hem toprak zenginliği hem de su miktarı bakımından potansiyelinin yüksek olduğunu belirtmiştir. Erzurum ve Pasinler ovalarından alınan yeraltı sularının çoğunlukla tarımsal sulamada kullanılabilir özellikte olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca Hınıs-Karaçoban ovasındaki sularda ise değişik kimyasal bileşimler olduğu ve hatta bu suların toprağa ve bitkiye zarar verecek yapıda olduğu belirtmiştir.

Oruç (2018), içme suyu arıtımında kullanılan yöntemler sonucunda oluşan trihalometan (THM) kanserojen maddeler ile içme suyu kaynaklarının tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerle kirlenmesi ile oluşan uçucu organik bileşiklerin (UOB), Buski Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisleri'nde analizini yapmıştır. Bu doğrultuda 2016 yılında toplam da 484 adet içme suyu numunesinde 2904 UOB analizi, 2017 yılında ise 570 içme suyu numunesinde toplam 3420 UOB analizi yapmıştır. Bulgu sonuçlarına göre, içme suyunun içeriği UOB bakımından değerlendirilip, analitik olarak yorumlandığında yalnız THM bileşikler tespit edilmiştir.

Kırat (2023), Erzurum'un Moryayla köyü ve çevresindeki Cu cevherleşme alanından rastgele topladığı toprak örneklerinde bulunan metaller ve bu metallerin kirlilik limitleri ile bu kirliliğe neden olan kaynakları 20 adet örnek üzerinden araştırmıştır. Toplanan toprak örneklerinin jeokimyasal analizleri (Cd, Cu, Cr, Ni, Zn, Pb ve Fe) yapılmış ve kirlilik parametreleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu örneklerde Zenginleşme Faktörüne (EF) göre; Cu, Pb, Zn, Ni ve Cr değerlerinde yüksek, çok yüksek, aşırı ve orta zenginleşme olduğu tespit edilmiştir. jeobirikim İndeksi (Igeo) parametresine göre ise; örnek metallerde az kirlilik-kirlilik yok- gözlemlenmiştir. Kontaminasyon Faktörü (CF) göre de bütün lokasyonlarda orta ve az arasında kontaminasyon dereceleri belirlenmiştir. Ayrıca, örneklem alanı Cu, Pb, Zn ve Cd metalleri açısından kirletildiği sonucuna ulaşmıştır.

Yerli vd (2020), ağır metallerin su, toprak, bitki ve insan sağlığına etkilerini araştırdığı derleme çalışmasında; ağır metallerin ne şekilde oluştuğunu, bitkilerin bu metallere yönelik tolerans ve avunma mekanizmaları araştırmıştır. Sonuç olarak, su kaynaklarını giderek

kirlenmesi ve azalması bütün sektörleri olumsuz etkilemektedir. Sulama maksadıyla kullanılan atık suların toprakta ağır metal birikimine sebep olabileceğini ve bilhassa uzun vadeli atık su kullanımlarında, ağır metal birikimini gözlemek için su ve toprak kaynaklarında, belli aralıklarla ağır metal analizleri yapılması gerektiğini vurgulamıştır. Daha basit analiz metotlarının ve arazide ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesi ile birlikte su ve toprak da ağır metal birikim riskinin azaltılabileceği vurgulanmıştır.

Varol ve Erdem (2020), Çorlu Deresi boyunca 15 su örneği ve 20 toprak örneği alınmış ve her örneklemeden üçer örnek alınarak bazı Fizikokimyasal ve ağır metal analizleri yapmışlardır. Su örnekleri Na^+ (mg/l) sonuçlarına göre sulama suyu kalitesi IV. sınıf olarak saptanmıştır. Ayrıca altı örnekleme noktası sulama suyu sınıfı C3-S1 olarak belirlenmiştir. Ağır metal analizlerinde Zn, As, Cu, Cr, Cd, Ni, Pb sonuçları belirlenmiş olup herhangi bir sorun gözlenmemiştir. Ancak Fe ve Mn elementlerinin bazı örnekleme noktalarında sınır değerleri aşılmıştır. Toprak örneklerinin ağır metal analiz bulguları incelendiğinde ise yasal sınır değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Ancak, Ba elementi izin verilen sınır değerlerinin üstünde çıkmıştır, ancak ciddi bir sorun bulunmamıştır.

Miller et al (2004), yukarı Río Pilcomayo boyunca dört toplulukta metal ve As kirliliğinin potansiyel insan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Tarımsal topraklardaki kirlenme, Mondragon'da Cd, Pb ve Zn konsantrasyonlarının önerilen kılavuz değerlerini aştığı gözlemlenmiştir. Ancak, aşağı akış yönünde kirlenme azalmakta ve metal konsantrasyonları genellikle kılavuz değerlerin altında kaldığı belirtilmiştir. Tarım ürünlerindeki metal ve As konsantrasyonları genellikle kılavuz değerlerin altındadır, ancak bazı sebzelerde özellikle Pb düzeyleri tavsiye edilen kılavuz değerleri aşabilmektedir. İçme suyu genel olarak WHO kılavuz değerlerinin altında olsa da, sulama kanallarından ve Río Pilcomayo 'dan gelen kirlenmiş suyun yanlışlıkla yutulması potansiyel bir tehlike oluşturabilmektedir. Ancak, en önemli maruz kalma yolu, kirlenmiş toprak parçacıklarının tüketilen sebzelerle ilişkilendirilmesi ve bu parçacıkların yutulması olarak belirtilmiştir. Söz konusu risklerin kısmen de olsa, sebzelerin iyice yıkanması veya soyulmasıyla azaltılabileceği ifade edilmiştir.

Pehlivan vd (2021), Kocasu Deltası'ndaki ağır metal birikimi ve kirliliğin alansal dağılımı ile olası kaynaklarını incelemek amacıyla alandan gravite karot ve yüzey çökel numuneleri alınmıştır. Örnek numuneleri üzerinde yapılan analizler neticesinde, element derişimlerinin derinlik ve tane boyutuna göre nasıl farklılaştığı değerlendirilmiştir. Analiz bulgularına göre, bilhassa Cr, Pb ve Ni metallerinin az ve/veya orta derecede kirlenme/zenginleşme gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama jeobirikim indeksi sonuçları ise bu metaller açısından az kirlilik sınıfında olduğunu göstermiştir. Diğer metaller bakımından herhangi bir

kirlenmeye gözlenmemiş ve genel olarak çalışma alanının kirlenmediği tespit edilmiştir. Marmara Denizi'nin güney akaçlama havzasında bulunan metal cevherleşmeleri ve yüksek değerler içeren magmatik kayalar ile birlikte, endüstriyel atıksu deşarjları, katı atık, evsel atıksular ve hayvansal gübre depolama bölgeleri, tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisitler ve gübre ile madencilik faaliyetlerinin, Cr, Pb ve Ni elementlerinin muhtemel kaynakları olabileceği öne sürülmüştür.

Özyürek (2016), Nevşehir bölgesinde değişik su kaynakları ile sulanan arazilerden alınan su, toprak ve sebzelerdeki ağır metal birikimi ve çevresel kirliliği araştırmıştır. Tarımsal olarak yetiştirilen dört farklı bitki türünden örnekler toplanmış ve bu örneklerde Zn, Cu, Fe, Cd, Pb, Cr, Ni düzeylerinin belirlenmesinde ICP-OES cihazı kullanmıştır. Bulgulara, Sulusaray lokasyonundan toplanan domates yaprağında yüksek oranda Nikel, Avanos lokasyonundan toplanan soğan kökünde ve toprak örneğinde yüksek miktarda Çinko, Avanos biber kökünde düşük miktarda Kadmiyum tespit edilmiştir. Fe açısından, bazı sebzelerde Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği sınır değerlerin aşıldığı ve en fazla Fe birikiminin kök > gövde > yaprak > meyve formunda olduğu tespit edilmiştir. Kızılırmak kaynak suyu ile sulanan Avanos istasyonunda ortalama en yüksek ağır metal oranları belirlenmişken, Kavak istasyonundaki örneklerde, kuyu suyuyla sulamanın bir sonucu olarak en düşük ağır metal oranları tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı Erzurum Pasinler ilçesindeki tarımsal Hasankale çayının sulama suyu kalitesinin durumunun değerlendirilerek toprak verimliliği üzerine olan muhtemel etkilerini değerlendirmektir. Bu kapsamda, 2023 yılında atık suların ve kaplıca sularının Hasankale çayına karıştığı noktalardan su numuneleri alınmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Hasankale çayının Pasinler ilçesi sınırları içerisindeki kaplıca ve evsel atık suların bulaşmadığı noktadan bir bent ve temiz su olarak başka bir kanal sistemi ile ayrılmıştır. Ayrılan bu bölgeden 3 tekerrürlü 500 ml hacimlerde, sulama suyu 2 km, 4 km, 6 km ve 8 km sonrasında yeryüzüne çıktığı noktalardan aynı sayı ve miktarda su numuneleri alınmıştır. Bentten sonra kaplıca sularının olduğu yerde bulunan 2 adet sondaj kuyularından 3'er tekerrürlü 500 ml hacimlerde örnekler alınmıştır. Kuyuların 500 metre sonrasında kaplıcadan Hasankale çayına dökülen kullanılmış kirli kaplıca sularının 3 adet borusundan 3'er tekerrürlü 500 ml hacimlerde örnekler alınmıştır. Bu sulama borularının 500 metre, 750 metre, 1 km, 2km, 5 km, 6 km ve 8 km ilerisindeki noktalarından 3'er tekerrürlü 500 ml hacimlerde örnekler alınmıştır. Söz konusu çalışma alanından alınan su örneklerinde bulunan su kalitesi parametrelerinin değerlerine bakılacaktır. Daha sonra bu suyun tarım alanlarına yüklediği kirliliği ve toprak verimliliğine etkisi araştırılacaktır.

Çalışma alanının (Erzurum/Pasinler) genel özellikler

Hasankale çayı Erzurum-Ağrı Karayolu'nun 39.km ilerisinde bulunan Pasinler İlçe Merkezinden geçmektedir. Araştırma konusu olan Pasinler İlçesi, Türkiye-İran E-23 Devlet Karayolu üzerinde yer alması sebebi ile tarih boyunca önemli bir yerleşim yeri olmuştur. Pasinler ilçesi, doğal ve beşerî coğrafi özellikleri bakımından birbirinden çok farklı olan iki alana ayrılır. İlk olarak doğal konumu sebebi ile yerleşime daha uygun olan tarım alanlarının da yer aldığı ova tabanı, ikincisi ise alt yapı ve iklim şartlarının etkili olması sebebi ile tarıma elverişsiz olan ve çoğunlukla hayvancılık yapılan yüksek alanlardır.

Pasinler ilçesinin merkezinin güneyinde bulunan Pasinler Ovası ise Kuzey ve Güney Anadolu dağlarının, Doğu Anadolu'da birbirlerine en yakın olduğu yörede bulunmaktadır. Pasinler ovası, batıda Deveboynu eşliğinden başlayıp, doğuda Çobandede Köprüsü yakınlarında Aras nehri ile Hasankale çaylarının birleştiği bölgeye kadar uzanmaktadır. Pasinler ovasını kuzey yönünden sınırlandıran Kargapazarı dağları, blok düzenindeki faylanmalar ve aşınım süreci ile birlikte toptan yükselmeler sonucunda oluşmuşlardır. Yaklaşık olarak 40-50 km uzunluğa ve 15-20 km.'lik bir genişliğe sahiptirler. Bu yüksek platolar, kimi yerlerde 3000 metreye ulaşan tepelerle bezelidir. 3000 metreye varan tepelerin de bulunduğu bu düzlükler,

yüksek bir plato görüntüsüne sahiptir (Ünal 2003). Pasinler ovasını güney sınırlarında bulunan Palandöken Dağlarının, ovanın güneyini oluşturan bölümü ise düzgün, yüksek ve kabarıktır. Batısından doğusuna ise Alibaba-Nalbant-Sakaltutan dağları birbirleri ile kesin sınırlarla ayrılmaksızın uzanmaktadır (Sür 1961).

İklimi

Erzurum ilinin Doğu Anadolu Bölge sınırları içerisine doğru olan bölümlerinde, şiddetli bir karasal iklim egemendir. Erzurum ilinin yıllık ortalama sıcaklık değerleri 5.8°C, ortalama yüksek sıcaklık değerleri 11.5°C, ortalama düşük sıcaklık değerleri ise 0.5°C olarak belirlenmiştir. Yıllık yağış düzeylerinin değerleri bakımından 447 mm olarak saptanmıştır. Kar yağışlı günlerin ortalaması 50'dir, karla kaplı gün sayısı ise 113 gün olarak belirlenmiştir. Erzurum'un Karadeniz bölgesi sınırları içinde kalan kısımlarında; Karadeniz'in ılıman ve nemli iklimi ile Doğu Anadolu'nun sert karasal ikliminin kesişiminde bulunması nedeniyle, geçiş iklimi belirgin bir şekilde hissedilmektedir. Özetlersek ne Karadeniz iklimi kadar nemli ne de Doğu Anadolu iklimi kadar karasal bir iklime sahiptir (Koday 2010).

Toprak özellikleri ve jeolojik yapısı

Erzurum jeolojik yapısı sebebi ile örtüsüz step alanları büyük bir bölümü kaplamaktadır. Bölge de genelde kahverengi orman toprağı ile alüvyonlu topraklar mevcuttur. Kahverengi orman toprakları genellikle kalkerli ve konsolide olmamış sedimenter kayalar üzerinde meydana gelmişken alüvyonlu topraklar Oltu, Tortum, Barhal, Çoruh Nehirleri gibi sistemlerinin dar taşkın alanlarında oluşmaktadır. Genellikle toprakları mineral madde yönünden çok zengindir (Anonim 2023).

Erzurum ili genel anlamda yüksek ve plato özelliğı taşımaktadır. Ayrıca Erzurum, 1900 metre yükseltisi ile Türkiye'nin en yüksek şehridir. Güneyinin ve kuzeyinin dağlarla kaplı olması sebebi ile engebeli arazi alanı fazladır. Güney kesiminde Erzurum ovası, Pasinler ovası ve Güzel ovanın (Daphan) yer alması dolayısı ile de bölgesel olarak engebe azalmaktadır. Erzurum ili yer yapısı nedeniyle ikinci derece deprem risk bölgesinde bulunmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı Erzurum ilinin termal potansiyeli yüksektir. İlçelerinden Hasankale (Pasinler) Kaplıcaları, Köprüköy, Ilıca kaplıcaları, Horasan, Çat ve Olur da e termal alt yapı bulunmaktadır (Koday 2010).

Yetiştiricilik

Tarımı sektör bazında incelediğimizde teknik, ekonomik, sosyal ve politik değerleriyle insanların hayatının devamlılığı için hayati bir öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Erzurum'un iklime olan bağımlılığı sebebi ile tarımsal verimi beklenen değerlerden düşüktür. Son dönemlerde sulama, gübre kullanma ilaçlama işlemleri ve makine kullanımı gibi faaliyetler modern tarım yöntemlerinin gelişmesi ile birlikte artırmıştır. Yetiştiricilik olarak genel anlamda Patates, Fasulye, Şeker pancarı, Buğday, Çavdar, Yulaf ve elma yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bunların haricinde mikro klima alanlarına da sahip olan Erzurum ilinde incir, üzüm, fasulye, kayısı, ceviz ve dut da yetiştirilebilmektedir. Erzurum ve Pasinler ovalarında sayıca artırılan sulama tesisleri ile sulu tarım çoğalmış ve verimi büyük oranda etkilemiştir. Türkiye geleninde üretimi Erzurum'da yapılan popüler ve tanınmış ürünler arasında ispir fasulyesi, ispir acılı kavunu, karna vaz ve tortum pekmezi yer almaktadır. Bunların yanında Pasinler çerezlik ayçiçeği de önemli tarım ürünleri arasındadır (Tarım Vadisi t.y.).

Tarımsal yetiştiriciliğin yanında hayvansal yetiştiricilik de şehrin ekonomisine büyük katkı da bulunmaktadır. Ülke genelinde büyükbaş hayvancılığının en yaygın yapıldığı şehirdir. Çeşitli yer şekilleri sayesinde, küçükbaş hayvan yetiştiriciliği ve arıcılık da bu alanda sıkça görülür. Bunun en önemli nedeni Erzurum Kars-platosunun iklim ve yer şekillerine olan katkısıdır. Bunun dışındaki diğer gelir kaynakları ise;

- Geçmişten günümüze kadar yaşanan tahribatlara rağmen hala orman varlığını sürdüren Şenkaya, Oltu, Olur, Uzundere, İspir ve Pazaryolu ilçelerinde ormancılık yapılmaktadır.
- En önemli madenlerini ise Oltu taşı, Kaya tuzu, Demir ve Bakırdır.
- Sanayi olarak diğer sektörler ile karşılaştırıldığında fazla gelişmemiştir. Son dönemlerde yapılan çalışmalar neticesinde yem fabrikası, çimento fabrikası, Şeker fabrikası, tekstil ile yerli et ve süt alanlarına yatırımlar artmıştır.
- Turizm açısından değerlendirildiğinde ise ilk olarak, en önemli doğal turizme sahip olan şehirler arasına girmektedir. 70 kilometreden fazla toplam pist uzunluğu olan Palandöken Kayak Merkezi'nin en uzun kesintisiz pisti 12.5 km'dir. Bunun dışında doğa yürüyüş sporları, buz hokeyi salonları, kayaklı atlama kuleleri ve yörenin vazgeçilmezi olan kaplıca turizmi de oldukça önemlidir (Kültür ve Turizm Bakanlığı 2024).

Erzurum Pasinler ilçesindeki tarımda kullanılan su kaynakları

Erzurum ili, Karadeniz, Fırat ve Hazar Denizi Havzalarının birleştiği alanında bulunmaktadır. Burada önemli akarsu havzaları bulunmaktadır. Bu akarsular; Karasu Havzası, Pulur Çayı Havzası, Çoruh Havzası, Aras Havzası ve Tortum Çayı Havzası'dır. İldeki diğer akarsular ise, bu önemli akarsuların kolları olan, Tuzla Çayı, Oltu Çayı, Hınıs Çayı ve Köroğlu Deresi'dir. Dağlar, ilin topraklarından doğu ve batı yönlerinde yayılır. Üç ana havza olarak tanımlanan Aras, Karasu ve Çoruh doğu-batı yönünde eğimin iyice azaldığı ovalık alanlara kadar derin vadiler aracılığıyla akarlar (Anonim 2023)

Pasinler ovası, batıda Deveboynu eşiğinden başlayarak, doğuda Çobandede köprüsü yakınlarında Hasankale ve Aras nehri çaylarının birleştiği alana kadar uzanarak oldukça geniş bir alana yayılmaktadır. Yer yer dik meyilli ya da hafif meyilli sırtlardan oluşmaktadır. Erzurum merkeze göre yazları daha sıcak, kışlar ise daha soğuktur. Bu bağlamda karasallığın daha etkili yaşandığı bir ilçedir. Geçimini büyük ölçüde tahıl tarımından sağlayan ilçe, hayvancılıkla da önemli bir gelir elde etmektedir. İlçenin tarihi M.Ö. 4000'li yıllara dayanmaktadır. Pasinler ilçesi jeolojik çağlardan kalan iç ve dış kuvvetlerin bıraktığı izleri hala taşımaktadır. Bu kuvvetler yöredeki sıcak su kaynaklarını oluşturarak önemli bir doğal turizm imkânı sunmuştur. Termal turizm alanındaki zenginlikleri ile de bilinen Pasinler ilçesi önemli bir oranda turist çekmektedir (Kültür ve Turizm Bakanlığı 2024).

Erzurum Ovası ve Pasinler-Hınıs-Karaçoban Ovaları, yer altı suyu bakımından zengin bölgelerdir. Bu bölgelerdeki yeraltı sularının çoğunlukla tarımsal amaçlar için kullanılabilir nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Pasinler ilçesinde bulunan Hasankale çayı da ilçenin tarımsal su ihtiyacını büyük oranda karşılayabilecek kapasitededir. Bazı akarsular Erzurum sınırlarının ötesinde başka bölgelere kadar ulaşabilmektedir. Hasankale çayı yıl boyu oluşan iklimsel olaylar sonucu biriktirdiği su rezervi ile Aras, Fırat ve Çoruh nehirlerini beslemektedir.

Erzurum Pasinler İlçesi Hasankale Çayında kirlilik yapan etmenler

Değişen iklim şartları, ilçenin sulama sistemi çeşidi, artan nüfus ile birlikte çoğalan evsel atık miktarı, ilçenin turizm açısından kalkınmasına katkıda bulunan kaplıcaların atık suları kontrolsüz bir şekilde Hasankale çayına bulaşarak tarımda kullanılan sulama suyun kalitesini büyük oranda değiştirmiştir. Bununla birlikte yer altı sularına katılarak bölgenin içme sularına kadar bulaşarak insan sağlığını tehlikeye atmaktadır. Kaplıca suları, ilçenin evsel ve kanalizasyon sularının da bulaştığı çay, Aras, Fırat ve Çoruh nehirlerini beslemektedir.

Sularda kirlilik yapan başlıca etmenler; evsel atık sular, endüstriyel sular, jeotermal sular ve kimyasal gübreler olarak guruplara ayrılmaktadır. Hasankale çayı da ilçenin endüstriyel atık ve

evsel atık sularının herhangi bir arıtma veya bertaraf etme planı uygulanmadan çaya dökülmesi sebebi ile kirlilik riski altında kalmaktadır. Bunun dışında ilçe kaplıcalarıyla ülke genelinde çok önemli bir üne sahiptir ve kaplıcalardaki kullanılmış sularda kontrolsüz bir şekilde Hasankale çayına dökülmektedir. Pasinler ilçesi genel olarak çerezlik ve silajlık mısır, yağlık ayçiçeği ve sebze tarımı yapılmaktadır. Sulama amacı ile kullanılan su da Pasinler ilçesindeki Hasankale çayı aracılığı ile karşılanmaktadır. İlçe de ve örnekleme alanı keşifleri esnasında bu suyun kaplıca suları, endüstriyel sular ve evsel atık suların karışmadığı noktadan başka bir hatla ayrıldığı ve tarımda bu ayrılan su kullanıldığı tespit edildi. Bu güzergahtaki tarım ürünleri verimli fakat çayın devamının olduğu bölgede hiçbir tarım ürünü yetişmemekte hatta mera olarak bile verimsiz görünmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2023).



Şekil 1. Çalışma alanı (Pasinler) genel görünüm

Örnekleme noktaları konum bilgisi GPS Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi) sistemiyle belirlenmiştir,

Tablo 5. Pasinler Hasankale Çayı Su Örnekleri Alma Noktaları

Su Örnekleri No	Örnekleme Yeri	Mesafe	Enlem	Boylam
A1	Sulama Suyu	2km	39,9722577	41,6803515
A2	Sulama Suyu	2km	39,9722316	41,6803627
A3	Sulama Suyu	4km	39,9738648	41,6855543
A4	Sulama Suyu	4km	39,9737860	41,6855773
A5	Sulama Suyu	6km	39,9714037	41,6932267
A6	Sulama Suyu	6km	39,9713336	41,6932838
A7	Sulama Suyu	8km	39,9679029	41,6998375

Tablo 5. (devamı)

A8	Sulama Suyu	8km	39,9678241	41,7000428
A9	Mazgal giriş	M-1	39,9750759	41,6686164
A10	Mazgal giriş	M-1	39,9750759	41,6686164
A11	Hasankale Çayı	500mt	39,9751855	41,6695670
A12	Hasankale Çayı	500mt	41,6695670	41,6695749
A13	Hasankale Çayı	750mt	39,9753361	41,6704928
A14	Hasankale Çayı	750mt	39,9752642	41,6705223
A15	Hasankale Çayı	1km	39,9754454	41,6709818
A16	Hasankale Çayı	1km	39,9753089	41,6710373
A17	Hasankale Çayı	2km	39,9755089	41,6719535
A18	Hasankale Çayı	2km	39,9753947	41,6719684
A19	Hasankale Çayı	4km	39,9757376	41,6760334
A20	Hasankale Çayı	4km	39,9756280	41,6760481
A21	Hasankale Çayı	8km	39,9757276	41,6794988
A22	Hasankale Çayı	8km	39,9756596	41,6795219
A23	Kuyu 1	Giriş	39,9756775	41,6814785
A24	Kuyu 1	Giriş	39,9755807	41,6814912
A25	Kuyu 1	Çıkış	39,9756752	41,6817713
A26	Kuyu 1	Çıkış	39,9756024	41,6817701
A27	Kuyu 2	Giriş	39,9756223	41,6820891
A28	Kuyu 2	Giriş	39,9756103	41,6816865
A29	Kuyu 2	Çıkış	39,9756650	41,6823595
A30	Kuyu 2	Çıkış	39,9756160	41,6823595



Şekil 2. Uydu görüntüsü ile örnek alma noktaları

Örneklerin alınma ve analize hazırlama aşamaları

Su örneklerinin alınması ve analize hazırlanması

Çalışma alanında belirlenen noktalardan 500 ml'lik cam kaplarla su alanının genişliğine göre 3'er veya 2'şer tekerrürlü örnekler şişede boşluk kalmayacak şekilde doldurularak alınmıştır. Şişelerin üzerine örneklerin alındığı yerin mesafesi ve alındığı yeri belirten etiketler yapıştırılmıştır. Şişelerin ağızları sıkıca kapatılarak güneş görmeyecek şekilde buz torbaları eşliğinde kolilenerek Yeditepe Üniversitesi ARGE Analiz merkezine götürülmüştür. Numune saklama koşulları göz önünde bulundurularak buz dolaplarında muhafaza edilmiştir. Numuneler bölünerek Atatürk üniversitesi Toprak bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalına gönderilerek metal analizlerinin sağlanması yapılmıştır. Eşit oranda bölünerek BAB projesi kapsamında analiz edilecek elemente göre DAYTAM ve BİYOTAR analiz laboratuvarlarına gönderilmiştir



Şekil 3. Mazgal girişi karışmamış su alanı



Şekil 4. Mazgal girişi karışmamış su alanı



Şekil 5. Kuyu 1 girişi su örneği alma alanı



Şekil 6. Kuyu 1 girişi su örneği alma alanı



Şekil 7. Kuyu 2 girişi örnek alanı



Şekil 8. Kaplıca çıkış 500 mt



Şekil 9. Örnek alım süreci



Şekil 10. Sulama suyu olarak ayrılan kanalın su yüzeyine çıkış noktası



Şekil 11. Sulama suyu olarak ayrılan suyun devamı



Şekil 12. Sulama alanlarında yetiştirilen ürün örneği

Alınan su örneklerinin laboratuvarında analize hazırlanması

Uygun şartlarda laboratuvara getirilen Suların örnekleme, 0.45 μm por çapına sahip şırınga filtre PTFE ile süzülerek gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sayesinde çözünmüş metal eldesi sağlanmıştır. Analiz için örnekler, ultra saf nitrik asit çözeltisi ile pH değeri 2'nin altına indirilmiş polietilen şişelerde hazırlanmıştır. Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Su örnekleri (0-8km) noktaları arasında yaklaşık 500 ml üzer tekerrürlü olarak alınıp laboratuvara getirilmiştir. Buz dolabında muhafaza edilerek analiz için hazır hale getirilmiştir. Çalışmamızın analizleri thermo scientific ICP-MS cihazı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 13. Numunelerin laboratuvarda analiz aşamalarının hazırlanması

Thermo Scientific Icp-MS çalışma prensibi

ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer): sıvı ve katı numunelerde çok sayıda elementin ucuz, doğru, hassas ve hızlı bir şekilde, niteliksel, niceliksel ya da yarı-niceliksel bir şekilde ölçülmesine fırsat veren ileri teknoloji ürünü bir analiz yöntemidir. ICP MS teknolojisi sayesinde sıvı veya katı örneklerde 76 element birlikte çok düşük derişimlerde (nanogram/pikogram) hızlı ve hassas bir şekilde analiz yapabilmektedir. Örnek giriş sistemi (Sample Introduction) nebulizör, peristaltik pompa, spreyci içerir ve örneklerin cihaz içerisine girme yolunu sağlar. Peristaltik pompa devamlı olarak örnek çekişini sağlayarak numuneyi spreyciye ulaştırır. Ayrıca spreycide oluşan büyük damlacıkların atığa gönderilmesine imkân verir. Nebulizör desteğiyle sıvı örnek argon gazı yardımıyla aerosol formuna gelir. Spreycide aerosol haline gelen örnek enjektör aracılığıyla torcha ulaştırılır (Anonim. (2023)).



Şekil 14. ICP_MS cihazı

Su kalitesinin sınıflandırılması

Su kalitesinin değerlendirilmesi; yüzeysel suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik niteliklerinin, belirli kullanım amaçları doğrultusunda incelenmesi esasına dayanır. Bu süreçte hem doğal çevre koşulları hem de antropojenik etkiler göz önünde bulundurularak suyun mevcut durumu ile potansiyel kullanımları analiz edilir. Özellikle insan sağlığı ve sucul yaşamın sürdürülebilirliği temel alınarak kalite sınıfları belirlenmektedir.

Sınıf I – üst düzey kaliteye sahip sular

Bu gruba dâhil edilen sular, içme suyu elde edilmesinde yüksek potansiyel sunan ve herhangi bir ön arıtmaya gerek kalmaksızın doğrudan kullanılacak özelliklere sahip doğal sulardır. Ayrıca bu sular, yüzme gibi doğrudan temas gerektiren rekreasyonel etkinlikler ile sportif ve ticari alabalık yetiştiriciliği faaliyetleri için de uygundur. Tarımsal işletmelerin hayvancılıkla ilgili su gereksinimlerinin karşılanmasında da tercih edilebilir niteliktedir.

Sınıf II – düşük düzeyde kirlenmiş sular

İkinci sınıf su kaynakları, belirli arıtma süreçlerine tabi tutularak içme suyu elde etme potansiyeli taşıyan ve rekreasyonel amaçlarla (örneğin piknik alanları, doğal göletler vb.) kullanılabilen sulardır. Alabalık dışında kalan tatlı su balıkları için uygun yaşam ortamı sağlayabilen bu sular, aynı zamanda yürürlükteki yasal düzenlemelerde belirtilen sulama suyu kalite kriterlerini sağladığı sürece tarımsal sulama faaliyetlerinde kullanılabilir.

Sınıf III – orta düzeyde kirlenmiş sular

Bu kategoriye giren sular, vasıflı kullanım alanları (örneğin gıda üretimi veya tekstil endüstrisi gibi yüksek kalite standartları gerektiren sektörler) dışında, uygun arıtma yöntemleri uygulanması şartıyla sanayi ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi alanlarda değerlendirilebilir niteliktedir.

Sınıf IV – yoğun kirlenmeye maruz kalmış sular

Dördüncü sınıf su kaynakları, üçüncü sınıfta belirtilen kullanım kriterlerini dahi karşılayamayan ve yalnızca ileri düzey iyileştirme yöntemleriyle üst kalite sınıflarına yükseltilebilecek özellikteki yüzeysel sulardan oluşmaktadır. Bu sular, doğrudan kullanım açısından ciddi risk taşıdığı için yalnızca çevresel rehabilitasyon çalışmaları sonrasında potansiyel kazandırılacak kaynaklar arasında yer almaktadır. (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2004).

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan su örneklerine ait analiz sonuçları aşağıdaki farklı referans değerlerine göre yorumlanmıştır.

Tablo 6. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar(kg/ha) (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010)	Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/l) (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010)	Kısa dönemli kullanım (mg/l) (Division vd., 2004)
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum (Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	0.75	2.0
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li)	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	-
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	-
Çinko (Zn)	1840	2.0	-

Kaynak: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010

Tablo 7. Su Kalite Sınıfları

Parametre		Grup		
		I	II	III
EC	dS·m ⁻¹	<0.5	<1.0	<1.5
pH				
Sodyum	mmol L ⁻¹	<0.5	<3.0	<5.0
Klor	mmol L ⁻¹	<0.5	<3.0	<5.0
Kalsiyum	mmol L ⁻¹	<1.5	<2.5	<3.5
Magnezyum	mmol L ⁻¹	<0.7	<1.25	<2.0
Sülfat	mmol L ⁻¹	<0.7	<1.25	<2.0
Bikarbonat	mmol L ⁻¹	<5.0	<7.5	< 10.0
Demir	mmol L ⁻¹	<10.0		
Mangan	mmol L ⁻¹	<10.0		
Bor	mmol L ⁻¹	<15.0	<25.0	<50.0
Çinko	mmolL ⁻¹	<3.0	<5.0	<10.0
Bakir	mmol L ⁻¹	<1.0	<1.5	<3.0

Tablo 8. pH İçeriklerine Göre Suların Yorumlanması (Richards 1954; Ülgen ve Yurtsever 1995)

Su (pH)	Değerlendirme
<4.5	Kuvvetli asit
4.5-5.5	Orta asit
5.5-6.5	Hafif asit
6.5-7.5	Nötr
7.5-8.5	Hafif alkalın
>8.5	Kuvvetli alkalın

Tablo 9. Toplam Eriyebilir tuzların konsantrasyonu (Ayers & Westcot 1985)

California tuzluluk sınıflaması		ABD tuzluluk laboratuvarı tuzluluk sınıflaması (USSL)		
Sınıflama	Konsantrasyon ppm	Sınıflama	Konsantrasyon dS m ⁻¹	Konsantrasyon dS m ⁻¹
En iyi	175 ve daha aşağısı	Düşük (C1)	100-250	0,10-0,25
İyi	175-525	Orta (C2)	250-750	0,25-0,75
İzin verilebilir	525-1400	Yüksek (C3)	750-2250	0,75-2,25
Şüpheli	1400-2100	Çok yüksek (C4)	2250-5000	2,25-5,00
Zararlı	2100 ve daha yukarısı			

Tablo 10. (SAR)Sodyum Adsorpsiyon Oranı (Mandel & shiftan 1981)

SAR	Sınıfı
0-10	S1 Az Sodyumlu Su
10-18	S2 Orta Sodyumlu Su
18-28	S3 Yüksek Sodyumlu Su
>26	S4 Çok Yüksek Orta Sodyumlu Su

Tablo 11. Bor İyonunun Konsantrasyonu (Ayers & Westcot 1985)

Değerlendirme	Suyun Bor İçeriği (ppm)		
	Hassas Bitkiler	Orta Hassas Bitkiler	Dayanıklı Bitkiler
Yok (Çok İyi)	0-0,32	0-0,66	0-0,99
Az (İyi)	0,33-0,66	0,67-1,32	1,00-1,99
Orta (Kullanılabilir)	0,67-0,99	1,33-1,99	2,00-2,99
Fazla (Şüpheli)	1,01-1,25	2,00-2,50	3,00-3,75
Çok Fazla (Kullanılamaz)	1,25'den fazla	2,25'den fazla	3,75'den fazla

Tablo 12. Suların Yüzde Sodyum Oranı (Ayers & Westcot 1985)

% Na Aralığı	Değerlendirme
<20	Mükemmel
20 – 40	İyi
40 – 60	İzin verilebilir
60 – 80	Şüpheli
> 80	Uygun olmayan

Tablo 13. Artık Karbonat Miktarı (RSC) (California fertilizier committee 1975)

Sınıf	RSC (me/L)	Açıklama
1. Sınıf Sulama Suyu	<1,25	Güvenle kullanılabilir
2. Sınıf Sulama Suyu	1,25 – 2,50	Islah maddeleriyle birlikte kullanılabilir
3. Sınıf Sulama Suyu	> 2,50	Sulamada kullanılmaz

Tablo 14. Klorür Oranı (Rotatek (TR))

KLORÜR	ETKİ SEVİYESİ
<70 ppm	Sulamada kullanıma uygun değildir.
75- 150 ppm	Hassas mahsuller üzerinde zararlı etkileri olabilir.
150- 350 ppm	Hassas ve orta hassas mahsullere zarar verir.
>350 ppm	Sulamada kullanıma uygun değildir.

Tablo 15. KI, MR, PI, PS Su kalite İndeksleri

KI (Kelly, 1940; Sundaray vd, 2009)	<1	Uygun
	>1	Uygun olmayan
MR (%) (Ayers & Westcot, 1985; Szabolcs & Darab, 1964))	<50	Uygun
	>50	Uygun olmayan
PI (Doneen, 1964) (%)	>75	Uygun
	75-25	Orta
	<25	Uygun olmayan
PS (Delgado vd, 2010)	0-3	İyi
	3-15	Orta
	>15	Önerilmez

Tablo 16. Klor (Cl), Sülfat (SO₄)

SO ₄ (Scofield, 1935) (meq/l)	<4	Mükemmel
	4-7	İyi
	7-12	İzin verilebilir
	12-20	Şüpheli
	>20	Uygun değil
Cl (Wilcox & Magistad, 1943) (meq/l)	<5	İyi
	5-10	İzin verilebilir
	>10	Şüpheli

Su Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçlarının Tarımsal Verimlilik Açısından Değerlendirilmesi

Su örneklerinin kimyasal analizlerinden pH ISO (10523:2008) yöntem, EC (SM 2510) yöntemi, kireç volümetrik yöntem, Klor AgNO₃ ve mohr yöntemi, Sodyum (TS 4530) yöntemi, Potasyum (TS 4530) yöntemi, Sülfat TS 4164 ISO 9297 yöntemi, Karbonat (Tüzüner 1990) yöntemi ve Bikarbonat Karbonat (Tüzüner 1990) yöntemiyle belirlenmiş olup, sonuçlar Tablo 17-18-19 ve 20 'de verilmiştir. Tablo 17,18,19 ve 20'deki veriler tablo 8-9-10-11-12-13-14-15-16-' de yer alan referans değerleriyle kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

Tablo 17. Su Örneklerinin Tarımsal Kalite Parametreleri (EC)

Numune	E ppm	California tuzluluk sınıflaması	EC dS m ⁻¹	ABD tuzluluk laboratuvarı tuzluluk sınıflaması (USSL)
A1	332,8	İyi	0,52	Orta (C2)
A2	377,6	İyi	0,59	Orta (C2)
A3	2739,2	Zararlı	4,28	Çok Yüksek(C4)
A4	326,4	İyi	0,51	Orta (C2)
A5	2924,8	Zararlı	4,57	Çok Yüksek(C4)
A6	345,6	İyi	0,54	Orta (C2)

Tablo 17. (devamı)

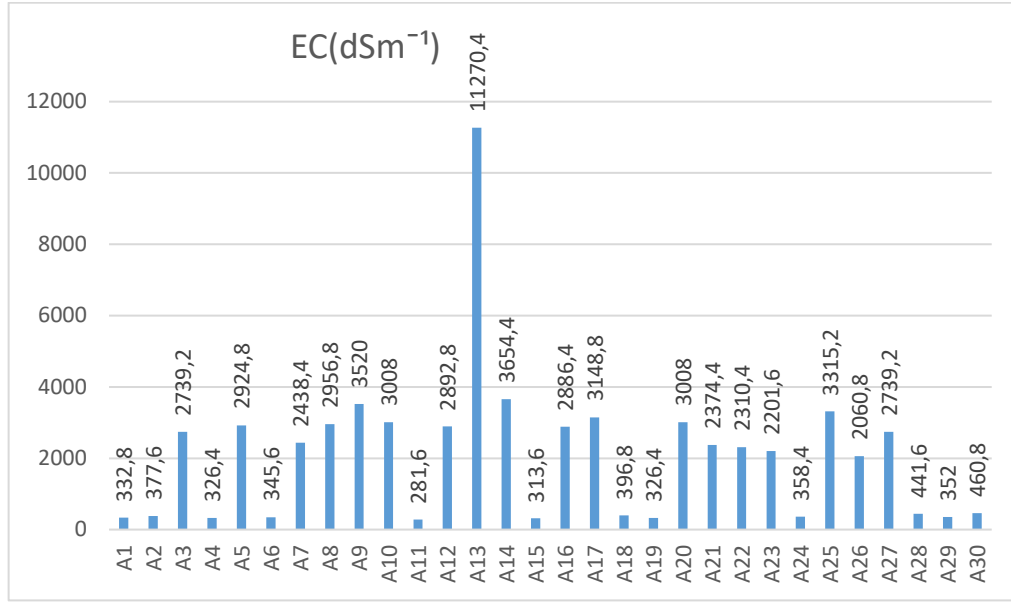
A7	2438,4	Zararlı	3,81	Çok Yüksek(C4)
A8	2956,8	Zararlı	4,62	Çok Yüksek(C4)
A9	3520	Zararlı	5,5	Çok Yüksek(C4)
A10	3008	Zararlı	4,7	Çok Yüksek(C4)
A11	281,6	İyi	0,44	Orta (C2)
A12	2892,8	Zararlı	4,52	Çok Yüksek(C4)
A13	11270,4	Zararlı	17,61	
A14	3654,4	Zararlı	5,71	
A15	313,6	İyi	0,49	Orta (C2)
A16	2886,4	Zararlı	4,51	Çok Yüksek(C4)
A17	3148,8	Zararlı	4,92	Çok Yüksek(C4)
A18	396,8	İyi	0,62	Orta (C2)
A19	326,4	İyi	0,51	Orta (C2)
A20	3008	Zararlı	4,7	Çok Yüksek(C4)
A21	2374,4	Zararlı	3,71	Çok Yüksek(C4)
A22	2310,4	Zararlı	3,61	Çok Yüksek(C4)
A23	2201,6	Zararlı	3,44	Çok Yüksek(C4)
A24	358,4	İyi	0,56	Orta (C2)
A25	3315,2	Zararlı	5,18	
A26	2060,8	Zararlı	3,22	Çok Yüksek(C4)
A27	2739,2	Zararlı	4,28	Çok Yüksek(C4)
A28	441,6	İyi	0,69	Orta (C2)
A29	352	İyi	0,55	Orta (C2)
A30	460,8	İyi	0,72	Orta (C2)
Ortalama	2125,44		3,321	

Not 1: Sulama sularının EC değeri “ABD tuzluluk laboratuvarı tuzluluk sınıflamasına “göre değerlendirildiğinde 5 dS m⁻¹ değerinin üzerindeki sonuçlar değerlendirilememiştir.

Su örneklerinin California tuzluluk EC (ppm) analizi

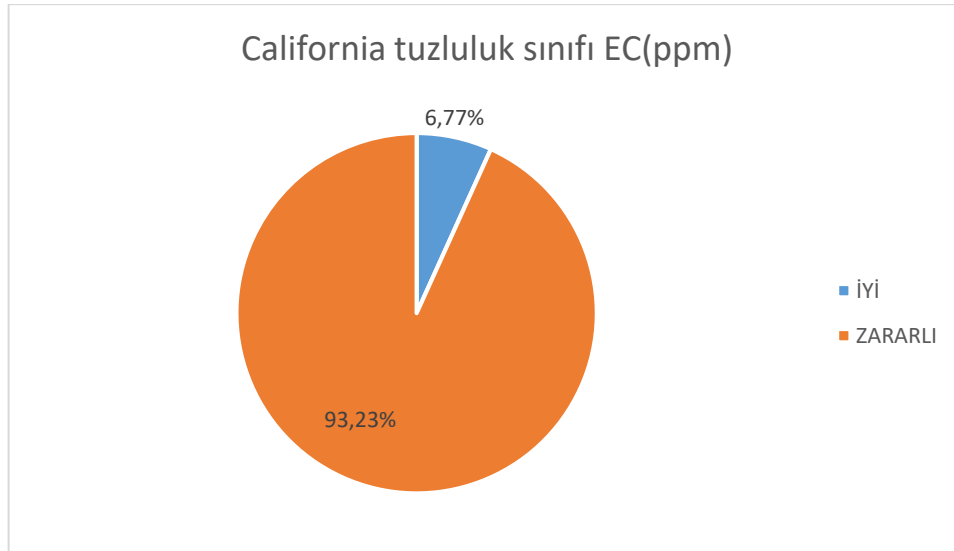
California tuzluluk, Elektriksel iletkenlik (EC) ölçümlerine dayanan bir sınıflamadır. Bu yöntem, sulama suyundaki çözünmüş tuz miktarının, iletkenlik ölçüm cihazları yardımıyla belirlenmesine olanak tanımaktadır. Su içerisindeki iyonik bileşenlerin elektrik akımını iletme kapasitesi iletkenlik değeri ile doğrudan ilişkilidir. Elektriksel iletkenlik, genellikle desiSiemens/metre (dS m⁻¹) birimi ile ifade edilmekte olup, bu değerler belirli bir dönüşüm katsayısı (yaklaşık 640) kullanılarak ppm (mg L⁻¹) cinsine çevrilebilmektedir. Böylece suyun

tuzluluk düzeyi çeşitli sınıflar kapsamında değerlendirilerek tarımsal kullanıma uygunluğu belirlenir.



Şekil 15. Su örneklerinin EC (dS m⁻¹) analiz sonuçları

Tablo 17’deki verilere göre su örneklerinden (A1, A2, A4, A6, A11, A15, A18, A19, A24, A28, A29, A30) numaralı 12 numunenin ‘iyi’ geriye kalan (A3, A5, A7, A8, A9, A10, A12, A13, A14, A16, A17, A20, A21, A22, A23, A25, A26, A27) 18 adet numune zararlı sınıfına girmektedir.



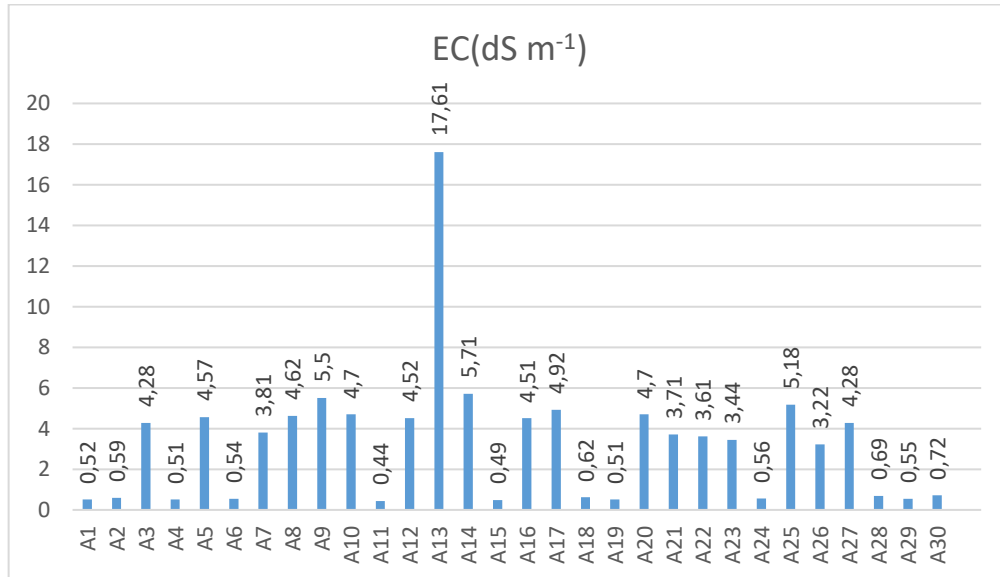
Şekil 16. Su örneklerinin Eriyebilir tuzların California tuzluluk sınıflaması EC (ppm) analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 16’e göre California tuzluluk sınıflamasına göre yapılan değerlendirme sonucunda, analiz edilen su örneklerinin yaklaşık %93,23’ü elektriksel iletkenlik (EC, ppm) açısından sınır değerlerin üzerinde yer almakta ve zararlı sulama suyu kategorisinde sınıflandırılmaktadır. Buna karşın, yalnızca %6,77’lik kısmı, tuzluluk düzeyi bakımından

tarımsal sulamaya uygun nitelikte olup sınıf kriterlerine göre iyi kalitede su olarak kabul edilmektedir.

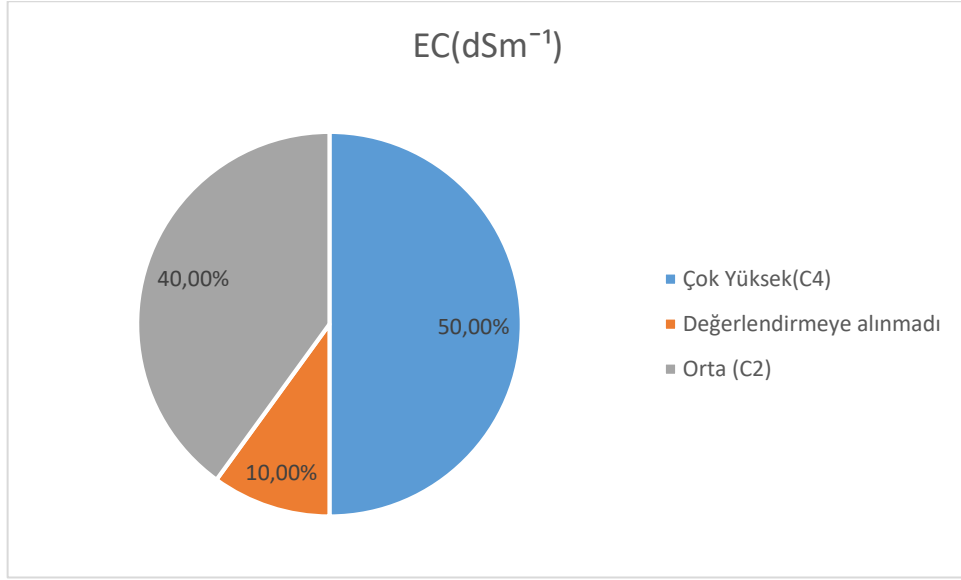
Su Örneklerinin ABD tuzluluk laboratuvar tuzluluk sınıflaması (USSL)analizi

Bu sınıflandırma yöntemi, sulama suyunda bulunan çözünmüş tuzların toplam miktarının, özel iletkenlik ölçüm cihazları aracılığıyla belirlenmesine dayanmaktadır. Suyun elektrik akımını iletebilme kapasitesi, içeriğindeki iyon yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Elektriksel iletkenlik genellikle desiSiemens/metre (dS m^{-1}) birimiyle ifade edilmekte olup, bu değerler yaklaşık 640'lık dönüşüm katsayısı ile ppm (mg L^{-1}) cinsine çevrilebilir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda sulama suyu, ABD Tuzluluk Sınıflandırması kapsamında belirlenen C1 (düşük tuzluluk) ile C4 (çok yüksek tuzluluk) arasındaki sınıflara ayrılır. Bu sınıflama sayesinde, sulama suyunun tarımsal kullanım açısından uygunluğu değerlendirilerek, özellikle bitki türüne ve toprak özelliklerine göre sulama stratejileri geliştirilebilir.



Şekil 17. Su örneklerinin USSL analiz sonuçları

Tablo 18'deki verilere göre su örneklerinden (A1, A2, A4, A11, A15, A18, A19, A24, A28, A29, A30) numaralı 11 adet numune orta(C2) (A3, A5, A7, A8, A9, A10, A12, A16, A17, A20, A21, A22, A23, A26, A27) 15 adet numune ise çok yüksek (C4) sınıfına geriye kalan (A13, A14, A25) 3 adet numune ise 5 dS m^{-1} sınır değerinden yüksek olduğu için değerlendirmeye alınmamıştır.



Şekil 18. Su örneklerinin eriyebilir tuzların ABD tuzluluk sınıflaması (USSL) tuzluluk sınıflaması EC (ppm) analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

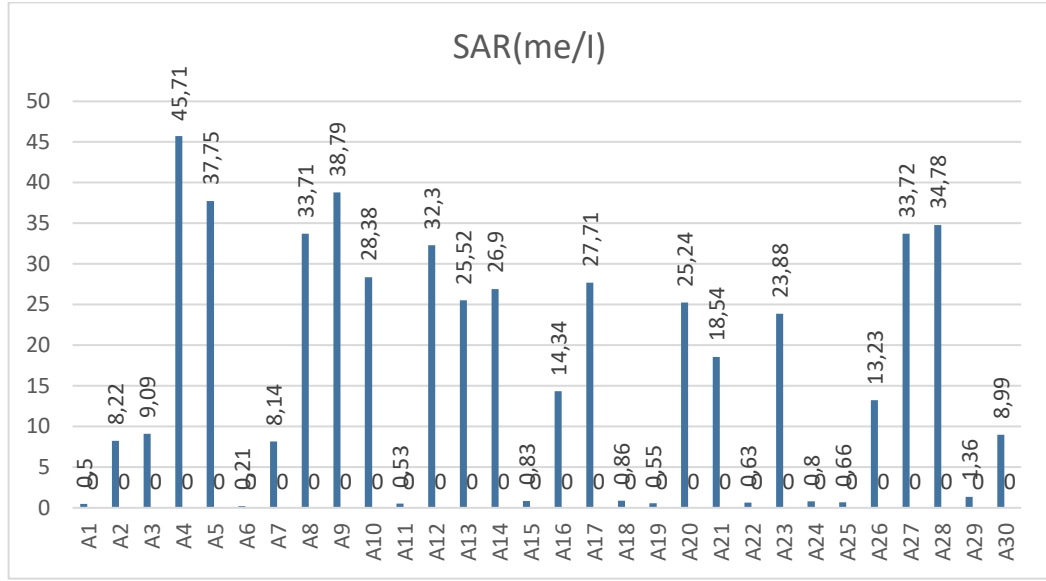
Şekil 18'e göre, su örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri (ds m⁻¹) cinsinden değerlendirildiğinde, %50'si ABD tuzluluk laboratuvarı tuzluluk sınıflaması (USSL) göre sınır değerlerinin çok yüksek (C4) olduğu ve %10' nun orta (C2) sınır değerler içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 18. Su Örneklerinin Tarımsal Kalite Parametreleri (SAR, RSC, BOR)

Numune	SAR (me/l)	Değerlendirme	RSC me/l	Değerlendirme	B(ppm)	Hassas Bitkiler	Orta Hassas Bitkiler	Dayanıklı Bitkiler
A1	0,5	S1 Az Sodyumlu Su	-0,28	Güvenle kullanılabilir	2,99	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A2	8,22	S1 Az Sodyumlu Su	1,82	Güvenle kullanılabilir	0,17	Yok (Çok iyi)	Yok (Çok iyi)	Yok (Çok iyi)
A3	9,09	S1 Az Sodyumlu Su	0,415	Güvenle kullanılabilir	0,2	Yok (Çok iyi)	Yok (Çok iyi)	Yok (Çok iyi)
A4	45,71	S4 Çok Yüksek Sodyumlu Su	2,18	Güvenle kullanılabilir	0,2	Yok (Çok iyi)	Yok (Çok iyi)	Yok (Çok iyi)
A5	37,75	S4 Çok Yüksek Sodyumlu Su	1,53	Güvenle kullanılabilir	4,78	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A6	0,21	S1 Az Sodyumlu Su	1,21	Güvenle kullanılabilir	6,35	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A7	8,14	S1 Az Sodyumlu Su	1,97	Güvenle kullanılabilir	0,28	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A8	33,71	S4 Çok Yüksek Sodyumlu Su	-2,66	Güvenle kullanılabilir	4,57	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A9	38,79	S4 Çok Yüksek Sodyumlu Su	-1,46	Güvenle kullanılabilir	0,3	Yok (Çok iyi)	Yok (Çok iyi)	Yok (Çok iyi)
A10	28,38	S4 Çok Yüksek Sodyumlu Su	-0,89	Güvenle kullanılabilir	4,51	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A11	0,53	S1 Az Sodyumlu Su	0,03	Güvenle kullanılabilir	0,25	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A12	32,3	S4 Çok Yüksek Sodyumlu Su	-0,21	Güvenle kullanılabilir	6,35	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A13	25,52	S3 Yüksek Sodyumlu Su	-11,26	Güvenle kullanılabilir	4,73	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A14	26,9	S4 Çok Yüksek Sodyumlu Su	-7,88	Güvenle kullanılabilir	11,2	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A15	0,83	S1 Az Sodyumlu Su	-4,865	Güvenle kullanılabilir	10,93	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A16	14,34	S2 Orta Sodyumlu Su	-5,11	Güvenle kullanılabilir	4,43	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A17	27,71	S4 Çok Yüksek Sodyumlu Su	3,365	Güvenle kullanılabilir	6,46	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A18	0,86	S1 Az Sodyumlu Su	-0,898	Güvenle kullanılabilir	7,06	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A19	0,55	S1 Az Sodyumlu Su	-5,595	Güvenle kullanılabilir	6,39	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A20	25,24	S3 Yüksek Sodyumlu Su	-6,138	Güvenle kullanılabilir	6,18	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A21	18,54	S2 Orta Sodyumlu Su	-9,061	Güvenle kullanılabilir	6,8	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A22	0,63	S1 Az Sodyumlu Su	-4,193	Güvenle kullanılabilir	6,58	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A23	23,88	S3 Yüksek Sodyumlu Su	-7,441	Güvenle kullanılabilir	7,3	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A24	0,8	S1 Az Sodyumlu Su	-6,87	Güvenle kullanılabilir	6,73	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A25	0,66	S1 Az Sodyumlu Su	-5,152	Güvenle kullanılabilir	4,63	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A26	13,23	S2 Orta Sodyumlu Su	-7,105	Güvenle kullanılabilir	7,2	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A27	33,72	S4 Çok Yüksek Sodyumlu Su	-0,161	Güvenle kullanılabilir	0,29	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A28	34,78	S4 Çok Yüksek Sodyumlu Su	-0,615	Güvenle kullanılabilir	0,24	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A29	1,36	S1 Az Sodyumlu Su	1,383	Güvenle kullanılabilir	0,22	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
A30	8,99	S1 Az Sodyumlu Su	-2,912	Güvenle kullanılabilir	4,46	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)	Çok fazla (Kullanılmaz)
Ortalama	16,73		-2,56		4,45			

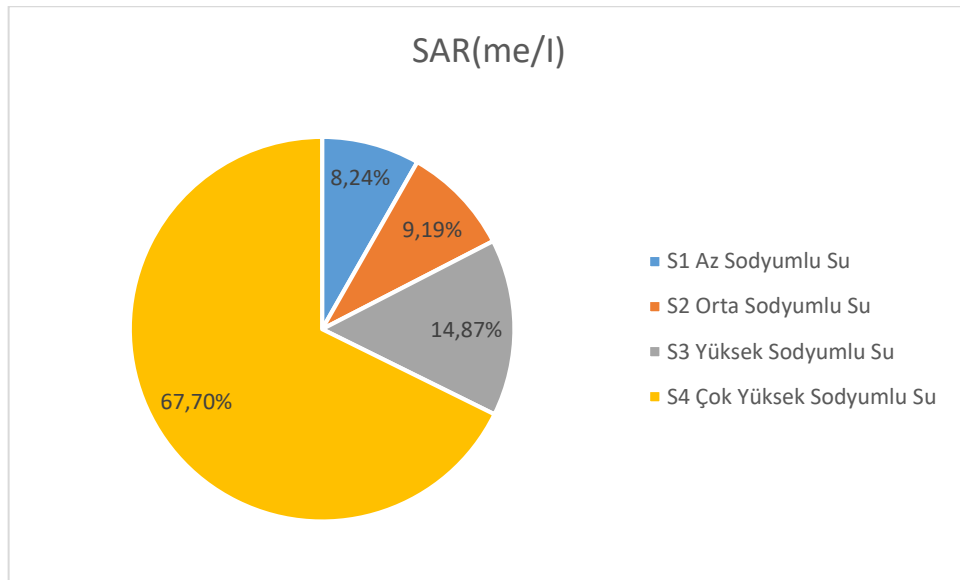
Su örneklerinin (SAR)Sodyum absorpsiyon analizi

Su örneklerinin Sodyum absorpsiyon oranı (SAR) analizi ölçümü, bu sınıflandırma yöntemi, sulama suyundaki sodyumun diğer katyonlara (kalsiyum ve magnezyum) oranını temel alan ve Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) adı verilen bir parametreye dayanmaktadır. SAR değeri, miliekivalen cinsinden sodyum, kalsiyum ve magnezyum iyon konsantrasyonları kullanılarak hesaplanır ve sonuçlar, ABD Sodyum Sınıflandırması çerçevesinde S1 (düşük sodyum) ile S4 (çok yüksek sodyum) arasında derecelendirilir.



Şekil 19. Su örneklerinin sodyum (SAR) analiz sonuçları

Tablo 18'daki verilere göre su örneklerinden (A1, A2, A3, A6, A7, A11, A15, A18, A19, A22, A24, A25, A29, A30) numaralı numunelerin "S1 az sodyumlu ", (A16, A21, A26) numaralı numunelerin " S2 orta sodyumlu", (A10, A20, A23) numaralı numunelerin "S3 yüksek sodyumlu" geriye kalan (A4, A5, A8, A9, A12, A13, A14, A17, A27, A28) numaralı numunelerin ise "S4 çok yüksek sodyumlu su" sınıfına girmektedir.

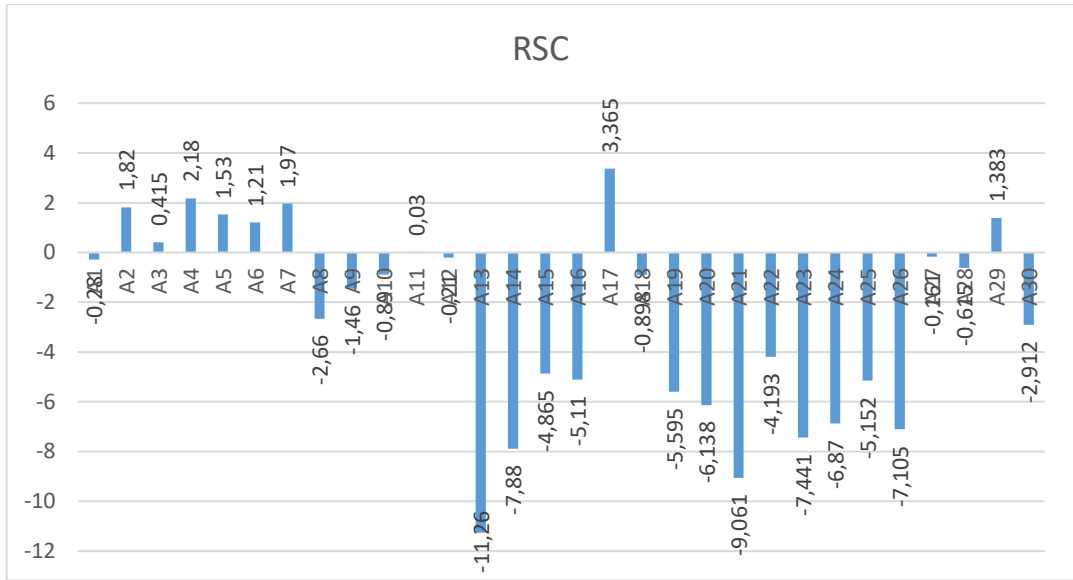


Şekil 20. Su örneklerinin Sodyum (SAR) analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 20'e göre bakıldığında su örneklerinin Sodyum (SAR) bakımından %8,24'dü, S1 sınıfı "az sodyumlu su" kategorisinde yer almakta olup, bu sular düşük sodyum içeriğine sahip olduklarından her türlü toprak tipi üzerinde güvenle kullanılabilecek niteliktedir. %9,19'nun S2 sınıfı "orta sodyumlu su" kapsamında değerlendirildiği görülmüştür. Bu sınıftaki sular, özellikle orta düzeyde geçirgenliğe sahip topraklarda kontrollü kullanım gerektirmektedir. %14,87'si S3 sınıfı "yüksek sodyumlu su" kategorisine dâhil olmuştur. Bu tür sular, yüksek sodyum içeriği nedeniyle doğrudan kullanım açısından risk taşımaktadır. %67,70'lik kısmı, S4 sınıfı "çok yüksek sodyumlu su" kapsamında değerlendirilmiştir. Bu sınıfa giren sular, içerdiği yüksek sodyum düzeyi nedeniyle ciddi yapısal bozulmalara yol açabileceğinden, tarımsal sulamada genellikle uygun kabul edilmemektedir.

Su örneklerinin artık karbonat miktarı (RSC) analizi

Su örneklerinde Artık Karbonat (Residual Sodium Carbonate, RSC) miktarının belirlenmesi, sulama suyunun sodyum riskini değerlendirmek amacıyla yapılmaktadır. RSC değeri, sudaki karbonat (HCO_3^-) ve bikarbonat (CO_3^{2-}) iyonlarının toplamından, kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+}) iyonlarının toplamının çıkarılmasıyla hesaplanır. İyon konsantrasyonları, miliekiyalan/litre (me/l) biriminde ölçülür. Bu hesaplama sonucunda pozitif değerler, sulama suyunda fazla karbonat nedeniyle toprakta sodyum birikimi riskinin olduğunu gösterirken, negatif veya düşük değerler sulama suyu için uygun koşulları işaret eder.

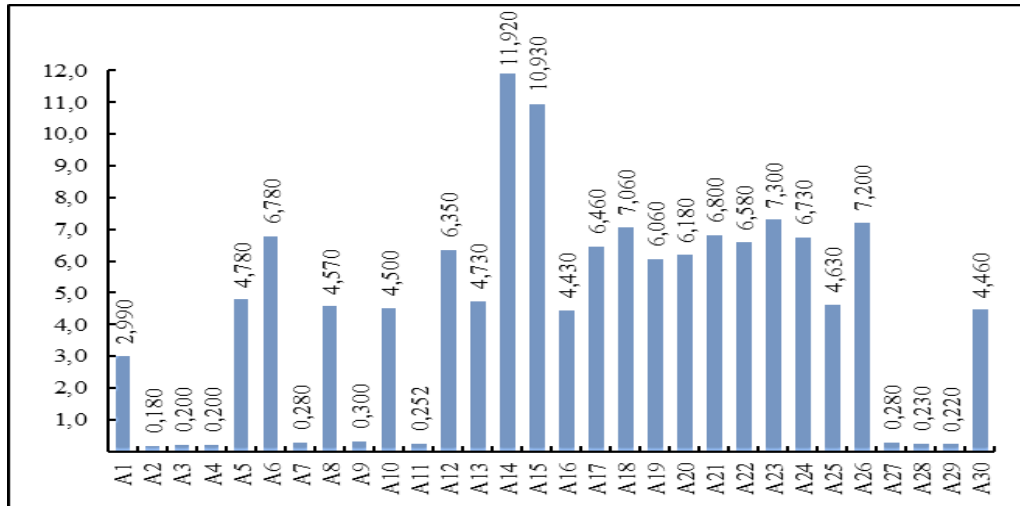


Şekil 21. Su Örneklerinin artık karbonat miktarı (RSC) analiz sonuçları

Tablo 18'deki verilere göre su örneklerinin hepsi tarımsal sulama amaçlı "güvenle kullanılabilir" sınıfında yer almaktadır.

Su örneklerinin BOR B (ppm) analizi

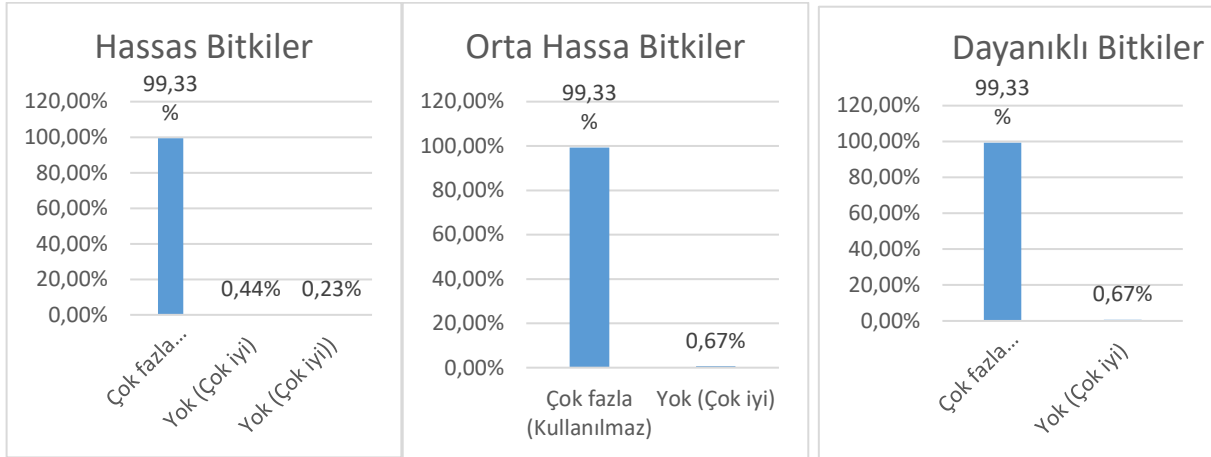
Su örneklerinin BOR B (ppm) analizi ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar tablo 19'de verilmiştir ve tablo 19'da (Su Örneklerinin Tarımsal Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 18'da yer almaktadır.



Şekil 22. Su örneklerinin bor B (ppm) analiz sonuçları

Tablo 18'deki yapılan analizlerde, incelenen su örneklerinin tarımsal kullanım açısından hassas bitkiler, orta hassasiyetli bitkiler ve dayanıklı bitkiler olarak sınıflandırılan referans

değerlere uygun olmadığı belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu sulama sularının farklı bitki gruplarının ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kaldığını göstermektedir.



Şekil 23. Su örneklerinde bor içeriğinin bitki türlerine göre sulama suyu uygunluğuna dağılımı

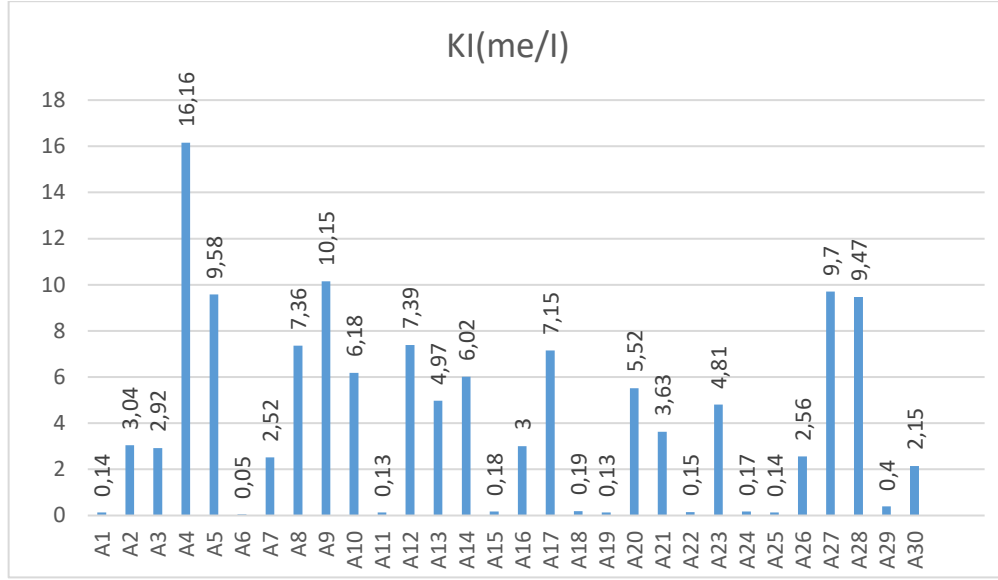
Şekil 23'e bakıldığında bor içeriğinin hassas bitkiler bakımından %99,33 " çok fazla " %0,44'ü " yok (Çok iyi) " ve geriye kalan %0,23 ise " Yok (Çok iyi) " olarak değerlendirilmiştir. Orta hassas bitkiler bakımından %99,33 " çok fazla (kullanılmaz) " olarak değerlendirilirken geriye kalan %0,67 kısmı ise " yok (çok iyi) " olarak değerlendirilmektedir. Dayanıklı bitkiler bakımından %99,33 " çok fazla " olarak değerlendirilirken geriye kalan %0,67 'si ise " yok (çok iyi) " olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 19. Su Örneklerinin Tarımsal Kalite Parametreleri (KI, PI, MR ve PS)

Numune	KI (me/l)	Değerlendirme	PI (me/l)	Değerlendirme	PS (me/l)	Değerlendirme	MR (me/l)	Değerlendirme
A1	0,14	Uygun	44,07	Orta	3,09	Orta	65,41	Uygun olmayan
A2	3,04	Uygun olmayan	90,1	Uygun	6,42	Orta	61,64	Uygun olmayan
A3	2,92	Uygun olmayan	86,64	Uygun	21,7	Önerilmez	54,07	Uygun olmayan
A4	16,16	Uygun olmayan	97,8	Uygun	23,27	Önerilmez	64,64	Uygun olmayan
A5	9,58	Uygun olmayan	94,17	Uygun	26,2	Önerilmez	57,25	Uygun olmayan
A6	0,05	Uygun	40,19	Orta	4,15	Orta	66,21	Uygun olmayan
A7	2,52	Uygun olmayan	85,62	Uygun	20,6	Önerilmez	47,98	Uygun
A8	7,36	Uygun olmayan	91,07	Uygun	31,95	Önerilmez	44,71	Uygun
A9	10,15	Uygun olmayan	93,82	Uygun	38,75	Önerilmez	35,61	Uygun
A10	6,18	Uygun olmayan	89,68	Uygun	29,7	Önerilmez	43,86	Uygun
A11	0,13	Uygun	39,58	Orta	7,35	Orta	31,36	Uygun
A12	7,39	Uygun olmayan	91,45	Uygun	28,65	Önerilmez	53,58	Uygun olmayan
A13	4,97	Uygun olmayan	84,87	Uygun	96,7	Önerilmez	36,6	Uygun
A14	6,02	Uygun olmayan	87,66	Uygun	32,05	Önerilmez	63,9	Uygun olmayan
A15	0,18	Uygun	34,51	Orta	6,8	Orta	60,84	Uygun olmayan
A16	3	Uygun olmayan	80,48	Uygun	25,1	Önerilmez	42,53	Uygun
A17	7,15	Uygun olmayan	93,14	Uygun	35,03	Önerilmez	69,09	Uygun olmayan
A18	0,19	Uygun	41,35	Orta	10,6	Orta	55,18	Uygun olmayan
A19	0,13	Uygun	29,69	Orta	6,35	Orta	54,16	Uygun olmayan
A20	5,52	Uygun olmayan	87,7	Uygun	21,2	Önerilmez	43,1	Uygun
A21	3,63	Uygun olmayan	81,67	Uygun	19,6	Önerilmez	42,99	Uygun
A22	0,15	Uygun	34,39	Orta	10,55	Orta	62,08	Uygun olmayan
A23	4,81	Uygun olmayan	85,86	Uygun	20,2	Önerilmez	43,72	Uygun
A24	0,17	Uygun	30,06	Orta	7,3	Orta	46,21	Uygun
A25	0,14	Uygun	31,79	Orta	8,35	Orta	43,21	Uygun
A26	2,56	Uygun olmayan	77,15	Uygun	25	Önerilmez	42,73	Uygun
A27	9,7	Uygun olmayan	94,42	Uygun	25,25	Önerilmez	41,47	Uygun
A28	9,47	Uygun olmayan	93,93	Uygun	28,6	Önerilmez	36,39	Uygun
A29	0,4	Uygun	61,61	Orta	8,6	Orta	44,35	Uygun
A30	2,15	Uygun olmayan	76,97	Uygun	5,2	Orta	50,57	Uygun olmayan
Ortalama	4,20		71,71		21,14		50,18	

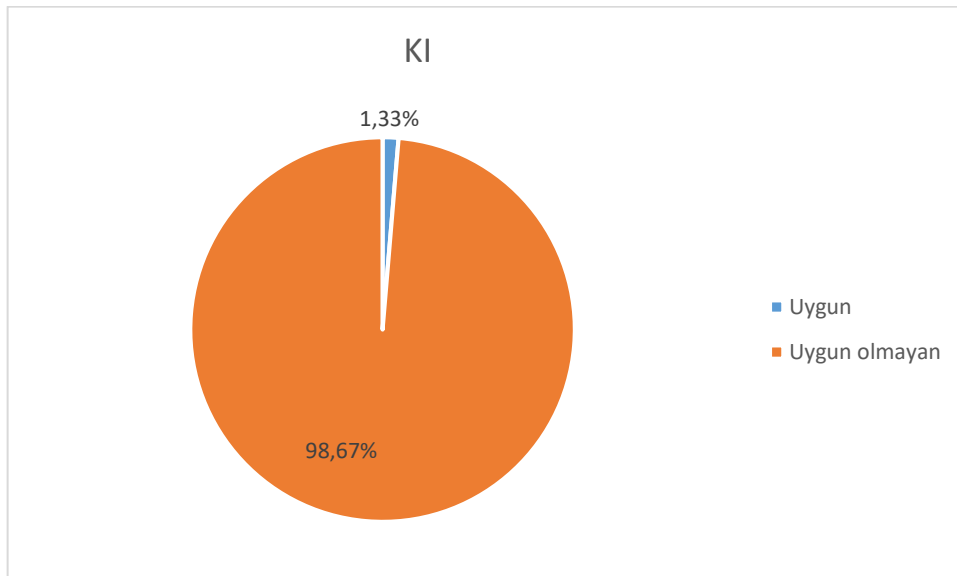
Su örneklerinin KI analizi

Su örneklerinin KI indeksi, sulama suyundaki kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), sodyum (Na^+) ve karbonat (CO_3^{2-}) iyonlarının konsantrasyonlarına dayanarak, suyun sodyum riskini ve toprağa olan olası etkisini değerlendirmek için kullanılan bir parametredir. Bu kapsamda, çalışmada analiz edilen sulama suyu örneklerinin iyonik bileşenleri laboratuvar ortamında belirlenmiş ve KI indeksi hesaplanmıştır.



Şekil 24. Su örneklerinin KI analiz sonuçları

Tablo 19'daki verilere göre su örneklerinden A1, A6, A11, A18, A19, A22, A24, A25, A29) numaralı numunelerin "uygun" geriye kalan (A2, A3, A4, A5, A7, A8, A9, A10, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A20, A21, A23, A26, A27, A28, A30) numaralı numunelerin ise "uygun olmadığı" tespit edilmiştir.

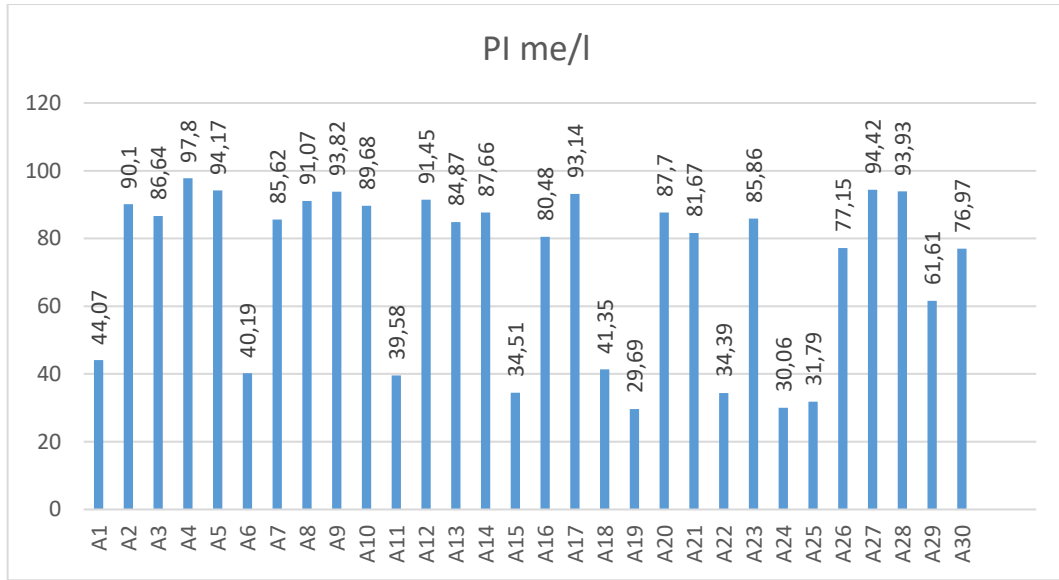


Şekil 25. Su örneklerinin KI analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 24’de ki verilere göre, incelenen su örneklerinin yalnızca %1,33’ü KI indeksi açısından sulama suyu kalitesi bakımından "uygun" sınıfa girmektedir. Buna karşılık, örneklerin büyük bir çoğunluğu olan %98,67’si ise sulama için "uygun olmayan" seviyelerde bulunmuştur.

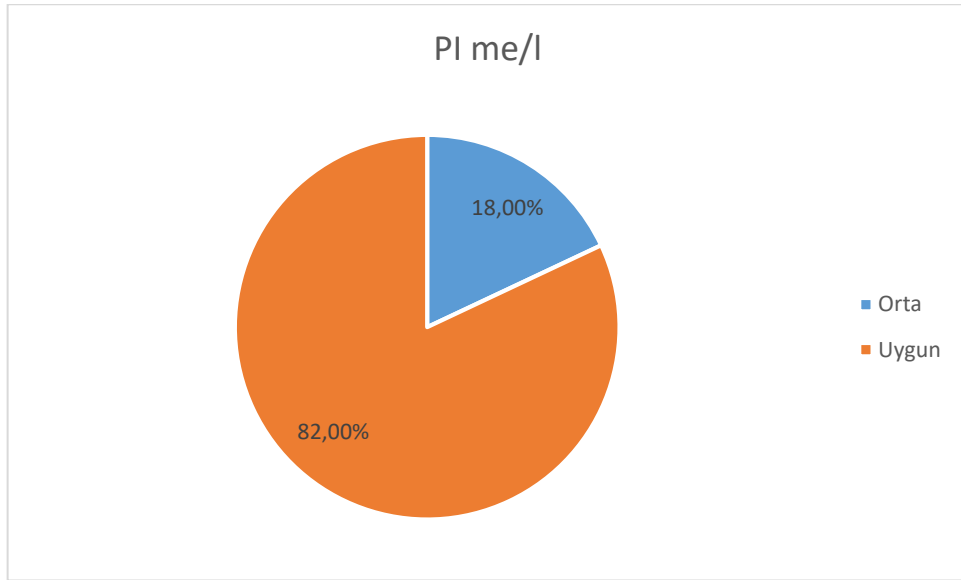
Su örneklerinin PI analizi

Su örneklerinin PI indeksi, sulama suyundaki kalsiyum (Ca^{+2}), sodyum (Na^{+}) ve bikarbonat (HCO_3^{-2}) iyonlarının konsantrasyonlarına dayanarak, sulama suyunun toprak geçirgenliği üzerindeki olası etkilerini değerlendirmek için kullanılan önemli bir parametredir. Bu kapsamda, çalışmada analiz edilen sulama suyu örneklerinin iyonik bileşenleri laboratuvar ortamında belirlenmiş ve PI indeksi hesaplanmıştır.



Şekil 26. Su örneklerinin PI analiz sonuçları

Tablo 19’deki verilere göre su örneklerinden A1, A6, A11, A15, A18, A19, A22, A24, A25, A29) numaralı numunelerin "orta" geriye kalan (A2, A3, A4, A5, A7, A8, A9, A10, A12, A13, A14, A16, A17, A20, A21, A23, A26, A27, A28, A30) numaralı numunelerin ise "uygun olduğu" tespit edilmiştir.

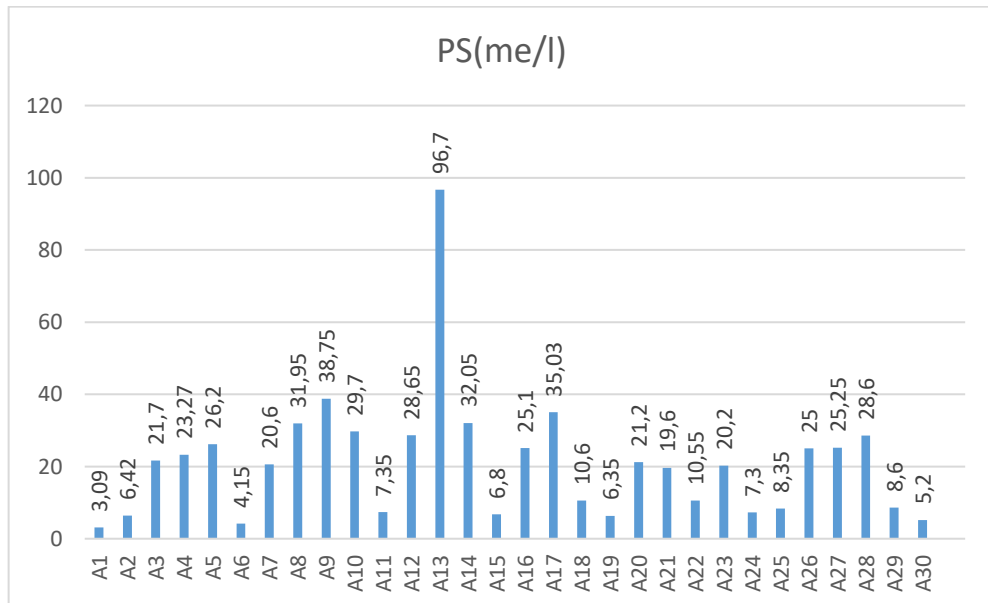


Şekil 27. Su örneklerinin PI analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 26’de ki verilere göre, incelenen su örneklerinin yalnızca %18’zi PI indeksi sulama suyu kalitesi bakımından "orta sınıfa" girmektedir. Buna karşılık, örneklerin büyük bir çoğunluğu olan %82,00’ı ise sulama için "uygun" olan seviyelerde bulunmuştur.

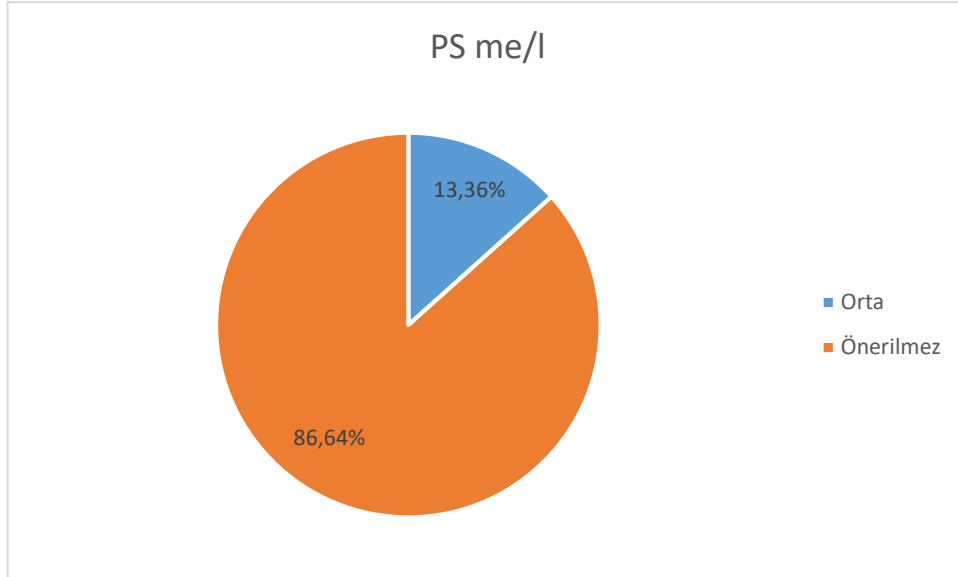
Su örneklerinin PS analizi

Su örneklerinin PS analizi ölçümü, Potasyum–Sodyum (PS) analizi, sulama suyunda yer alan potasyum (K^+) ile sodyum (Na^+) iyonlarının miktarlarını karşılaştırarak, bu iki elementin toprak ve bitki gelişimi üzerindeki olası etkilerini ortaya koymayı amaçlayan bir değerlendirme yöntemidir. Bu çalışma kapsamında, incelenen sulama suyu örneklerinin potasyum ve sodyum iyon içerikleri laboratuvar koşullarında belirlenmiş ve elde edilen değerler kullanılarak PS oranı hesaplanmıştır.



Şekil 28. Su örneklerinin PS analiz sonuçları

Tablo 19'daki verilere göre su örneklerinden (A1, A2, A6, A11, A15, A18, A19, A22, A24, A25, A29, A30) numaralı numuneler orta, geriye kalan (A3, A4, A5, A7, A8, A9, A10, A12, A13, A14, A16, A17, A20, A21, A23, A26, A27, A28) numuneler ise önerilmeyen sınıfına girmektedir.

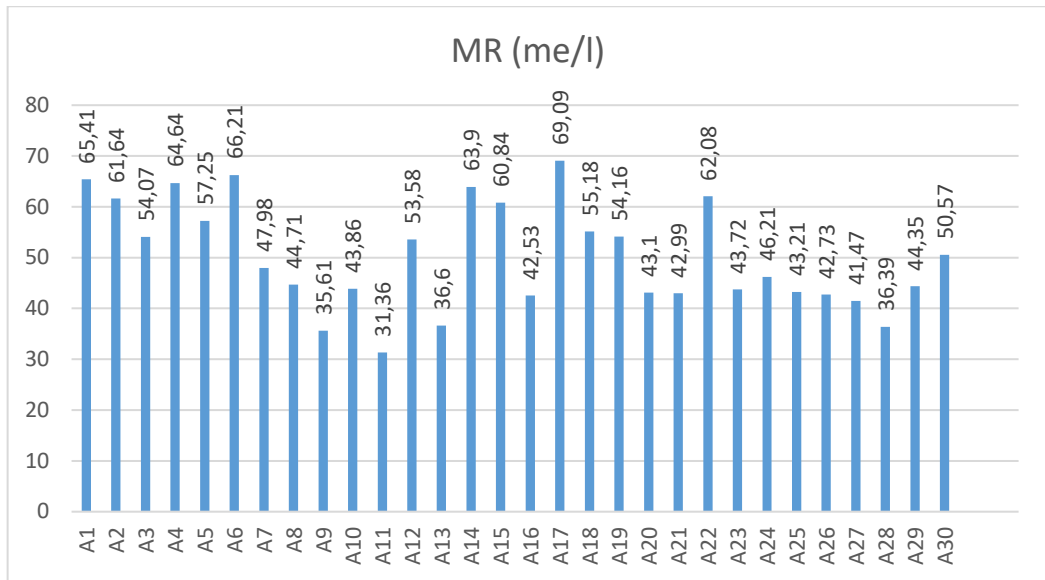


Şekil 29. Su örneklerinin PS analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 29'e analiz edilen sulama suyu örneklerinin PS (Kalıcı Sodyum) değeri bakımından %13,36'sının "orta düzey" sınıfında yer aldığı, geri kalan %86,64'ünün ise tarımsal sulama açısından "kullanımı önerilmeyen" sınıfta değerlendirildiği belirlenmiştir.

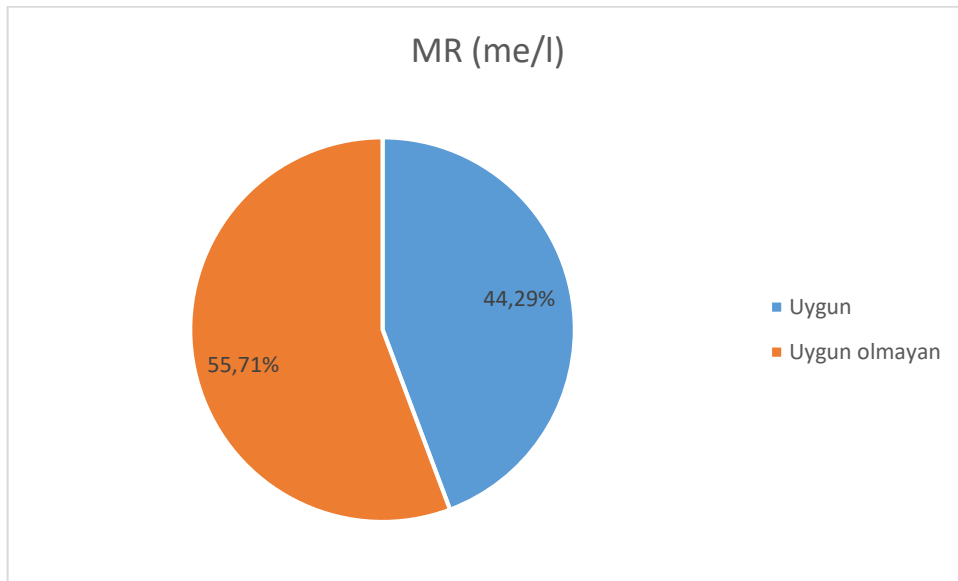
Su örneklerinin MR analizi

Su örneklerinin MR analizi ölçümü, Magnezyum Oranı (MR) analizi, sulama suyunda bulunan magnezyum (Mg^{2+}) ve kalsiyum (Ca^{2+}) iyonlarının birbirine göre dağılımını belirleyerek, bu dengenin toprak yapısı ve bitki gelişimi üzerindeki olası etkilerini değerlendirmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Bu analiz kapsamında, sulama suyu numunelerindeki Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyon konsantrasyonları laboratuvar ortamında belirlenmiş, elde edilen veriler yardımıyla MR değeri hesaplanmıştır.



Şekil 30. Su örneklerinin MR analiz sonuçları

Tablo 19'daki verilere göre su örneklerinden (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A12, A14, A15, A17, A18, A19, A22, A30) numaralı "uygun olmayan" geriye kalan (A7, A8, A9, A10, A11, A13, A16, A20, A21, A23, A24, A25, A26, A27, A28, A29) numuneler ise "uygun " sınıfına girmektedir.



Şekil 31. Su örneklerinin MR analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

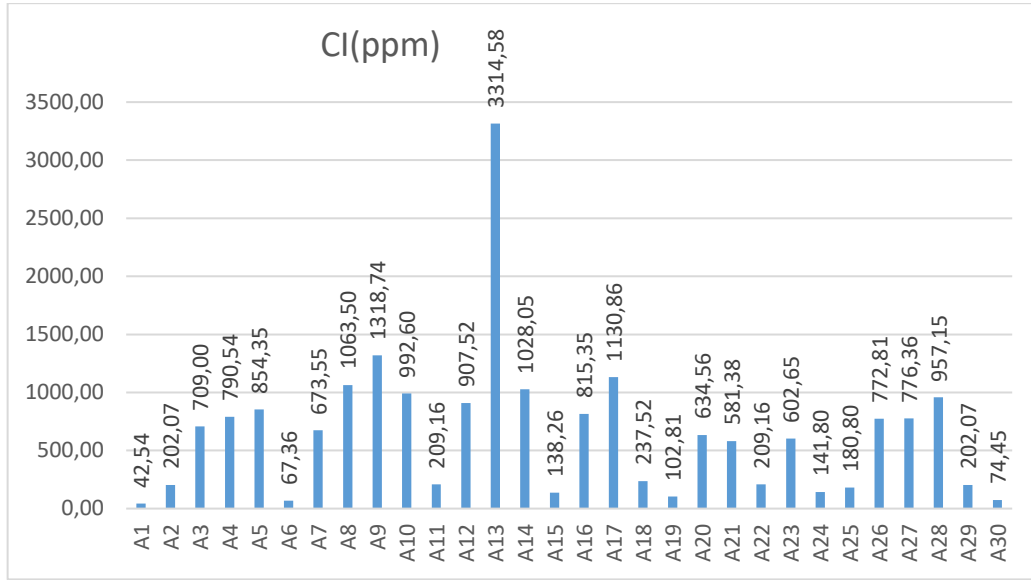
Şekil 31'da analiz edilen sulama suyu örneklerinin MR değeri bakımından %44,29'zu "uygun" sınıfında yer aldığı, geri kalan %55,71'nin ise tarımsal sulama açısından "uygun olmayan" sınıfta değerlendirildiği belirlenmiştir.

Tablo 20. Su Örneklerinin Tarımsal Kalite Parametreleri (Cl, %Na ve SO₄⁻²)

Numune	Cl (ppm)	Değerlendirme	Cl (Me/l)	Değerlendirme	SO ₄ ⁻² (me/l)	Değerlendirme	%Na	Değerlendirme
A1	76,8	Hassas mahsuller üzerinde zararlı etkileri olabilir.	1,2	İyi	0,08	Mükemmel	11,87	Mükemmel
A2	364,8	Sulamada kullanıma uygun değildir.	5,7	İzin verilebilir	0,03	Mükemmel	72,74	Şüpheli
A3	1280	Sulamada kullanıma uygun değildir.	20	Şüpheli	0,07	Mükemmel	73,68	Şüpheli
A4	1427,2	Sulamada kullanıma uygun değildir.	22,3	Şüpheli	0,04	Mükemmel	93,75	Uygun olmayan
A5	1542,4	Sulamada kullanıma uygun değildir.	24,1	Şüpheli	0,09	Mükemmel	89,71	Uygun olmayan
A6	121,6	Hassas mahsuller üzerinde zararlı etkileri olabilir.	1,9	İyi	0,09	Mükemmel	4,82	Mükemmel
A7	1216	Hassas mahsuller üzerinde zararlı etkileri olabilir.	19	Şüpheli	0,07	Mükemmel	68,98	Şüpheli
A8	1920	Sulamada kullanıma uygun değildir.	30	Şüpheli	0,08	Mükemmel	87,19	Uygun olmayan
A9	2380,8	Sulamada kullanıma uygun değildir.	37,2	Şüpheli	0,06	Mükemmel	90,02	Uygun olmayan
A10	1792	Sulamada kullanıma uygun değildir.	28	Şüpheli	0,07	Mükemmel	85,14	Uygun olmayan
A11	377,6	Sulamada kullanıma uygun değildir.	5,9	İzin verilebilir	0,06	Mükemmel	11,39	Mükemmel
A12	1638,4	Sulamada kullanıma uygun değildir.	25,6	Şüpheli	0,13	Mükemmel	86,88	Uygun olmayan
A13	5984	Sulamada kullanıma uygun değildir.	93,5	Şüpheli	0,13	Mükemmel	81,28	Uygun olmayan
A14	1856	Sulamada kullanıma uygun değildir.	29	Şüpheli	0,13	Mükemmel	84,28	Uygun olmayan
A15	249,6	Hassas ve orta hassas mahsullere zarar verir.	3,9	İyi	0,12	Mükemmel	14,95	Mükemmel
A16	1472	Sulamada kullanıma uygun değildir.	23	Şüpheli	0,09	Mükemmel	73,82	Şüpheli
A17	2041,6	Sulamada kullanıma uygun değildir.	31,9	Şüpheli	0,13	Mükemmel	85,04	Uygun olmayan
A18	428,8	Sulamada kullanıma uygun değildir.	6,7	İzin verilebilir	0,16	Mükemmel	15,88	Mükemmel
A19	185,6	Hassas ve orta hassas mahsullere zarar verir.	2,9	İyi	0,14	Mükemmel	11,05	Mükemmel
A20	1145,6	Sulamada kullanıma uygun değildir.	17,9	Şüpheli	0,14	Mükemmel	83,8	Uygun olmayan
A21	1049,6	Sulamada kullanıma uygun değildir.	16,4	Şüpheli	0,13	Mükemmel	77,62	Şüpheli
A22	377,6	Sulamada kullanıma uygun değildir.	5,9	İzin verilebilir	0,19	Mükemmel	13,09	Mükemmel
A23	1088	Sulamada kullanıma uygun değildir.	17	Şüpheli	0,13	Mükemmel	81,9	Uygun olmayan
A24	256	Hassas ve orta hassas mahsullere zarar verir.	4	İyi	0,14	Mükemmel	14,2	Mükemmel
A25	326,4	Sulamada kullanıma uygun değildir.	5,1	İzin verilebilir	0,13	Mükemmel	12,41	Mükemmel
A26	1395,2	Sulamada kullanıma uygun değildir.	21,8	Şüpheli	0,13	Mükemmel	69,94	Şüpheli
A27	1401,6	Sulamada kullanıma uygun değildir.	21,9	Şüpheli	0,14	Mükemmel	89,57	Uygun olmayan
A28	1728	Sulamada kullanıma uygun değildir.	27	Şüpheli	0,07	Mükemmel	89,31	Uygun olmayan
A29	364,8	Sulamada kullanıma uygun değildir.	5,7	İzin verilebilir	0,12	Mükemmel	28,08	İyi
A30	134,4	Hassas mahsuller üzerinde zararlı etkileri olabilir.	2,1	İyi	0,13	Mükemmel	67,85	Şüpheli
Toplam	1187,41		18,55		0,11		56,0	

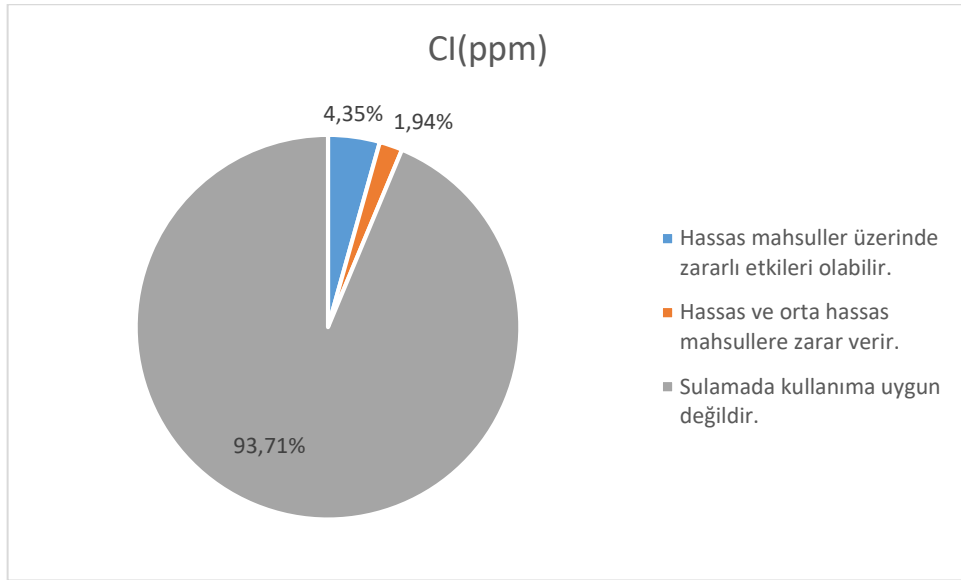
Su örneklerinin CI (ppm) analizi

Su örneklerinde gerçekleştirilen CL (klorür) analizi, sulama sularının tarımsal kullanım açısından potansiyel tuzluluk ve toksisite riskini belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Analiz sürecinde argentometrik titrasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, klorür iyonlarının gümüş nitrat (AgNO_3) çözeltisi ile çöktürülmesi ve reaksiyonun bitiş noktasının potansiyometrik ya da görsel olarak tespit edilmesi esasına dayanmaktadır.



Şekil 32. Su örneklerinin CI analiz sonuçları

Tablo 20'deki verilere göre su örneklerinden (A1, A6, A7, A30) numaralı 4 hassas mahsuller üzerinde zararlı etki oluşturma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. (A15, A19, A24) numaralı 3 numune ise hem hassas hem de orta hassas mahsullere zarar verebilme riski taşıdığı tespit edilmiştir (A2, A3, A4, A5, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A16, A17, A18, A20, A21, A22, A23, A25, A26, A27, A29) 23 adet numune ise sulama amacıyla kullanıma uygun olmadığı tespit edilmiştir.

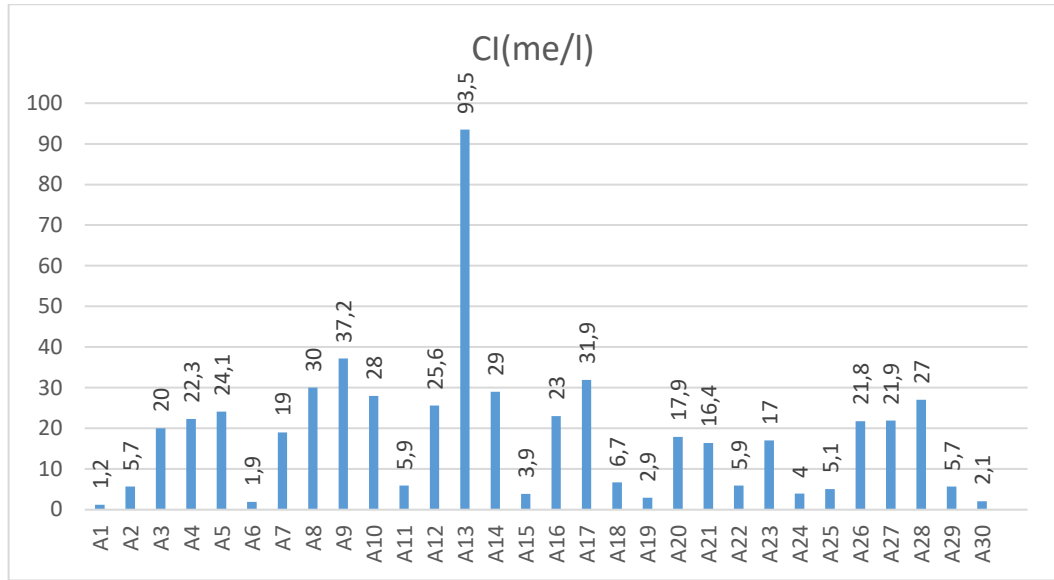


Şekil 33. Su örneklerinin CI (ppm) analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 33'e göre bakıldığında CI analiz değerlendirmelerine göre, incelenen su örneklerinin %4,35'inin "hassas bitki türleri üzerinde olumsuz etki " yaratma ihtimali olduğu belirlenmiştir. Örneklerin %1,94'ü, hem "hassas hem de orta derecede hassas bitkilere zarar verebilecek" özellik göstermektedir. Kalan %93,71'lik bölüm ise "sulama suyu olarak kullanım" açısından uygun bulunmamıştır.

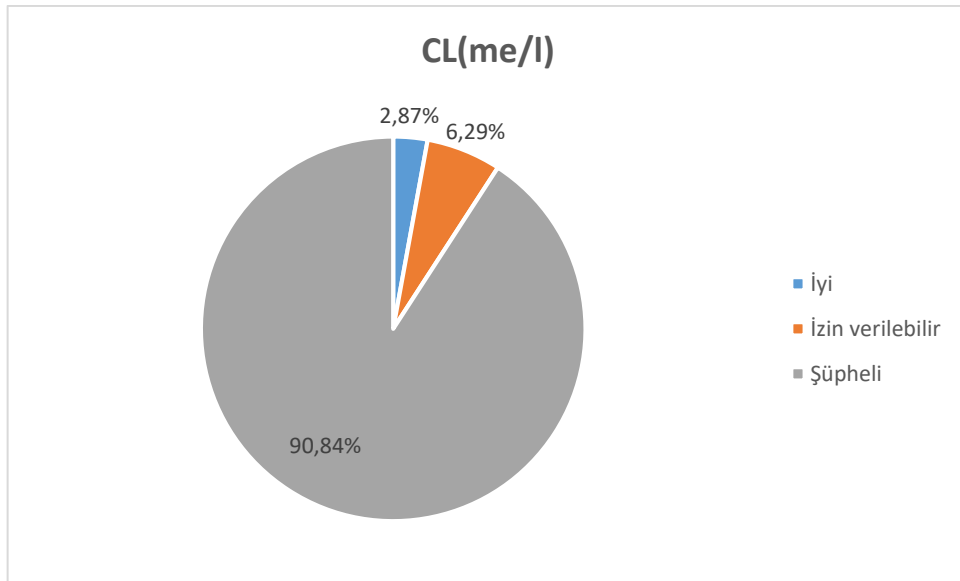
Su örneklerinin CI (me/l) analizi

Su örneklerinin CL(Me/L) analizi ölçümü, Su örneklerinde gerçekleştirilen Cl (klorür) analizi, sulama sularının tarımsal kullanım açısından potansiyel tuzluluk ve toksisite riskini belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Analiz sürecinde argentometrik titrasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, klorür iyonlarının gümüş nitrat (AgNO_3) çözeltisi ile çöktürölmesi ve reaksiyonun bitiş noktasının potansiyometrik ya da görsel olarak tespit edilmesi esasına dayanmaktadır.



Şekil 34. Su örneklerinin CI (me/l) analiz sonuçları

Tablo 20'deki verilere göre su örneklerinden (A1, A6, A15, A19, A24, A30) numaralı numuneler "iyi" sınıfında yer almaktadır. (A2, A11, A18, A22, A25, A29) numaralı numuneler "izin verilebilir" sınıfına girmektedir. Geriye kalan (A3, A4, A5, A7, A8, A9, A10, A12, A13, A14, A16, A17, A20, A21, A23, A26, A27, A28) numaralı numuneler ise "şüpheli" sınıfında değerlendirilmiştir.

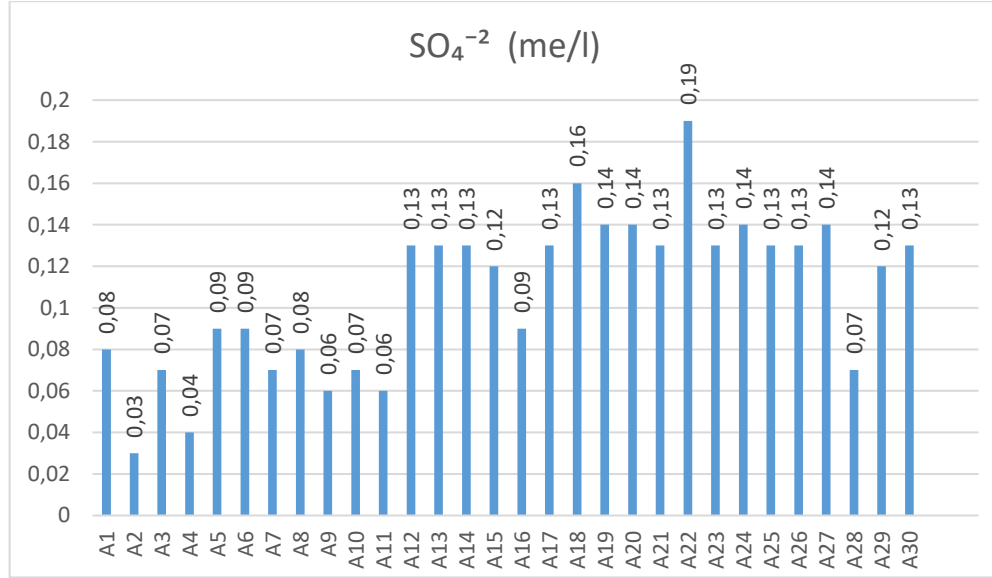


Şekil 35. Su örneklerinin CI (me/l) analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 35'deki verilere göre, su örneklerinin (CI) konsantrasyonu bakımından %2,87'si "iyi" kategorisinde, %6,29'u "izin verilebilir" seviyede ve %90,84'ü ise "şüpheli" sınıflandırmasına girmektedir.

Su örneklerinin SO_4^{-2} (me/l) analizi

Su örneklerinin SO_4^{-2} (me/l) analizi ölçümü, sülfat iyonu (SO_4^{-2}), sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir parametre olup, suyun tuzluluk düzeyi ve bitkiler üzerindeki olası toksik etkilerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu çalışmada, sulama suyuna ait örneklerde sülfat iyonu konsantrasyonları laboratuvar ortamında titrasyon veya turbidimetrik yöntem gibi standart analiz teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.

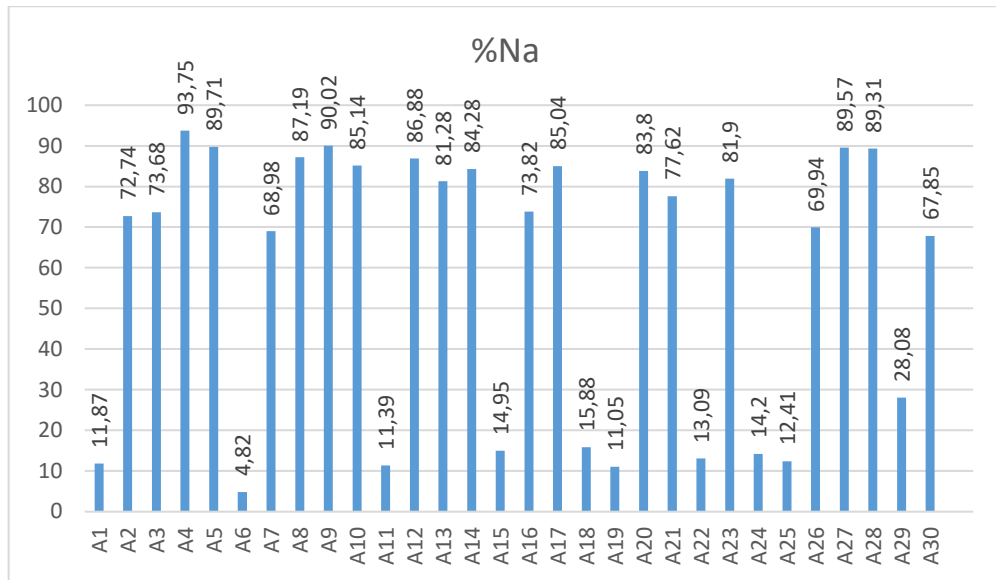


Şekil 36. Su örneklerinin SO_4^{-2} (me/l) analiz sonuçları

Tablo 20'daki verilere göre değerlendirilen su örneklerinin tümü sülfat içeriği bakımından sulama suyu kalite standartlarını karşılayarak “mükemmel” sınıfına girmiştir. Bu durum, ilgili su kaynaklarının sülfat açısından tarımsal sulamada güvenle kullanılabileceğine işaret etmektedir.

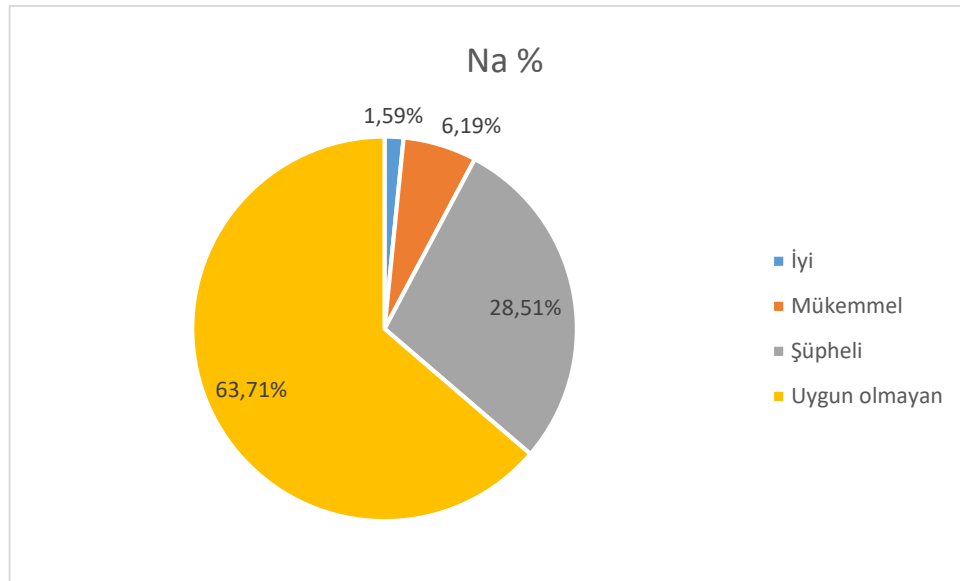
Su örneklerinin % Na analizi

Su örneklerinin %Na analizi ölçümü, Sodyum yüzdesi (%Na), sulama suyundaki sodyum (Na^+) iyonunun, kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}) ve sodyum iyonlarının toplamına oranını ifade eden kritik bir parametredir. Bu çalışmada, sulama suyu numunelerindeki Ca^{2+} , Mg^{2+} ve Na^+ iyon konsantrasyonları laboratuvar ortamında ölçülmüş ve elde edilen veriler kullanılarak %Na değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 37. Su örneklerinin %Na analiz sonuçları

Tablo 20'daki verilere göre su örneklerinden (A1, A6, A11, A15, A18, A19, A22, A24, A25) numaralı numuneler “mükemmel” sınıfına girmektedir. (A29) numaralı numune “iyi” sınıfında değerlendirilmiştir. (A2, A3, A7, A16, A21, A26, A30) numaralı numuneler “şüpheli” olarak sınıflandırılmıştır. Geriye kalan (A4, A5, A8, A9, A10, A12, A13, A14, A17, A20, A23, A27, A28) numaralı numuneler ise “uygun olmayan” kategoriye dahil edilmiştir.



Şekil 38. Su örneklerinin %Na analizi sonuçlarının sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 38'in gösterdiği verilere göre, su örneklerinin %Na değerleri bakımından %1,59'u “iyi” sınıfına, %6,19'u “mükemmel” sınıfına, %28,51'i “şüpheli” grubuna ve %63,71'i ise uygun olmayan sınıfına dahil edilmiştir.

Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarının toprak ve su kirliliği açısından değerlendirilmesi

Su analiz sonuçları Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8 de verilen sınır değerler ile karşılaştırılmış (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) ve çalışmaya konu edilen bölge PH, (EC), CL (me/lt), K (me/lt), Na (me/lt), SO_4^{2-} (me/lt), CO_3 (me/lt), HCO_3 (me/lt), Al (ppb), Cr(ppb), Mn (ppb), Fe (ppb), Co (ppb), Ni (ppb), Cu (ppb), Zn (ppb) ve KDK sınıfları belirlenmiştir.

Su örneklerinin kimyasal analizlerinden pH ISO (10523:2008) yöntem, EC (SM 2510) yöntemi, kireç völümetrik yöntem, Klor $AgNO_3$ ve mohr yöntemi, Sodyum (TS 4530) yöntemi, Potasyum (TS 4530) yöntemi, Sülfat TS 4164 ISO 9297 yöntemi, Karbonat (Tüzüner, 1990) yöntemi ve Bikarbonat Karbonat (Tüzüner, 1990) yöntemiyle belirlenmiş olup, sonuçlar Tablo 9’de verilmiştir. Tablo 9’deki veriler tablo 6-7-8 de yer alan referans değerleriyle kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

Tablo 21. Su Örneklerinin Kimyasal Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Numune No	pH	Yorum	EC dS m ⁻¹	Yorum	CL (Me/Lt)	Yorum	Na (Me/Lt)	Yorum	K (Me/Lt)	Yorum	SO4 (mg/L)	Yorum	CO3 me/t	Yorum	HCO ₃	Yorum	mg	Yorum
A1	7.48	Nötr	0.52	II sınıf su	1.2	II sınıf su	0.9	II sınıf su	0.32	0	3.78	IV sınıf su	0.79	I sınıf su	5.29	II sınıf su	50,62	IV sınıf Su
A2	7.64	Hafif Alkalin	0.59	II sınıf su	5.7	IV sınıf su	11.1	IV sınıf su	0.51	0	1.43	III sınıf su	0.65	I sınıf su	4.82	I sınıf su	30	IV sınıf Su
A3	7.82	Hafif Alkalin	4.28	III sınıf su	20	IV sınıf su	14	IV sınıf su	0.21	0	3.41	IV sınıf su	0.01	I sınıf su	5.2	II sınıf su	31,36	IV sınıf Su
A4	7.66	Hafif Alkalin	0.51	II sınıf su	22.3	IV sınıf su	64	IV sınıf su	0.3	0	1.95	III sınıf su	0.01	I sınıf su	6.13	II sınıf su	31,07	IV sınıf Su
A5	7.89	Hafif Alkalin	4.57	III sınıf su	24.1	IV sınıf su	74	IV sınıf su	0.77	0	4.2	IV sınıf su	0.45	I sınıf su	8.8	III sınıf su	53,69	IV sınıf Su
A6	7.71	Hafif Alkalin	0.54	II sınıf su	1.9	II sınıf su	0.42	I sınıf su	0.31	0	4.5	IV sınıf su	0.38	I sınıf su	8.82	III sınıf su	64,3	IV sınıf Su
A7	7.5	Hafif Alkalin	3.81	III sınıf su	19	IV sınıf su	13.1	IV sınıf su	0.7	0	3.21	IV sınıf su	0.56	I sınıf su	6.6	II sınıf su	30,3	IV sınıf Su
A8	7.55	Hafif Alkalin	4.62	III sınıf su	30	IV sınıf su	77.2	IV sınıf su	0.85	0	3.9	IV sınıf su	0.71	I sınıf su	7.12	II sınıf su	57,1	IV sınıf Su
A9	7.99	Hafif Alkalin	5.5	II sınıf su	37.2	IV sınıf su	74.1	IV sınıf su	0.91	0	3.1	IV sınıf su	0.66	I sınıf su	5.18	II sınıf su	31,59	IV sınıf Su
A10	7.64	Hafif Alkalin	4.7	III sınıf su	28	IV sınıf su	65	IV sınıf su	0.83	0	3.41	IV sınıf su	2.22	I sınıf su	7.4	II sınıf su	56,03	IV sınıf Su
A11	7.94	Hafif Alkalin	0.44	I sınıf su	5.9	IV sınıf su	1.1	II sınıf su	0.11	0	2.9	IV sınıf su	1.28	I sınıf su	7.2	II sınıf su	32,25	IV sınıf Su
A12	7.8	Hafif Alkalin	4.52	III sınıf su	25.6	IV sınıf su	70.1	IV sınıf su	1.1	0	6.1	IV sınıf su	2.05	I sınıf su	7.22	II sınıf su	61,8	IV sınıf Su
A13	7.71	Hafif Alkalin	17.61	III sınıf su	93.5	IV sınıf su	65.1	IV sınıf su	1.9	0	6.4	IV sınıf su	0.23	I sınıf su	1.6	I sınıf su	58,18	IV sınıf Su
A14	8.14	Hafif Alkalin	5.71	III sınıf su	29	IV sınıf su	60	IV sınıf su	1.22	0	6.1	IV sınıf su	0.28	I sınıf su	1.81	I sınıf su	77,45	IV sınıf Su
A15	8	Hafif Alkalin	0.49	I sınıf su	3.9	III sınıf su	1.9	II sınıf su	0.34	0	5.8	IV sınıf su	0.01	I sınıf su	5.6	II sınıf su	77,45	IV sınıf Su
A16	7.99	Hafif Alkalin	4.51	III sınıf su	23	IV sınıf su	34	IV sınıf su	0.75	0	4.2	IV sınıf su	0.08	I sınıf su	6.12	II sınıf su	58,54	IV sınıf Su
A17	7.74	Hafif Alkalin	4.92	III sınıf su	31.9	IV sınıf su	53.2	IV sınıf su	1.92	0	6.27	IV sınıf su	0.01	I sınıf su	10.8	IV sınıf su	62,48	IV sınıf Su
A18	7.78	Hafif Alkalin	0.62	II sınıf su	6.7	IV sınıf su	1.93	II sınıf su	0.18	0	7.8	IV sınıf su	0.01	I sınıf su	9.13	III sınıf su	67,32	IV sınıf Su

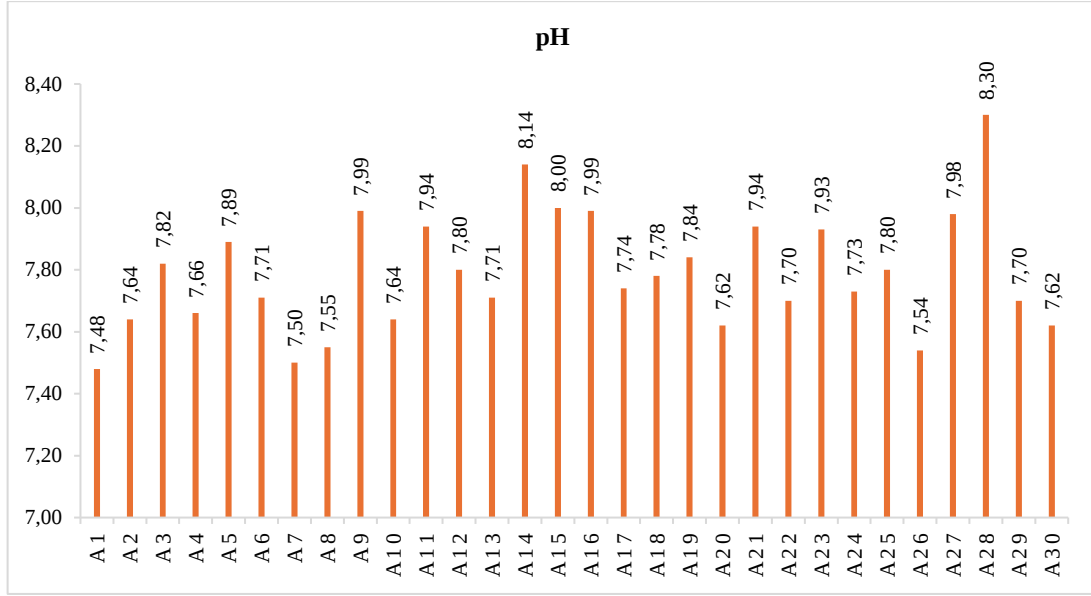
Tablo 21. (devamı)

A19	7.84	Hafif Alkalin	0.51	II sınıf su	2.9	II sınıf su	1.21	II sınıf su	0.14	0	6.9	IV sınıf su	0.01	I sınıf su	4	I sınıf su	63,22	IV sınıf Su
A20	7.62	Hafif Alkalin	4.7	III sınıf su	17.9	IV sınıf su	57.3	IV sınıf su	0.7	0	6.6	IV sınıf su	0.01	I sınıf su	4.22	I sınıf su	54,3	IV sınıf Su
A21	7.94	Hafif Alkalin	3.71	III sınıf su	16.4	IV sınıf su	47.1	IV sınıf su	0.6	0	6.4	IV sınıf su	0.01	I sınıf su	3.91	I sınıf su	67,87	IV sınıf Su
A22	7.7	Hafif Alkalin	3.61	III sınıf su	5.9	IV sınıf su	1.3	II sınıf su	0.19	0	9.3	IV sınıf su	0.02	I sınıf su	4.23	I sınıf su	63,71	IV sınıf Su
A23	7.93	Hafif Alkalin	3.44	III sınıf su	17	II sınıf su	59	IV sınıf su	0.78	0	6.4	IV sınıf su	0.02	I sınıf su	4.8	I sınıf su	65,19	IV sınıf Su
A24	7.73	Hafif Alkalin	0.56	II sınıf su	4	III sınıf su	1.9	II sınıf su	0.14	0	6.6	IV sınıf su	0.14	I sınıf su	4.33	I sınıf su	63,73	IV sınıf Su
A25	7.8	Hafif Alkalin	5.18	III sınıf su	5.1	IV sınıf su	1.5	II sınıf su	0.19	0	6.5	IV sınıf su	0.03	I sınıf su	5.21	II sınıf su	54,55	IV sınıf Su
A26	7.54	Hafif Alkalin	3.22	III sınıf su	21.8	IV sınıf su	34	IV sınıf su	1.34	0	6.4	IV sınıf su	0.04	I sınıf su	6.13	II sınıf su	68,97	IV sınıf Su
A27	7.98	Hafif Alkalin	4.28	III sınıf su	21.9	IV sınıf su	58	IV sınıf su	0.77	0	6.7	IV sınıf su	0.01	I sınıf su	5.81	II sınıf su	30,21	IV sınıf Su
A28	8.3	Hafif Alkalin	0.69	II sınıf su	27	IV sınıf su	64	IV sınıf su	0.9	0	3.2	IV sınıf su	0.01	I sınıf su	6.14	II sınıf su	29,85	IV sınıf Su
A29	7.7	Hafif Alkalin	0.55	II sınıf su	5.7	IV sınıf su	2.3	II sınıf su	0.14	0	5.8	IV sınıf su	0.02	I sınıf su	7.11	II sınıf su	30,97	IV sınıf Su
A30	7.62	Hafif Alkalin	0.72	II sınıf su	2.1	II sınıf su	18.7	IV sınıf su	0.16	0	6.2	IV sınıf su	0.04	I sınıf su	5.75	II sınıf su	53,49	IV sınıf Su
Ortalama	7.79		3.32		18.55		34.25		0.64		5.18		0.36		5.88		30	

Not 1: I sınıf Su (Yüksek kaliteli su), II sınıf su (Az kirlenmiş su), III sınıf su (Kirlenmiş su) ve IV sınıf su (çok kirlenmiş su)

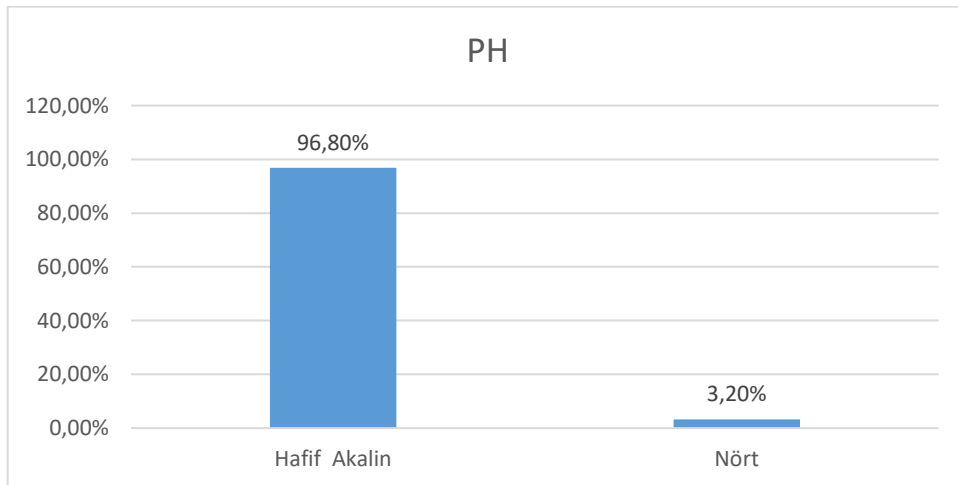
Su örneklerinin reaksiyonu pH analizi

Su örneklerinin pH analizi ölçümü, ISO 10523:2008, yağmur, içme ve mineral suları, yüzme suları, yüzey ve yeraltı suları ile belediye ve endüstriyel atık suları ve sıvı çamurda, pH 2 ile pH 12 aralığında, iyonik şiddeti $I = 0,3 \text{ mol/kg}$ 'ın altında (25°C 'de iletkenlik $< 2000 \text{ mS/m}$) çözücünde ve 0°C ile 50°C sıcaklık aralığında pH değerinin belirlenmesine yönelik bir yöntemi kapsar.



Şekil 39. Su örneklerinin pH analiz sonuçları

Tablo 21'deki verilere göre su örneklerinden A1 numaralı numune nötr geriye kalan (A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A19, A20, A21, A22, A23, A24, A26, A27, A28, A29, A30) 29 adet numune ise hafif alkalin sınıfına girmektedir.

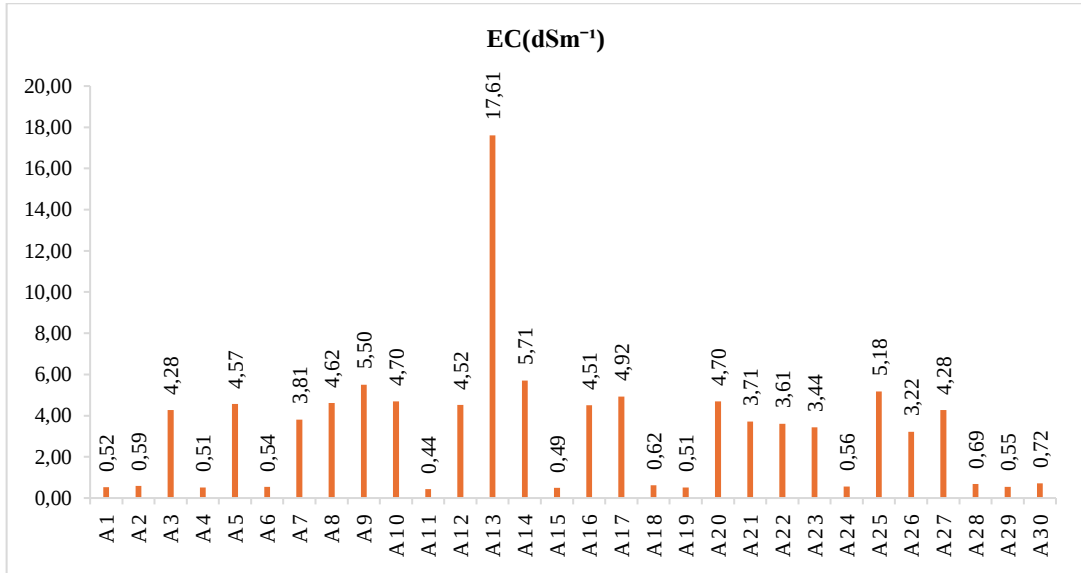


Şekil 40. Su örneklerinin PH % dağılım grafiği

Şekil 40'deki verilere göre su örneklerinin tamamına yakını PH değerlerine göre hafif alkalın su kategorisinde yer almaktadır.

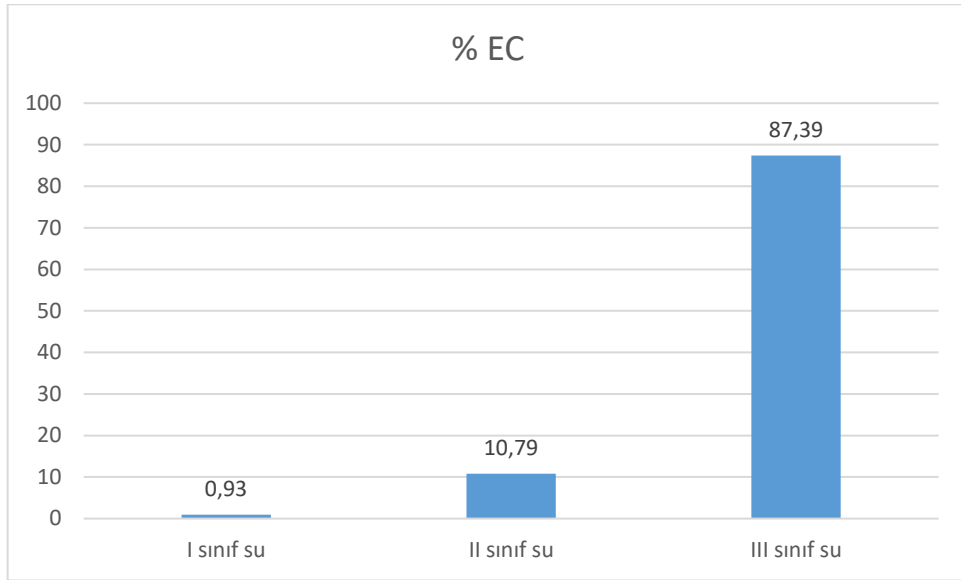
Su örneklerinin elektrik iletkenlik analizi (dS m^{-1})

Su örneklerinin EC analizi Metallerin ölçümü (SM 2510) metoduna göre yapılmıştır. Sularda iletkenlik analizi metodunun temel prensibi, suda çözünmüş iyonların elektrik akımını taşıma yeteneğinin ölçülmesine dayanır. Su analizi kapsamında yapılan analizlerden biri de iletkenlik analizidir. Elektriksel iletkenlik (EC), suyun bir çözeltide belli bir mesafe boyunca elektrik akımını iletme kabiliyetidir. Elektriksel iletkenlik genellikle mesafe başına Siemens (S) tarafından ölçülür. Suyun elektriği iletme gücü, çözünmüş katılarda ve karbonat bileşiklerde, klorürlerde ve sülfürler gibi inorganik maddelerde yer alan iyon konsantrasyonundan gelmektedir.



Şekil 41. Su örneklerinin EC (dS m^{-1}) analiz sonuçları

Tablo 21'deki verilere göre su örneklerinden 2 tanesi (A11, A15) "I sınıf su", 10'nu (A1, A2, A4, A6, A18, A19, A24, A28, A29, A30) "II sınıf su" ve 18'si (A3, A5, A7, A8, A9, A10, A12, A13, A14, A16, A17, A20, A21, A22, A23, A25, A26, A27) "IV sınıf su" kalitesine sahiptir.

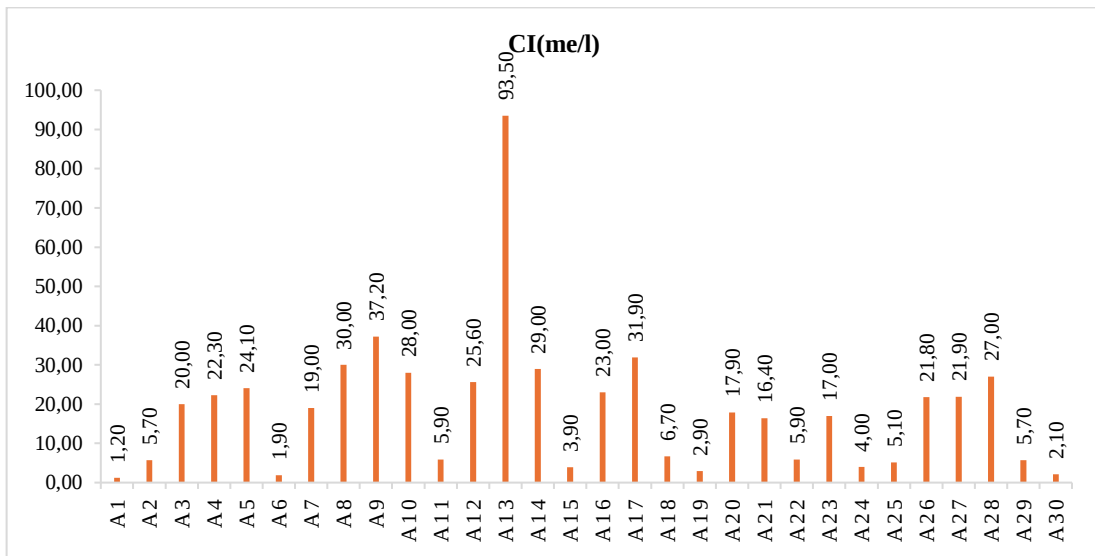


Şekil 42. Su örneklerinin EC analiz sonuçlarının % dağılım grafiği

Şekil 23'daki verilere göre su örneklerinin elektriki iletkenlikleri (EC) su sınıflarının oransal dağılımı yaklaşık %1 I sınıf, %11 II sınıf su ve %87'i III sınıf kategorisinde yer almaktadır.

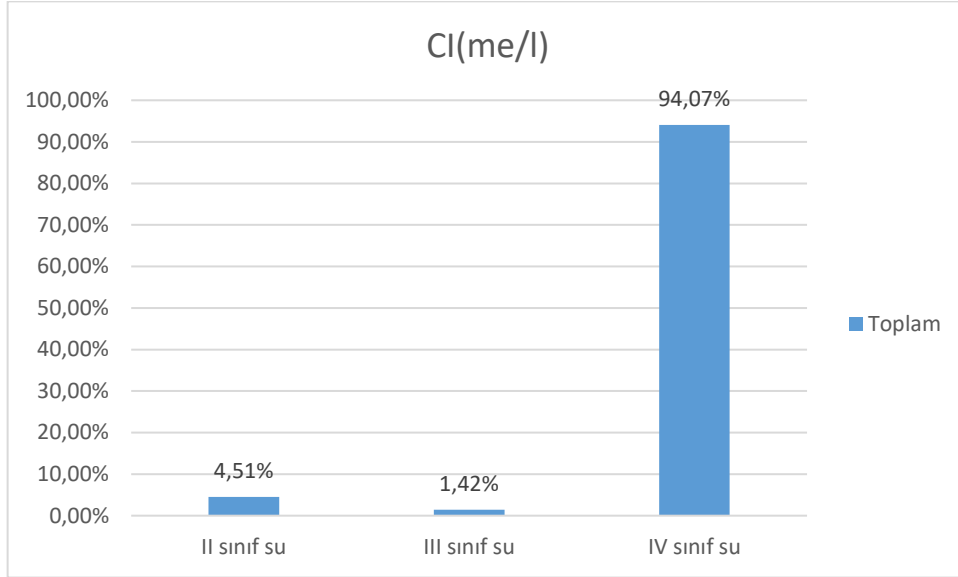
Su örneklerinin klor analizi (CI)

Su örneklerinin klor analizi Metallerin ölçümü, TS 4164 ISO 9297 Su kalitesi-Klorür tayini-Kromat indikatörü yanında gümüş nitrat ile titrasyon (mohr yöntemi) ile yapılmaktadır. Bu standardın temel prensibi, sularda çözünmüş klorür iyonlarının tayini için uygulanan bir titrasyon yöntemini tanımlamaktır. Bu yöntem, genellikle gümüş nitrat (AgNO_3) ile titrasyon ve kromat indikatörü (Mohr metodu) prensibine dayanır.



Şekil 43. Su örneklerinin CI (me/l) analiz sonuçları

Tablo 22'daki verilere göre su örneklerinden 4 tanesi (A1, A6, A19, A30) "II sınıf su" ve 2'si (A15, A24) "III sınıf su" kalitesine sahiptir. Ayrıca geriye kalan (A2, A3, A4, A5, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A16, A17, A18, A20, A21, A22, A23, A25, A26, A27, A28) nolu numuneler ise "IV sınıf su" kalitesine sahip olup çok kirli su olarak değerlendirilmektedir.

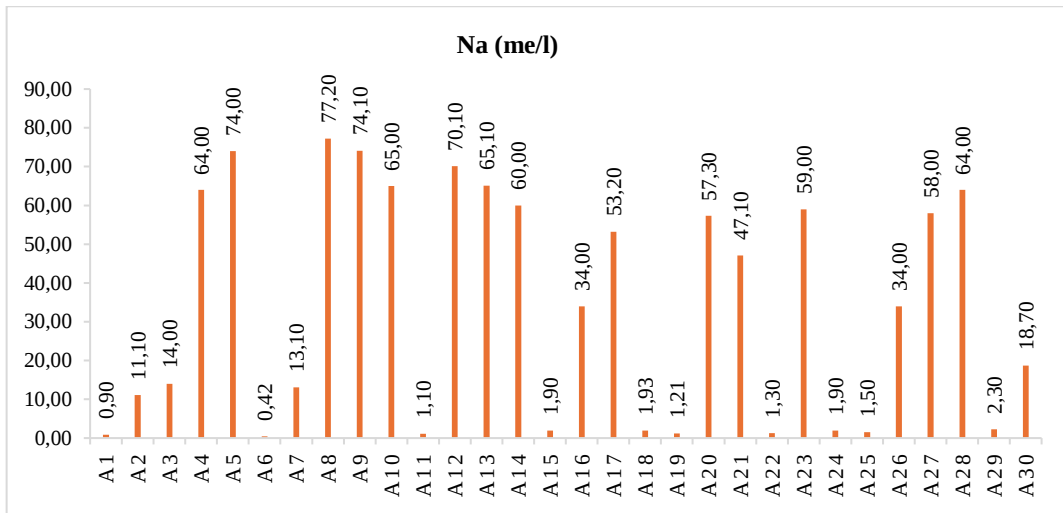


Şekil 44. Su örneklerinin klor (Cl) analizi sonuçlarına göre sınıfsal dağılım grafiği

Şekil 44'deki verilere bakıldığında su örneklerinin klor bakımından yaklaşık %4,51'ri II sınıf, %1,42'si III sınıf ve %94,07'si IV sınıf su grubundadır.

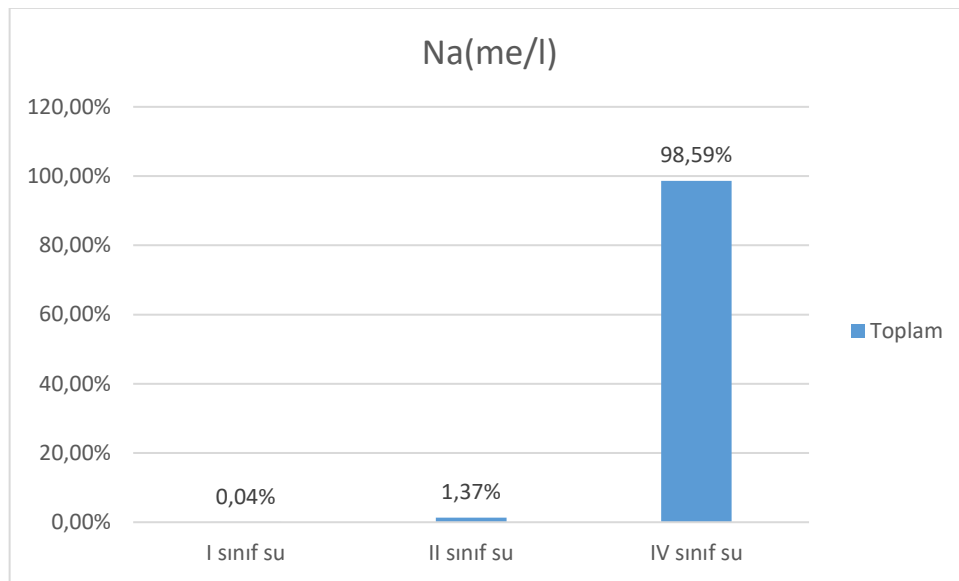
Su örneklerinin sodyum analizi (Na)

Su örneklerinin NA analizi Metallerin ölçümü, TS 4530, Türk Standardı uygun bir şekilde yapılmış olup, başlığı "Suyun analiz metotları- Lityum, sodyum, potasyum tayini- Alev fotometrik, atomik absorpsiyon spektrofotometrik ve kolorimetrik analiz metotları"dır. ¹ Bu standardın prensibi, sularda bulunan lityum, sodyum ve potasyum elementlerinin konsantrasyonlarını belirlemek için kullanılan farklı spektroskopik ve kolorimetrik yöntemlere dayanır.



Şekil 45. Su örneklerinin Na (me/l) analiz sonuçları

Tablo 21’deki verilere göre su örneklerinden 1 tanesi (A6) “I sınıf su” kalitesi, 9’zu (A1, A11, A15, A18, A19, A22, A24, A25, A29) “II sınıf su” kalitesine sahiptir. Bunun yanında (A2, A3, A4, A5, A7, A8, A9, A10, A12, A13, A14, A16, A17, A20, A21, A22, A23, A26, A27, A28, A30) nolu numuneler ise “IV sınıf su” kalitesine sahip olup çok kirli su olarak değerlendirilmektedir.



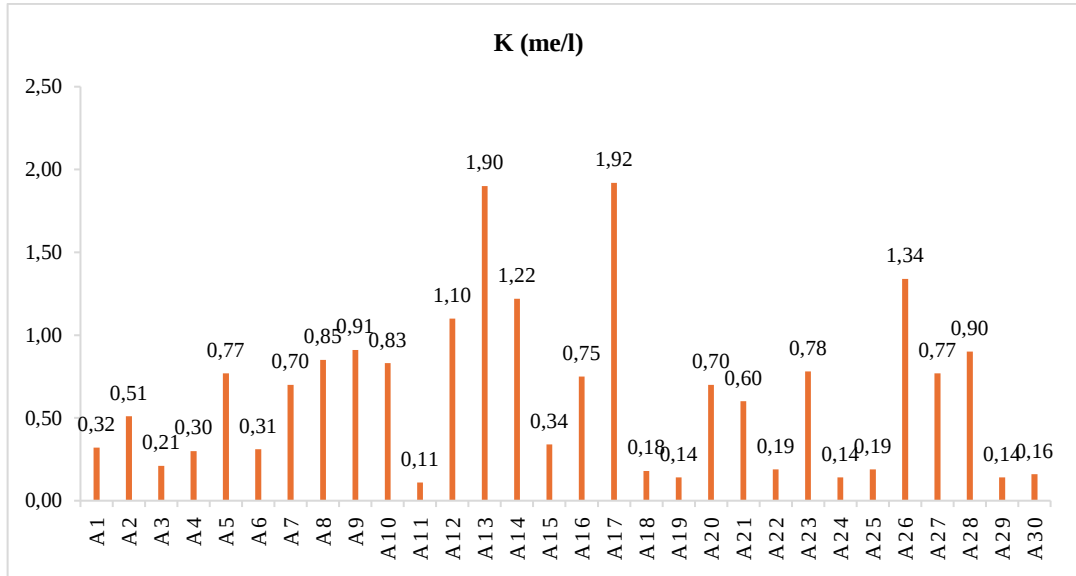
Şekil 46. Su örneklerinin sodyum analizi sonuçlarına göre sınıfsal dağılım grafiği

Şekil 46’deki verilere bakıldığında su örneklerinin sodyum bakımından tamamına yakını IV sınıf su kalitesinde olup oldukça kirli olarak değerlendirilmektedir.

Su örneklerinin potasyum analizi (K)

Su örneklerinin K analizi Metallerin ölçümü, TS 4530, Türk Standardı uygun bir şekilde yapılmış olup, başlığı "Suyun analiz metotları- Lityum, sodyum, potasyum tayini- Alev fotometrik, atomik absorpsiyon spektrofotometrik ve kolorimetrik analiz metotları"dır. ¹ Bu

standardın prensibi, sularda bulunan lityum, sodyum ve potasyum elementlerinin konsantrasyonlarını belirlemek için kullanılan farklı spektroskopik ve kolorimetrik yöntemlere dayanır.

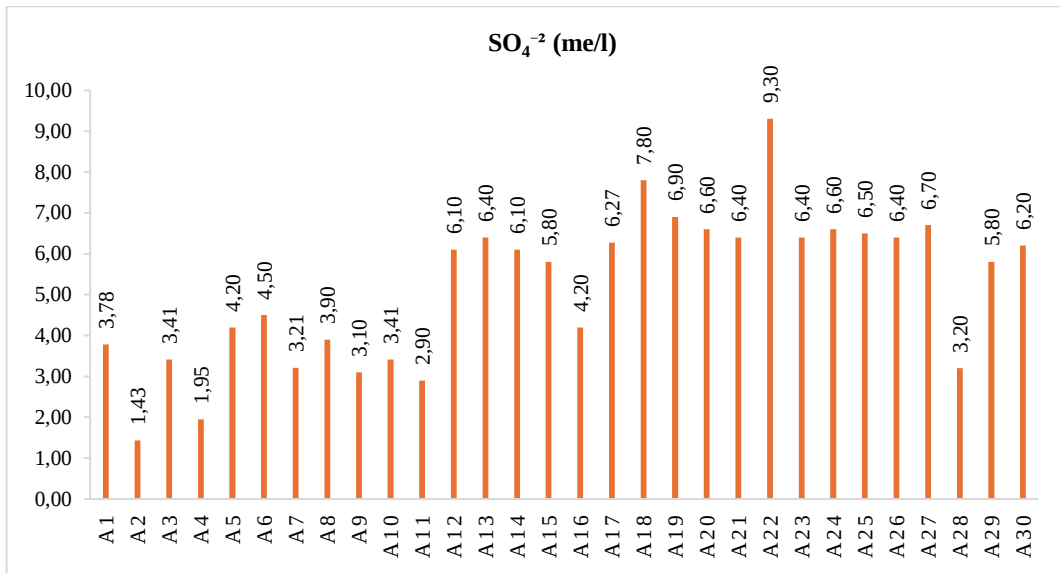


Şekil 47. Su örneklerinin K (me/l) analiz sonuçları

Sulama sularında potasyum ile ilgili belirgin sınır değerlere rastlanmamaktadır. Sulama sularındaki potasyum zenginliği potasyum eksikliği yaşayan topraklarda kullanımında gübre etkisi yapacağı için olumlu bir sonuçtur.

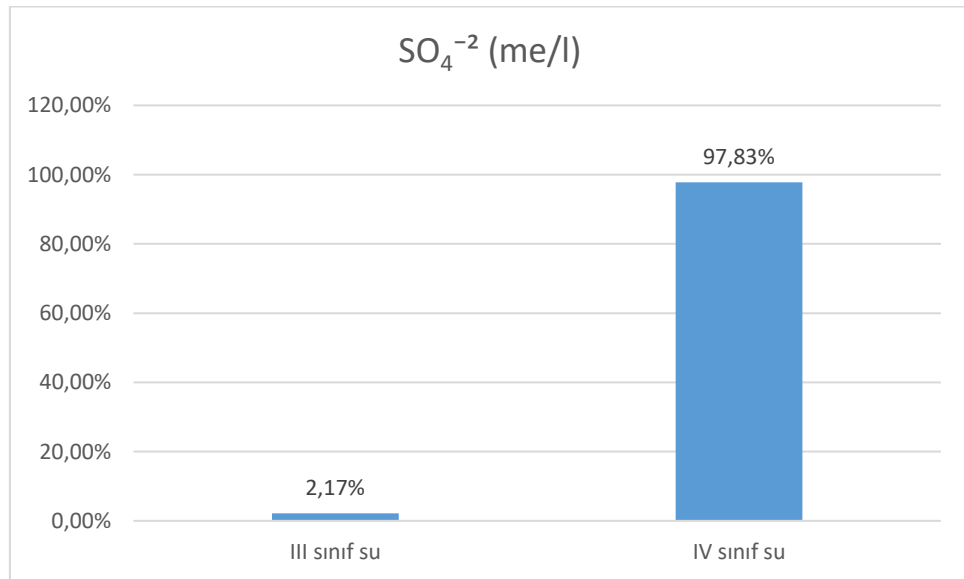
Su örneklerinin sülfat analizi (SO_4^{-2})

Su örneklerinin SO_4 analizi TS 4164 ISO 9297 standardına uygun bir şekilde yapılmıştır. Türk Standardı (TS) olarak yayınlanmış ve uluslararası ISO 9297 standardına eşdeğer olan bir standarttır. Bu standardın temel prensibi, sularda çözünmüş klorür iyonlarının tayini için uygulanan bir titrasyon yöntemini tanımlamaktır. Bu yöntem, genellikle gümüş nitrat (AgNO_3) ile titrasyon ve kromat indikatörü (Mohr metodu) prensibine dayanır.



Şekil 48. Su örneklerinin SO₄(me/l) analiz sonuçları

Tablo 22’deki verilere göre su örneklerinden 2 tanesi (A2, A4) “III sınıf su” kalitesine sahiptir. Diğer numuneler ise” IV sınıf su “kalitesine sahip olup çok kirli su olarak değerlendirilmektedir.

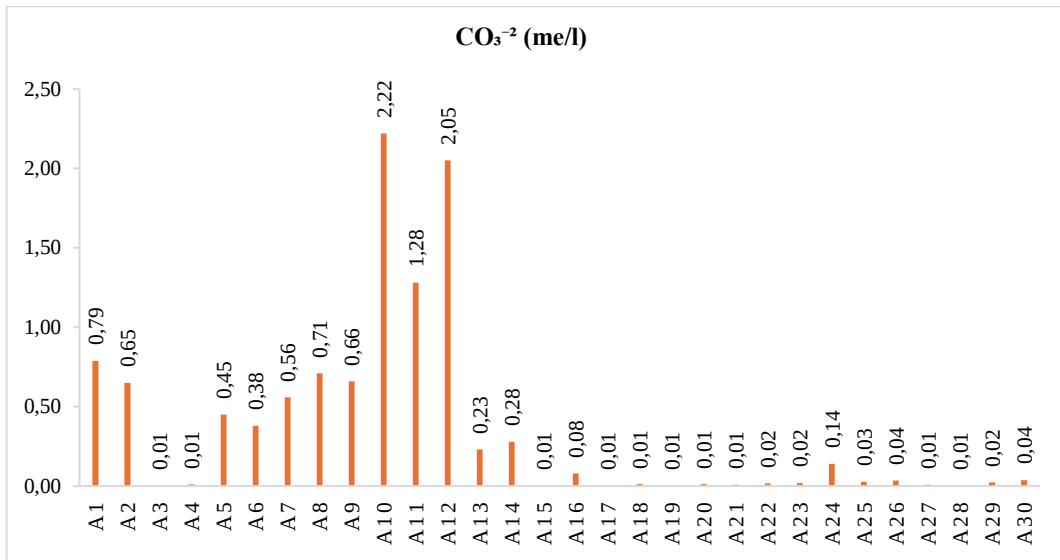


Şekil 49. Su örneklerinin sülfat analizi sonuçlarına göre sınıfsal dağılım grafiği

Şekil 49’daki verilere bakıldığında su örneklerinin sülfat bakımından %2’i “III sınıf”, %98’i “IV sınıf su” kalitesi grubundadır.

Su örneklerinin karbonat analizi (CO₃⁻²)

Su örneklerinin CO₃ analizi ölçümü, "Tüzüner, 1990" referansıyl kastedilen karbonat analizi prensibi, Aslan Tüzüner'in 1990 yılında yayınladığı "Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabın" da açıklanan karbonat (kireç) tayini yöntemlerinin temelini ifade eder.

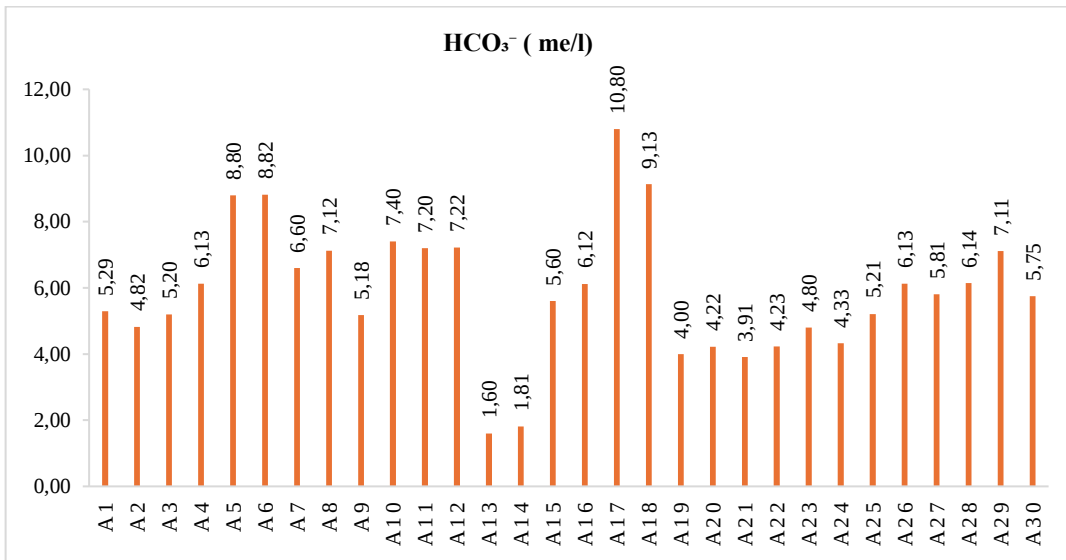


Şekil 50. Su örneklerinin CO₃²⁻ (me/l) analiz sonuçları

Tablo 21’deki verilere göre su numunelerin tamamı I sınıf su kalitesine sahiptir.

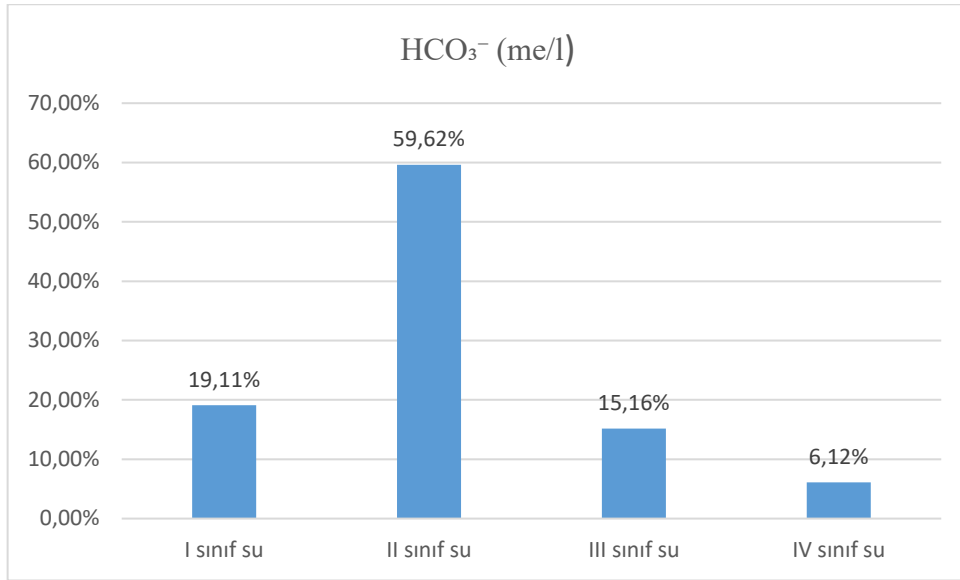
Su örneklerinin bikarbonat analizi (HCO₃⁻)

Su örneklerinin HCO₃ ölçümü, "Tüzüner, 1990" referansıyl kastedilen karbonat analizi prensibi, Aslan Tüzüner’in 1990 yılında yayınladığı "Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabın" da açıklanan karbonat (kireç) tayini yöntemlerinin temelini ifade eder.



Şekil 51. Su örneklerinin HCO₃⁻ (me/l) analiz sonuçları

Tablo 21’deki verilere göre su örneklerinden 9 tanesi (A2, A13, A14, A19, A20, A21, A22, A23, A24)” I sınıf su” kalitesi, 19’u (A1, A4, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A15, A16, A25, A26, A27, A28, A29, A30)” II sınıf su” kalitesine ve (A5, A6, A18) nolu numuneler “III sınıf su” kalitesine sahiptir. Ayrıca (A17) numaralı numune ise “IV sınıf su” kalitesine sahip olup çok kirli su olarak değerlendirilmektedir.

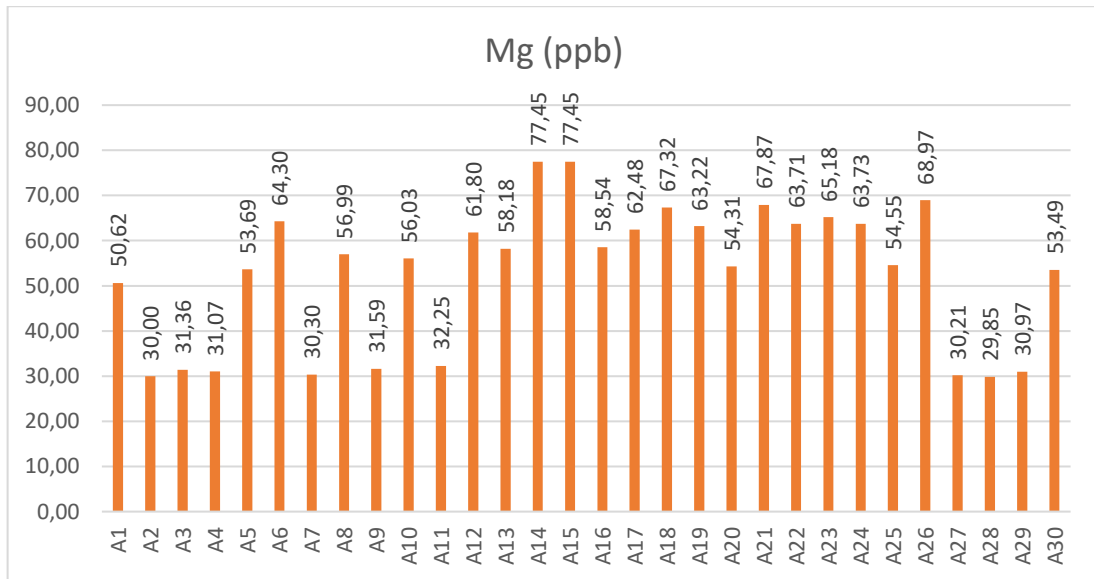


Şekil 52. Su örneklerinin Bikarbonat analizi sonuçlarına göre sınıfsal dağılım grafiği

Şekil 52’deki verilere bakıldığında su örneklerinin Bikarbonat bakımından %19’ I sınıf”, %60’sı “II sınıf”, %15’i “III sınıf “ve %6’sı” IV sınıf “su kalitesi grubundadır.

Su örneklerinin magnezyum (Mg) analizi (ppb)

Su örneklerinin Mg analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar şekil 21’de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo ’de21 yer almaktadır.



Şekil 53. Su örneklerinin Mg (ppb) analiz sonuçları

Tablo 21’deki verilere göre su örneklerinin hepsi “IV sınıf su” kalite sınıfına girdiği tespit edilmiştir.

Tablo 22. Su Örneklerinin Sürekli ve Kısa Dönem Sulama Uygunluğuna Göre Analiz Sonuçları 1

Numune	Al (ppb)	Yorum	Cr (ppb)	Yorum	Mn (ppb)	Yorum	Fe (ppb)	Yorum	Co (ppb)	Yorum	Ni (ppb)	Yorum	Cu (ppb)	Yorum	Zn (ppb)	Yorum
A1	2.470	H Dönem Uygun	1.011	Uygun Değil	0.08	H Dönem Uygun	2.774	H Dönem Uygun	0.053	K Dönem Uygun	2.569	Uygun Değil	2.409	K Dönem Uygun	8.61	Uygun Değil
A2	2.543	H Dönem Uygun	0.431	K Dönem Uygun	0.27	K Dönem Uygun	2.980	H Dönem Uygun	0.035	H Dönem Uygun	2.098	Uygun Değil	2.374	K Dönem Uygun	3.25	Uygun Değil
A3	1.642	H Dönem Uygun	0.265	K Dönem Uygun	0.05	H Dönem Uygun	2.680	H Dönem Uygun	0.023	H Dönem Uygun	1.918	K Dönem Uygun	2.450	K Dönem Uygun	2.62	Uygun Değil
A4	3.273	H Dönem Uygun	0.607	K Dönem Uygun	0.22	K Dönem Uygun	3.181	H Dönem Uygun	0.026	H Dönem Uygun	2.541	Uygun Değil	1.497	K Dönem Uygun	6.89	Uygun Değil
A5	1.133	H Dönem Uygun	0.860	K Dönem Uygun	0.01	H Dönem Uygun	1.429	H Dönem Uygun	0.043	H Dönem Uygun	1.154	K Dönem Uygun	1.401	K Dönem Uygun	0.000	H Dönem Uygun
A6	1.725	H Dönem Uygun	0.247	K Dönem Uygun	0.000	H Dönem Uygun	3.377	H Dönem Uygun	0.022	H Dönem Uygun	0.838	K Dönem Uygun	1.038	K Dönem Uygun	4.86	Uygun Değil
A7	2.430	H Dönem Uygun	0.256	K Dönem Uygun	0.000	H Dönem Uygun	0.881	H Dönem Uygun	0.032	H Dönem Uygun	1.821	K Dönem Uygun	0.883	K Dönem Uygun	0.000	H Dönem Uygun
A8	5.359	K Dönem Uygun	1.044	Uygun Değil	0.000	H Dönem Uygun	7.032	K Dönem Uygun	0.052	K Dönem Uygun	1.634	K Dönem Uygun	0.885	K Dönem Uygun	3.13	Uygun Değil
A9	2.009	H Dönem Uygun	0.199	K Dönem Uygun	0.000	H Dönem Uygun	5.673	K Dönem Uygun	0.025	H Dönem Uygun	1.420	K Dönem Uygun	1.237	K Dönem Uygun	20.12	Uygun Değil
A10	1.480	H Dönem Uygun	1.408	Uygun Değil	0.04	H Dönem Uygun	2.264	H Dönem Uygun	0.050	H Dönem Uygun	1.509	K Dönem Uygun	1.254	K Dönem Uygun	15.64	Uygun Değil
A11	2.735	H Dönem Uygun	0.507	K Dönem Uygun	0.03	H Dönem Uygun	5.750	K Dönem Uygun	0.027	H Dönem Uygun	2.501	Uygun Değil	1.585	K Dönem Uygun	9.44	Uygun Değil
A12	5.405	K Dönem Uygun	1.185	Uygun Değil	0.11	H Dönem Uygun	8.201	K Dönem Uygun	0.029	H Dönem Uygun	1.218	K Dönem Uygun	2.746	K Dönem Uygun	3.15	Uygun Değil

Tablo 22. (devamı)

A13	1.916	H Dönem Uygun 0.515	K Dönem Uygun 0.002	H Dönem Uygun 2.648	H Dönem Uygun 0.101	K Dönem Uygun 1.097	K Dönem Uygun 0.629	K Dönem Uygun <0.000	H Dönem Uygun
A14	3.962	H Dönem Uygun 0.424	K Dönem Uygun 0.25	K Dönem Uygun 7.895	K Dönem Uygun 0.047	H Dönem Uygun 3.359	Uygun Değil 1.569	K Dönem Uygun 3.30	Uygun Değil
A15	5.689	K Dönem Uygun 0.184	K Dönem Uygun 0.45	K Dönem Uygun 16.584	K Dönem Uygun 0.006	H Dönem Uygun 1.149	K Dönem Uygun 1.008	K Dönem Uygun 1.01	H Dönem Uygun
A16	2.033	H Dönem Uygun 1.066	Uygun Değil 0.13	H Dönem Uygun 1.683	H Dönem Uygun 0.018	H Dönem Uygun 1.592	K Dönem Uygun 1.060	K Dönem Uygun 2.20	Uygun Değil
A17	4.086	H Dönem Uygun 1.247	Uygun Değil 0.16	H Dönem Uygun 8.546	K Dönem Uygun 0.033	H Dönem Uygun 2.836	Uygun Değil 0.969	K Dönem Uygun 1.65	H Dönem Uygun
A18	1.279	H Dönem Uygun 0.268	K Dönem Uygun 0.45	K Dönem Uygun 4.505	H Dönem Uygun 0.358	K Dönem Uygun 1.685	K Dönem Uygun 1.204	K Dönem Uygun 9.81	Uygun Değil
A19	6.007	K Dönem Uygun 0.248	K Dönem Uygun 0.56	K Dönem Uygun 11.804	K Dönem Uygun 0.047	H Dönem Uygun 2.253	Uygun Değil 4.981	K Dönem Uygun 26.66	Uygun Değil
A20	0.990	H Dönem Uygun 0.474	K Dönem Uygun 0.01	H Dönem Uygun 0.518	H Dönem Uygun 0.040	H Dönem Uygun 2.172	Uygun Değil 0.721	K Dönem Uygun <0.000	H Dönem Uygun
A21	1.023	H Dönem Uygun 0.271	K Dönem Uygun 0.02	H Dönem Uygun 2.896	H Dönem Uygun 0.027	H Dönem Uygun 1.163	K Dönem Uygun 0.622	K Dönem Uygun 16.54	Uygun Değil
A22	1.079	H Dönem Uygun 0.294	K Dönem Uygun 0.01	H Dönem Uygun 2.568	H Dönem Uygun 0.020	H Dönem Uygun 0.944	K Dönem Uygun 0.495	H Dönem Uygun <0.000	H Dönem Uygun
A23	3.100	H Dönem Uygun 0.293	K Dönem Uygun 0.04	H Dönem Uygun 5.900	K Dönem Uygun 0.021	H Dönem Uygun 1.257	K Dönem Uygun 1.360	K Dönem Uygun 12.17	Uygun Değil
A24	2.896	H Dönem Uygun 0.342	K Dönem Uygun 0.07	H Dönem Uygun 5.089	K Dönem Uygun 0.024	H Dönem Uygun 2.026	Uygun Değil 2.235	K Dönem Uygun 29.15	Uygun Değil
A25	2.961	H Dönem Uygun 0.275	K Dönem Uygun 0.17	H Dönem Uygun 7.321	K Dönem Uygun 0.049	H Dönem Uygun 2.543	Uygun Değil 2.846	K Dönem Uygun 18.00	Uygun Değil

Tablo 22. (devamı)

A26	2.520	H Dönem Uygun	0.597	K Dönem Uygun	0.31	K Dönem Uygun	4.313	H Dönem Uygun	0.631	K Dönem Uygun	3.100	Uygun Değil	0.839	K Dönem Uygun	13.55	Uygun Değil
A27	4.091	H Dönem Uygun	0.303	K Dönem Uygun	0.09	H Dönem Uygun	4.351	H Dönem Uygun	0.035	H Dönem Uygun	2.633	Uygun Değil	1.967	K Dönem Uygun	16.48	Uygun Değil
A28	1.482	H Dönem Uygun	1.209	Uygun Değil	0.15	H Dönem Uygun	4.537	H Dönem Uygun	0.022	H Dönem Uygun	2.840	Uygun Değil	1.539	K Dönem Uygun	31.05	Uygun Değil
A29	2.476	H Dönem Uygun	0.826	K Dönem Uygun	0.003	H Dönem Uygun	2.635	H Dönem Uygun	0.019	H Dönem Uygun	1.962	K Dönem Uygun	1.178	K Dönem Uygun	3.20	Uygun Değil
A30	2.045	H Dönem Uygun	1.200	Uygun Değil	0,002	H Dönem Uygun	9.992	K Dönem Uygun	0.049	H Dönem Uygun	1.723	K Dönem Uygun	1.039	K Dönem Uygun	19.41	Uygun Değil
Ortalama	2.788		1.171				5.307				1.992		1.817		11.388	

Not 4: H Dönem: Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler (mg/l)

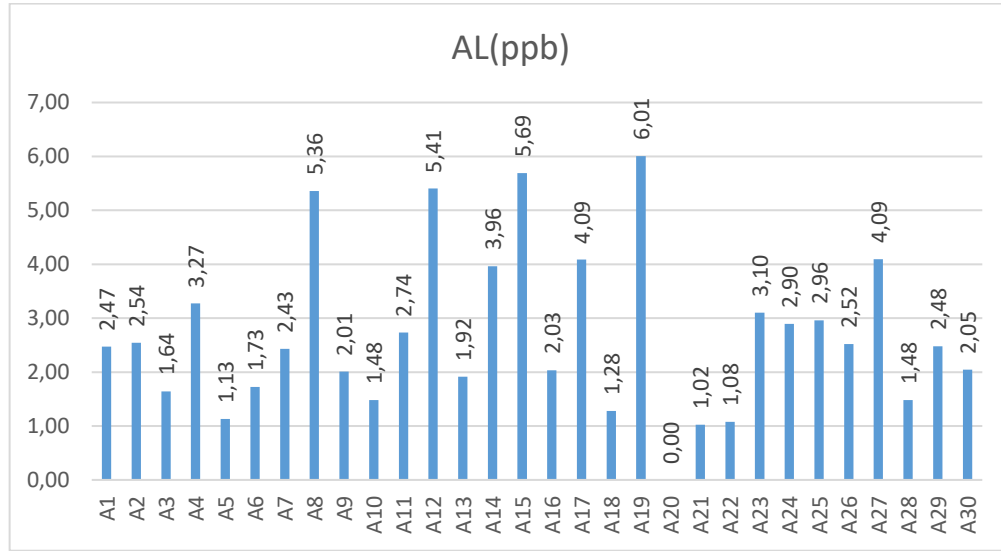
Not 5: K Dönem: Kısa dönemli kullanım (mg/L)

Not 6: Uygun: Yukarıdaki bütün sınır değerlere göre uygundur.

Not 7: Uygun Değil: Yukarıdaki hiçbir sınır değere uymamaktadır.

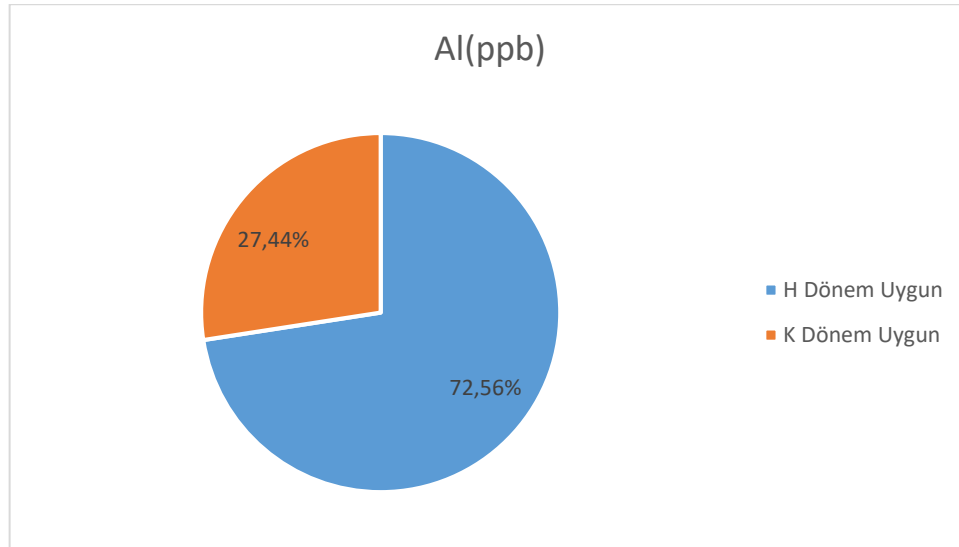
Su Örneklerinin Alüminyum Analizi (AL)

Su örneklerinin AL analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar şekil 31’de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 22’de yer almaktadır.



Şekil 54. Su örneklerinin Al (ppb) analiz sonuçları

Tablo 22’deki verilere göre su örneklerinden (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A9, A10, A11, A13, A14, A16, A17, A18, A20, A21, A22, A23, A24, A25, A26, A28, A29, A30) numaralı numuneler “her türlü zeminde sürekli sulama yapılması” durumun da sınır değerlere uygun olarak kabul edilmektedir. (A8, A12, A15, A19) numaralı numuneler ise “kısa dönemli kullanım” sınır değerlerine göre uygundur.

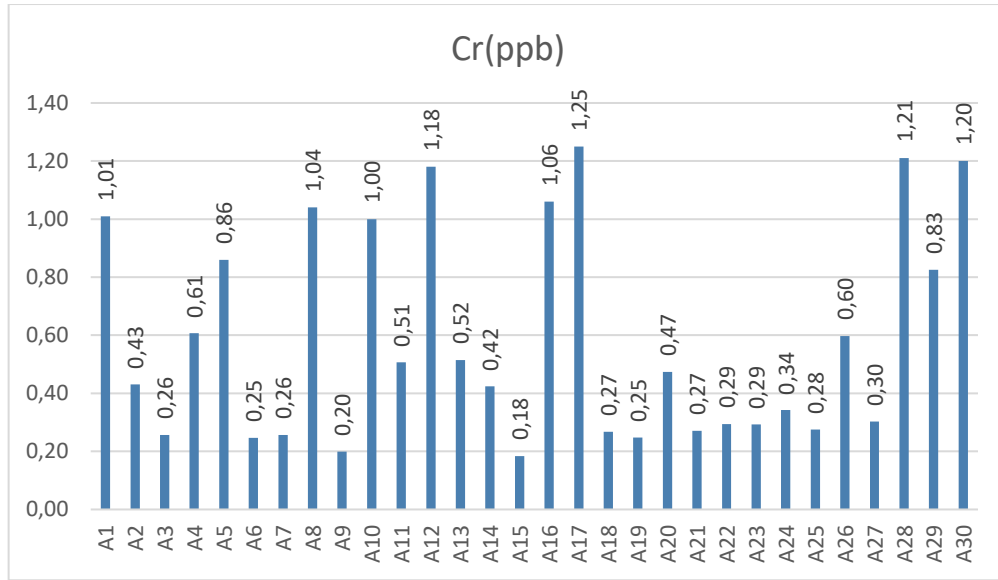


Şekil 55. Su örneklerinin alüminyum analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 55'e göre bakıldığında su örneklerinin Alüminyum bakımından %72,22'si her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere uygun olarak kabul edilmekte olup, %27,78'si kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygundur. Buna göre su örneklerinin çoğu alüminyum bakımından uzun süreli sulamaya uygundur.

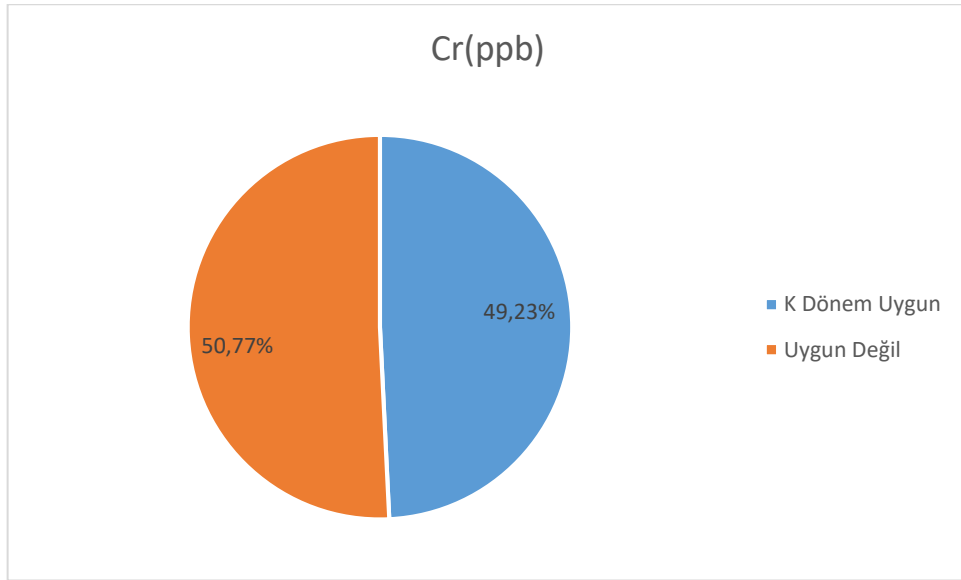
Su örneklerinin krom analizi (Cr)

Su örneklerinin Cr analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartları-na göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar şekil 33'de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 23'de yer almaktadır.



Şekil 56. Su örneklerinin Cr (ppb) analiz sonuçları

Tablo 22'deki verilere göre su örneklerinden (A2, A3, A4, A5, A6, A7, A9, A11, A13, A14, A15, A18, A19, A20, A21, A22, A23, A24, A25, A26, A27, A29) numaralı numuneler kısa dönemli kullanım durumun da sınır değerlere uygun olarak kabul edilmektedir. Geriye kalan (A1, A8, A10, A12, A16, A17, A28, A30) numaralı numuneler herhangi bir sınır değer kapsamında uygunluğa sahip değildir.

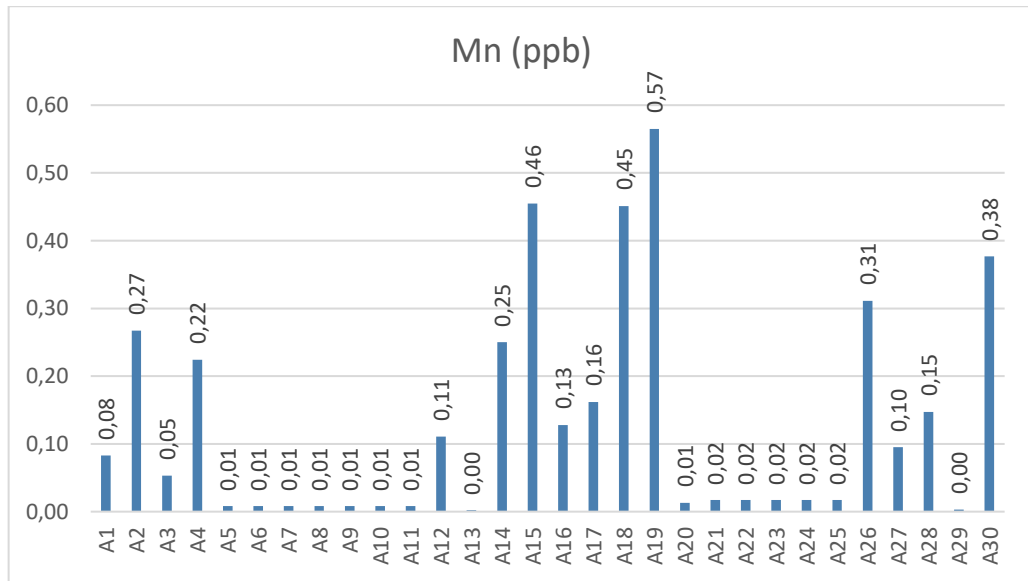


Şekil 57. Su örneklerinin Krom (Cr) analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 57’de göre su örneklerinin krom bakımından %49,23’ si her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere, %50,77’ si kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygun olduğu görülmektedir.

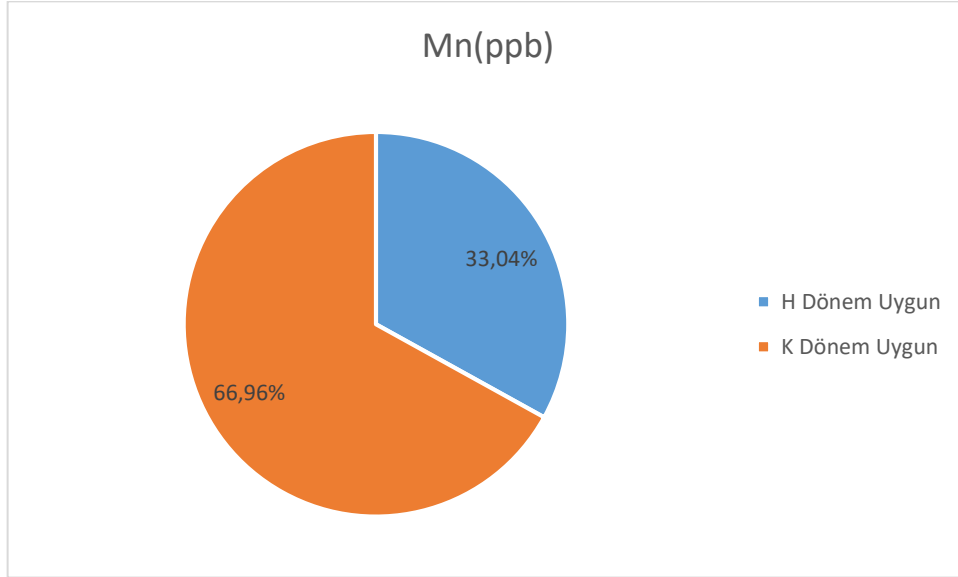
Su örneklerinin mangan analizi (Mn)

Su örneklerinin Mn analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar şekil 55’de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 22’de yer almaktadır.



Şekil 58. Su örneklerinin Mn (ppb) analiz sonuçları

Tablo 23'deki verilere göre su örneklerinden (A1, A3, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A16, A17, A20, A21, A22, A23, A24, A25, A27, A28, A29) numaralı numuneler kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygundur. (A2, A4, A15, A18, A19, A26, A30) numaralı numuneler ise her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere uygun olduğu tespit edilmiştir.

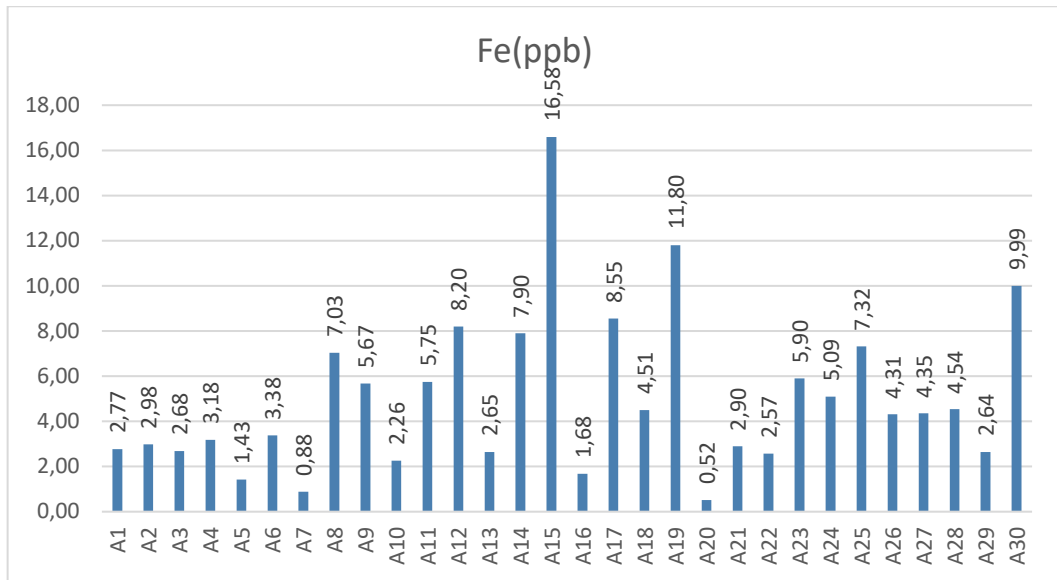


Şekil 59. Su örneklerinin Mangan (Mn/ppb) analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 59'ya göre su örneklerinin krom bakımından %33,04'ü her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere, %66,96' si kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygun olduğu görülmektedir.

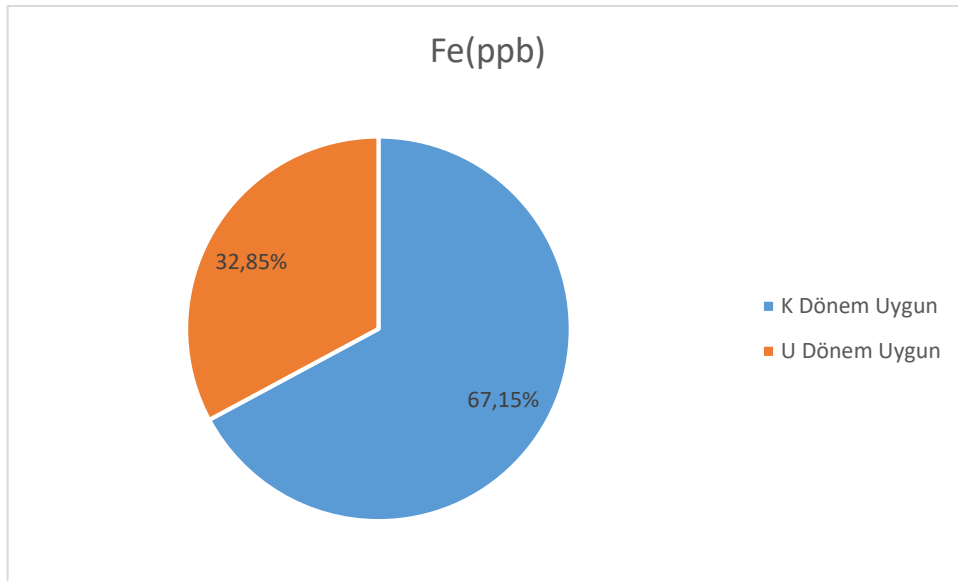
Su örneklerinin demir analizi Fe (ppb)

Su örneklerinin Fe analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar şekil 56'de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 22'de yer almaktadır.



Şekil 60. Su örneklerinin Fe (ppb) analiz sonuçları

Tablo 22’deki verilere göre (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A10, A13, A16, A18, A20, A21, A22, A26, A27, A28, A29) numaralı numuneler her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerlere uygun olarak kabul edilmektedir. (A8, A9, A11, A12, A14, A15, A17, A19, A23, A24, A25, A30) numaralı numuneler ise kısa dönemli kullanım (mg/L), (Division vd., 2004) sınır değerlerine göre uygundur.

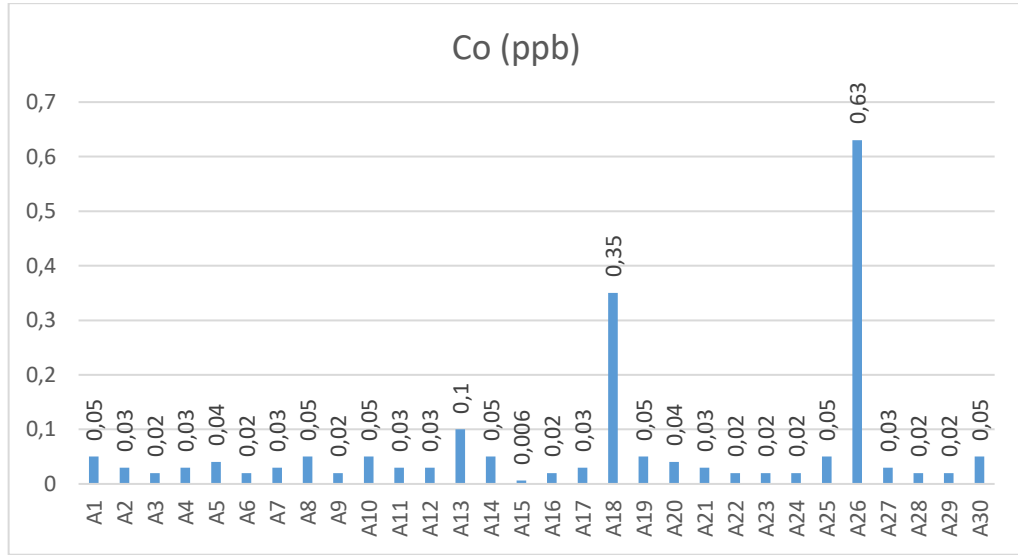


Şekil 61. Su örneklerinin demir analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 61’e bakıldığında su örneklerinin Demir bakımından %67,15’i “her türlü zeminde sürekli sulama” yapılması durumun da sınır değerlere uygun olarak kabul edilmekte olup, %32,85’si “kısa dönemli kullanım “sınır değerlerine göre uygundur. Buna göre su örneklerinin çoğu demir bakımından uzun süreli sulamaya uygundur.

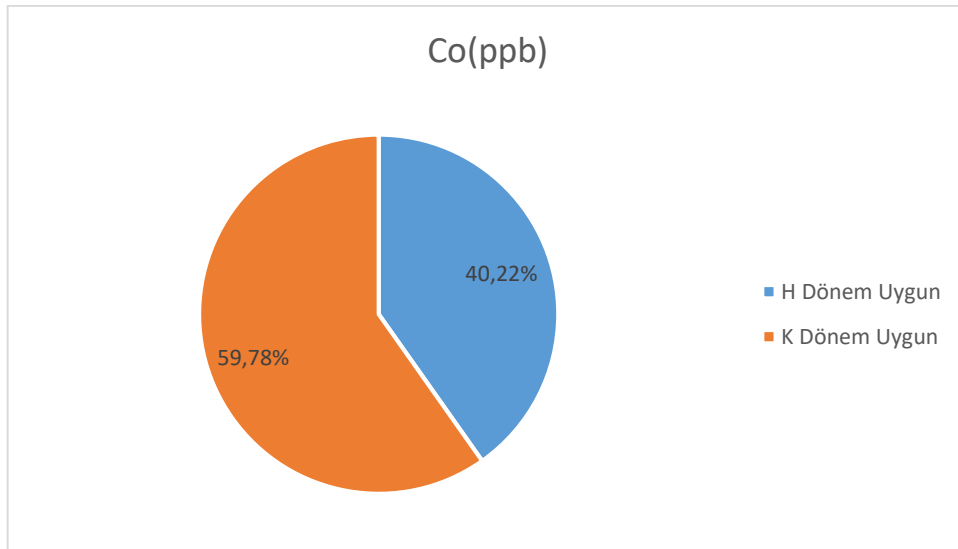
Su örneklerinin kobalt analizi Co (ppb)

Su örneklerinin Co analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar şekil 58’de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 22’de yer almaktadır.



Şekil 62. Su örneklerinin Co (ppb) analiz sonuçları

Tablo 22’deki verilere göre su örneklerinden (A2, A3, A4, A5, A6, A7, A9, A10, A11, A12, A14, A15, A16, A17, A19, A20, A21, A22, A23, A24, A25, A27, A28, A29, A30) numaralı numuneler her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere uygundur. Geriye kalan (A1, A8, A13, A18, A26) numaralı numuneler ise ve kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygundur.

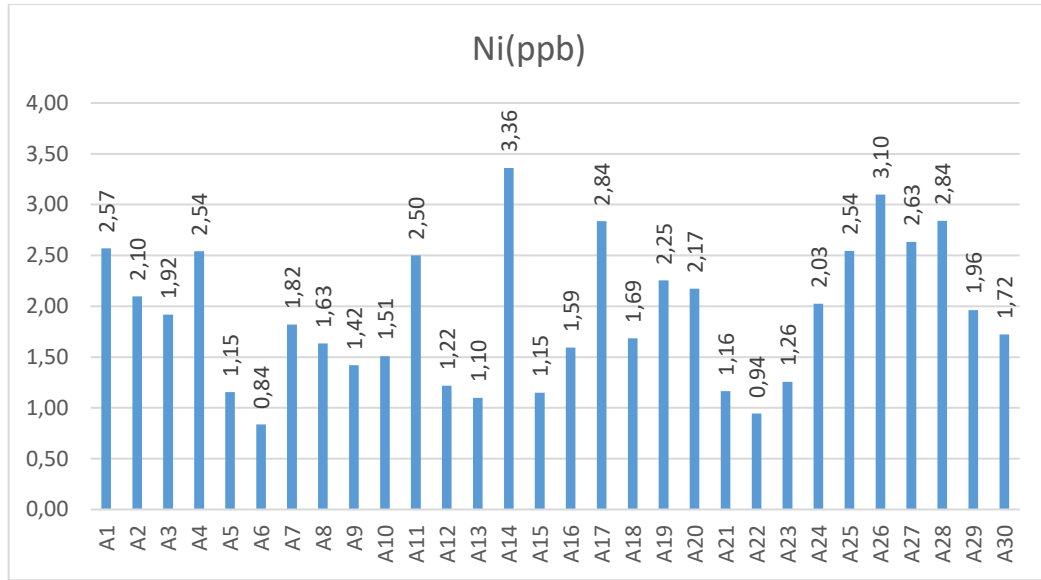


Şekil 63. Su örneklerinin Kobalt analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 63'a bakıldığında su örneklerinin Kobalt bakımından %40,22'si her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere uygun olarak kabul edilmekte olup, %59,78' si kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygundur. Buna göre su örneklerinin çoğu Kobalt bakımından uzun süreli sulamaya uygundur.

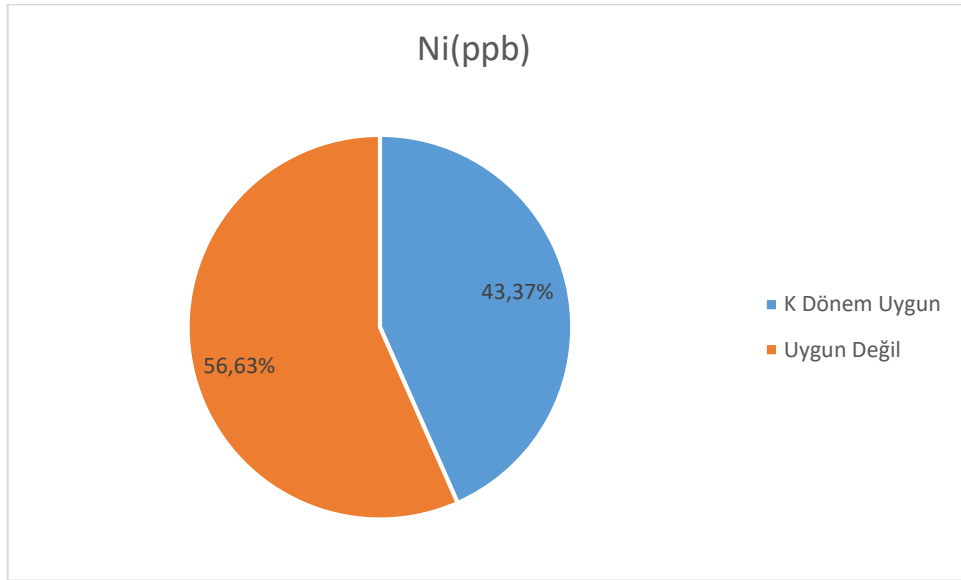
Su örneklerinin nikel analizi Ni (ppb)

Su örneklerinin Ni analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar şekil 59'da verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 22'de yer almaktadır.



Şekil 64. Su örneklerinin Ni (ppb) analiz sonuçları

Tablo 22'deki verilere göre su örneklerinden (A3, A5, A7, A8, A9, A10, A12, A13, A15, A16, A18, A21, A22, A23, A29, A30) numaralı numuneler kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygun kabul edilmektedir. Geriye kalan (A1, A2, A4, A11, A14, A17, A19, A20, A24, A25, A26, A27, A28) herhangi bir sınır değerlere uygun değildir.

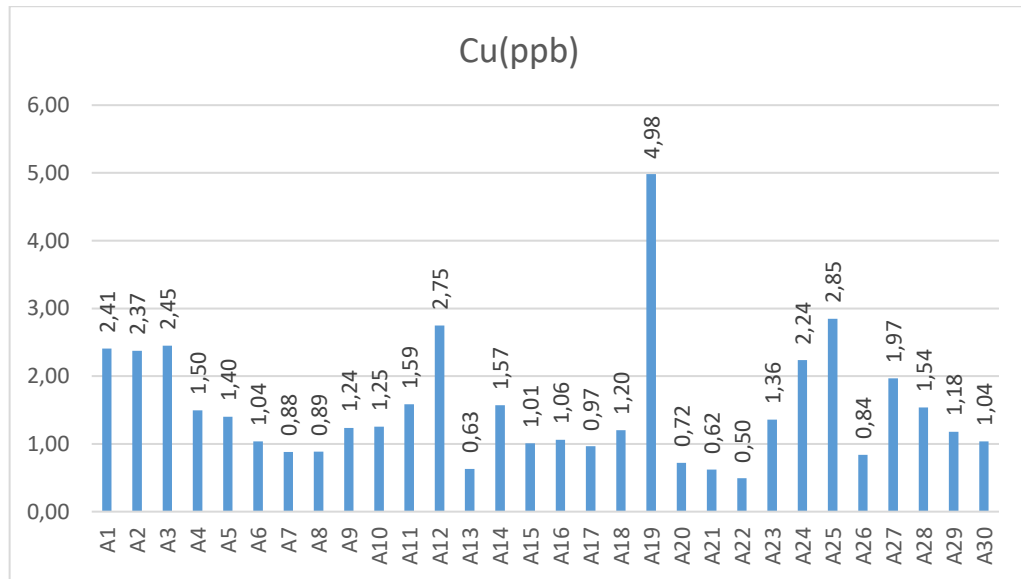


Şekil 65. Su örneklerinin Nikel analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 65'e bakıldığında su örneklerinin Nikel bakımından %43,37'si kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygundur. %56,63'ü nikel bakımından sulamaya uygun olmadığı görülmektedir.

Su örneklerinin bakır analizi Cu (ppb)

Su örneklerinin Cu analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar şekil 62'de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları Tablo 22'de yer almaktadır.

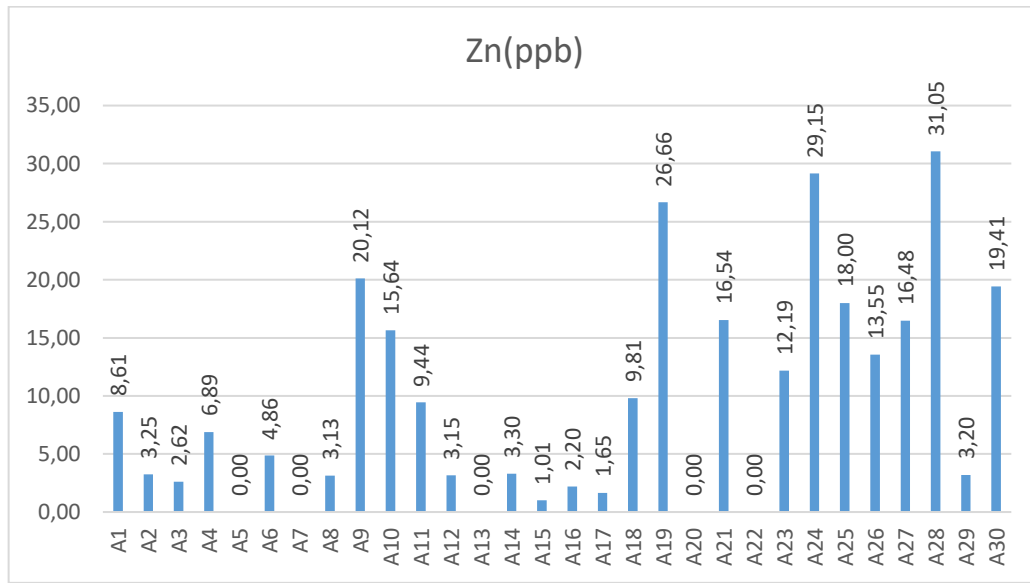


Şekil 66. Su örneklerinin Bakır (ppb) analiz sonuçları

Tablo 22’deki verilere göre su örneklerinin hepsi sadece kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygundur.

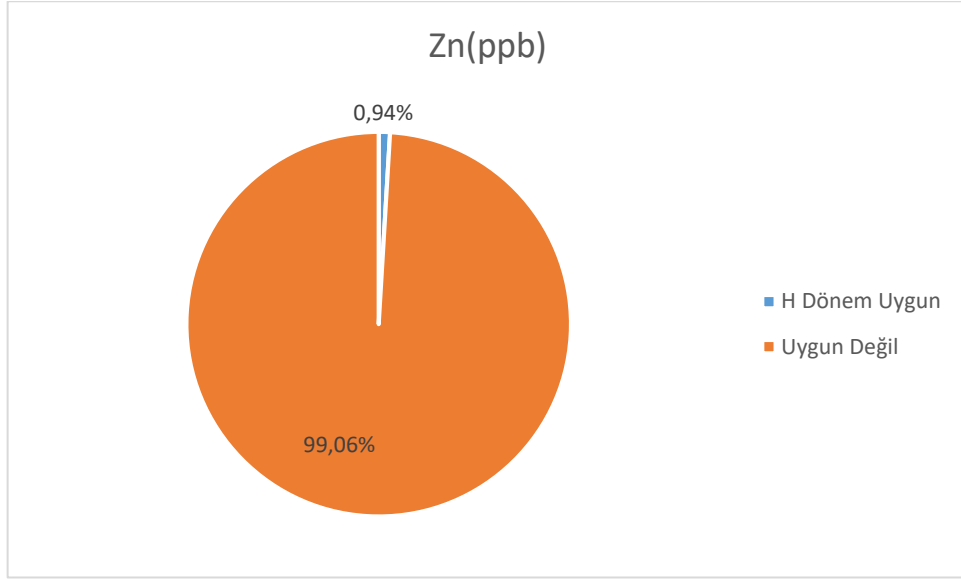
Su örneklerinin çinko (Zn) analizi (ppb)

Su örneklerinin Zn analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar şekil 63’de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları Tablo 22’de yer almaktadır.



Şekil 67. Su örneklerinin Zn (ppb) analiz sonuçları

Tablo 22’deki verilere göre su örneklerinden, (A5, A7, A13, A15, A17, A20, A22,) numaralı numuneler “Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da”sınır değerlere uygun olarak kabul edilmektedir. Zn analiz sonuçları için “Kısa dönemli kullanım” sınır değerler belirtilmemiştir. Geriye kalan numune sonuçları ise sınır değerlere uygun değildir.



Şekil 68. Su örneklerinin Çinko analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 68'e göre su örneklerinin çinko bakımından sadece yaklaşık %1'ü her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun sınır değerlere uygun olduğu anlaşılmaktadır

Tablo 23. Su Örneklerinde Kirlilik Yaratan Elementler Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi 2 (Su örneklerinin Sürekli ve Kısa dönem sulama uygunluğuna göre Analiz Sonuçları)

Numune	As (ppb)	Yorum	Mo (ppb)	Yorum	Cd (ppb)	Yorum	Hg (ppb)	Yorum	Pb (ppb)	Yorum	B(ppm)	Yorum
A1	6.74	Uygun Değil	4.807	Uygun Değil	0.014	H Dönem Uygun	0.004	...	0.180	Uygun	2,99	Uygun Değil
A2	4.68	Uygun Değil	1.926	Uygun Değil	0.013	H Dönem Uygun	0.010	...	0.227	Uygun	0,18	Uygun Değil
A3	4.35	Uygun Değil	1.957	Uygun Değil	0.011	H Dönem Uygun	0.003	...	0.167	Uygun	0,2	Uygun Değil
A4	4.38	Uygun Değil	1.983	Uygun Değil	0.003	H Dönem Uygun	0.002	...	0.060	Uygun	0,2	Uygun Değil
A5	6.04	Uygun Değil	4.334	Uygun Değil	0.006	H Dönem Uygun	0.004	...	0.024	Uygun	4,78	Uygun Değil
A6	5.90	Uygun Değil	2.63	Uygun Değil	0.009	H Dönem Uygun	0.009	...	0.884	Uygun	6,63	Uygun Değil
A7	4.59	Uygun Değil	1.72	Uygun Değil	0.002	H Dönem Uygun	<0.000	...	0.590	Uygun	0,28	Uygun Değil
A8	6.82	Uygun Değil	5.023	Uygun Değil	0.006	H Dönem Uygun	<0.000	...	0.693	Uygun	4,57	Uygun Değil
A9	5.71	Uygun Değil	1.866	Uygun Değil	0.005	H Dönem Uygun	0.004	...	1.798	Uygun	0,31	Uygun Değil
A10	6.95	Uygun Değil	4.946	Uygun Değil	0.011	H Dönem Uygun	0.003	...	0.954	Uygun	4,5	Uygun Değil
A11	4.79	Uygun Değil	1.725	Uygun Değil	0.014	H Dönem Uygun	0.012	...	1.521	Uygun	0,25	Uygun Değil
A12	4.97	Uygun Değil	2.951	Uygun Değil	0.013	H Dönem Uygun	0.024	...	2.802	Uygun	6,35	Uygun Değil
A13	4.48	Uygun Değil	3.298	Uygun Değil	0.010	H Dönem Uygun	0.006	...	1.067	Uygun	4,73	Uygun Değil
A14	6.42	Uygun Değil	1.761	Uygun Değil	0.024	K Dönem Uygun	0.231	...	0.850	Uygun	11,2	Uygun Değil
A15	6.10	Uygun Değil	1.679	Uygun Değil	0.010	H Dönem Uygun	0.041	...	0.625	Uygun	10,92	Uygun Değil
A16	4.49	Uygun Değil	3.331	Uygun Değil	0.016	K Dönem Uygun	0.003	...	0.700	Uygun	4,43	Uygun Değil
A17	4.87	Uygun Değil	2.815	Uygun Değil	0.007	H Dönem Uygun	0.005	...	2.398	Uygun	6,47	Uygun Değil
A18	5.81	Uygun Değil	1.364	Uygun Değil	0.011	H Dönem Uygun	0.006	...	1.000	Uygun	7,06	Uygun Değil
A19	4.92	Uygun Değil	2.893	Uygun Değil	0.049	K Dönem Uygun	0.020	...	1.488	Uygun	6,39	Uygun Değil
A20	5.94	Uygun Değil	4.353	Uygun Değil	0.008	H Dönem Uygun	0.003	...	0.863	Uygun	6,18	Uygun Değil
A21	6.18	Uygun Değil	2.759	Uygun Değil	0.007	H Dönem Uygun	0.001	...	0.911	Uygun	6,8	Uygun Değil
A22	5.79	Uygun Değil	2.673	Uygun Değil	0.002	H Dönem Uygun	0.002	...	1.091	Uygun	6,58	Uygun Değil
A23	5.90	Uygun Değil	2.728	Uygun Değil	0.011	H Dönem Uygun	0.009	...	1.158	Uygun	7,3	Uygun Değil
A24	5.58	Uygun Değil	2.685	Uygun Değil	0.020	K Dönem Uygun	0.001	...	1.241	Uygun	6,73	Uygun Değil
A25	6.86	Uygun Değil	5.131	Uygun Değil	0.019	K Dönem Uygun	0.003	...	1.400	Uygun	4,63	Uygun Değil

Tablo 23. (devamı)

A26	5.86	Uygun Değil	0.000231	U Dönem Uygun	0.001	H Dönem Uygun	0.003	...	2.059	Uygun	7,2	Uygun Değil
A27	4.64	Uygun Değil	1.845	Uygun Değil	0.007	H Dönem Uygun	0.003	...	2.105	Uygun	0,29	Uygun Değil
A28	4.26	Uygun Değil	1.903	Uygun Değil	0.008	H Dönem Uygun	0.000	...	2.613	Uygun	0,24	Uygun Değil
A29	4.68	Uygun Değil	1.961	Uygun Değil	0.007	H Dönem Uygun	0.001	...	2.192	Uygun	0,22	Uygun Değil
A30	6.76	Uygun Değil	5.024	Uygun Değil	0.008	H Dönem Uygun	0.026	...	3.905	Uygun	4,46	Uygun Değil
Ortalama	5.52		2.802						1.865		4,43	

Not 4: H Dönem: Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler (mg/l)

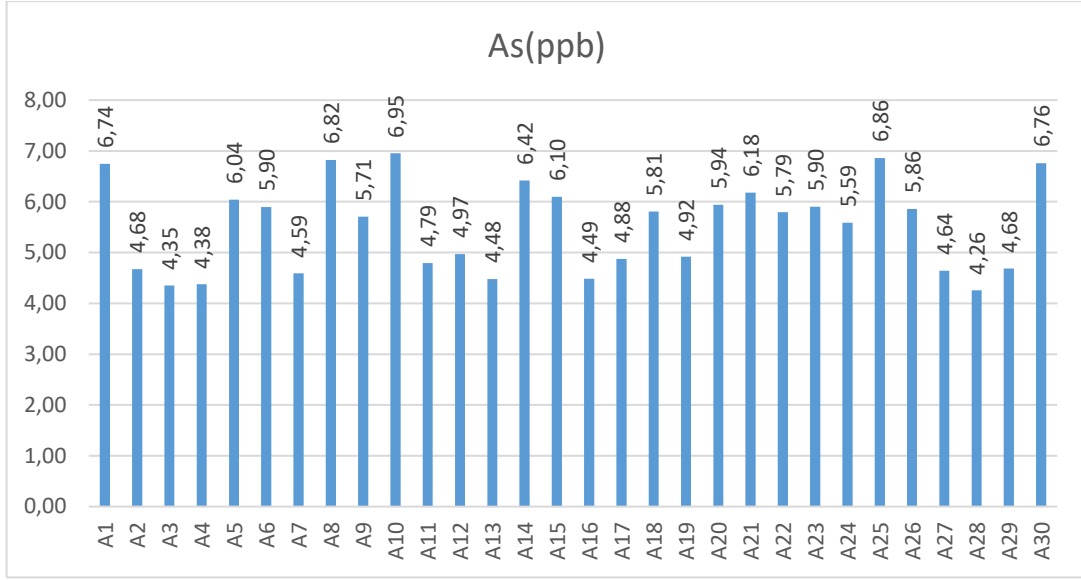
Not 5: K Dönem: Kısa dönemli kullanım (mg/L)

Not 7: Uygun: Yukarıdaki bütün sınır değerlere göre uygundur.

Not 8: Uygun Değil: Yukarıdaki hiçbir sınır değere uymamaktadır.

Arsenik Analizi (As)

Su örneklerinin As analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar tablo 23’de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları Tablo 23’de yer almaktadır.

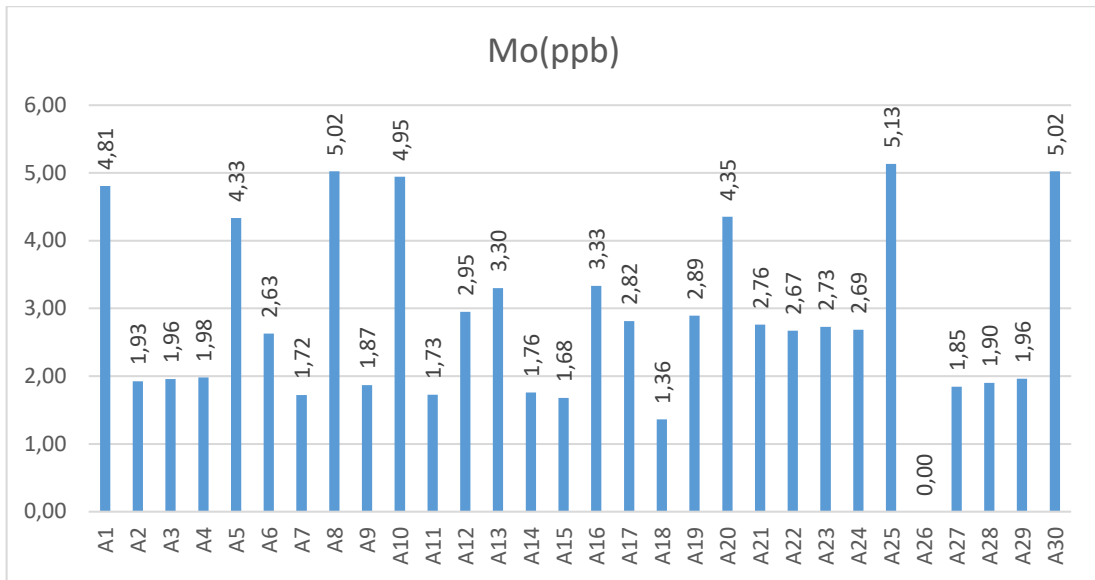


Şekil 69. Su örneklerinin As (ppb), analiz sonuçları

Tablo 23’deki verilere göre su örneklerinin “Her türlü zeminde sürekli sulama “yapılması durumun da ve “Kısa dönemli kullanım “sınır değerlerinin ikisine de uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Su örneklerinin molibden Mo (ppb) analizi

Su örneklerinin Mo analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar tablo 23’da verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları Tablo 23’de yer almaktadır.

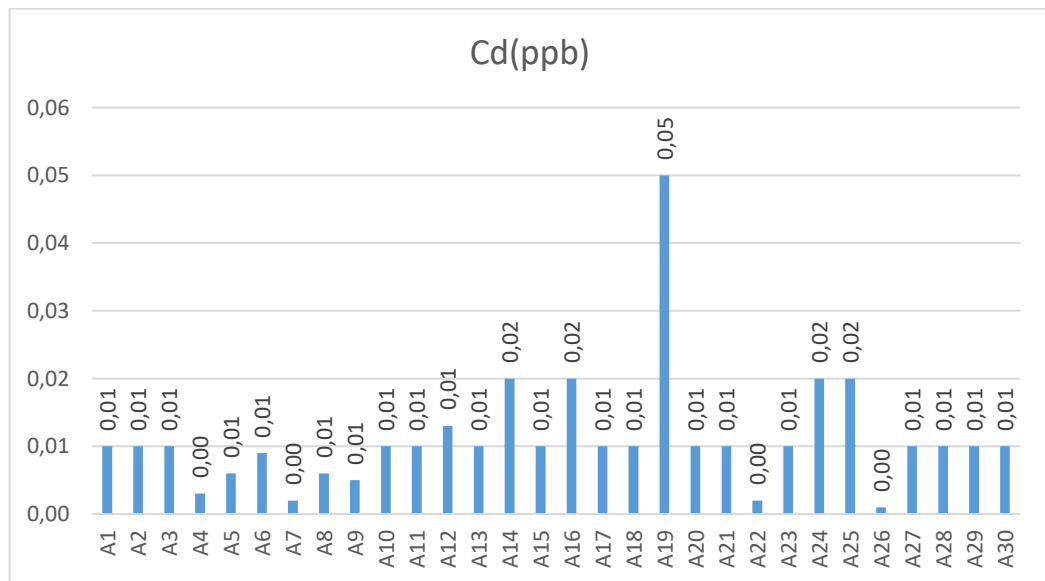


Şekil 70. Su örneklerinin Mo (ppb), analiz sonuçları

Tablo 23'daki verilere göre su örneklerinden, (A26) numaralı numune “her türlü zeminde sürekli sulama “yapılması durumun da sınır değerlere uygun olarak kabul edilmektedir. Mo analizi için kısa dönemli kullanım sınır değerler belirtilmemiştir. Geriye kalan numune değerleri belirtilen sınır değerlere uygun değildir.

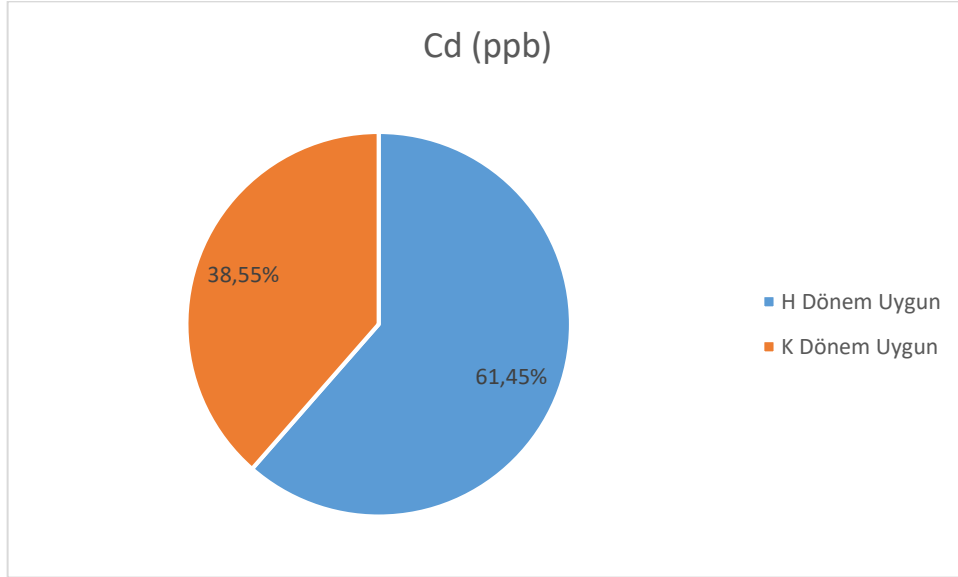
Su örneklerinin kadmium (Cd) analizi (ppb)

Su örneklerinin Cd analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar tablo 23’de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 23’de yer almaktadır.



Şekil 71. Su örneklerinin Cd (ppb), analiz sonuçları

Tablo 23'deki verilere göre su örneklerinde (A14, A16, A19, A24, A25) numaralı numuneler “her türlü zeminde sürekli sulama “yapılması sınır değerlerine uymaktadır. Geriye kalan (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A15, A17, A18, A20, A21, A22, A23, A26, A27, A28, A29, A30) numaralı numunelerin ise sadece “kısa dönemli kullanım “sınır değerlerine uygun olduğu tespit edilmiştir.

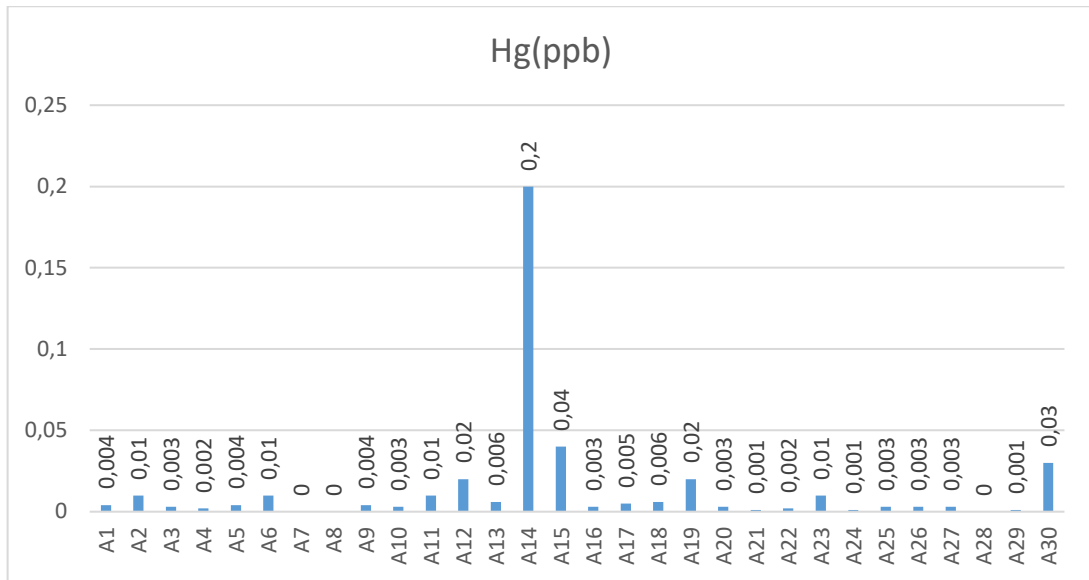


Şekil 72. Su örneklerinin kadmiyum analizi sonuçlarının sürekli ve kısa dönem sulama uygunluğuna göre dağılım grafiği

Şekil 72'e bakıldığında su örneklerinin cadmiyum bakımından %38,55'si kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygundur. %61,45'si ise cadmiyum bakımından sulamaya uygun olmadığı görülmektedir.

Su örneklerinin Cıva (Hg) analizi (ppb)

Su örneklerinin Hg analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar tablo 23'de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Ba-kanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 23'de yer almaktadır.

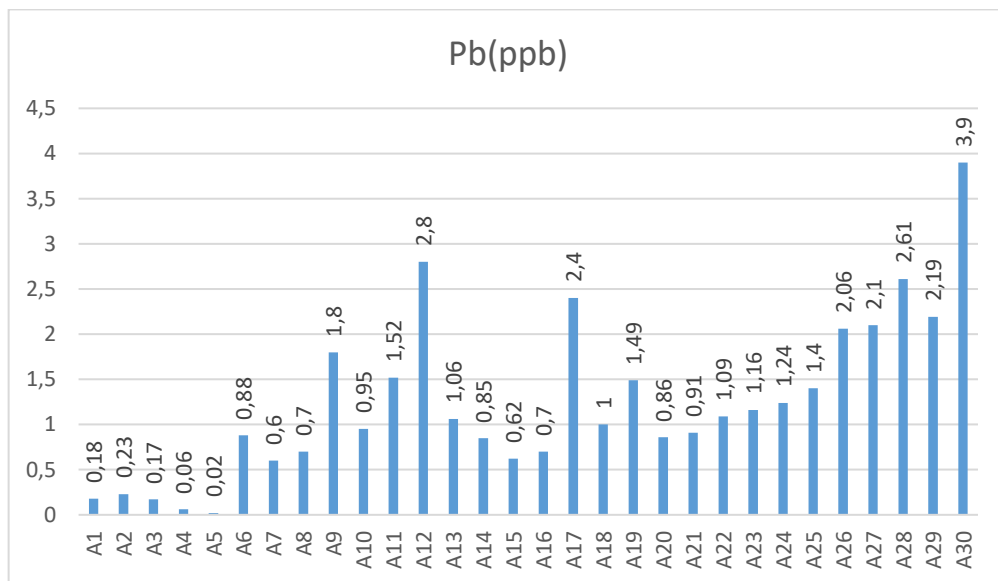


Şekil 73. Su örneklerinin Hg (ppb) analiz sonuçları

Şekil 68’deki verilere göre su örnekleri için her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumu ve kısa dönemli kullanım durumu için sınır değerler belirtilmemiştir. Tespit edilebilir olması sakıncalıdır.

Su örneklerinin kurşun (Pb) analizi (ppb)

Su örneklerinin Pb analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar tablo 23’de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Ba-kanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 23’de yer almaktadır.

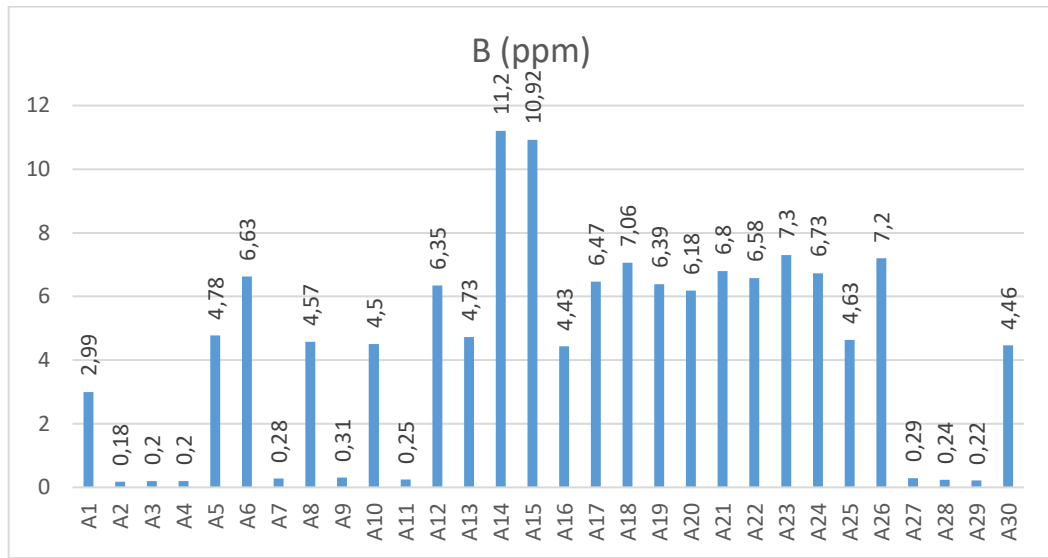


Şekil 74. Su örneklerinin Pb (ppb) analiz sonuçları

Şekil 73'deki verilere göre su örneklerinin hepsi her türlü zeminde sürekli ve kısa dönemli kullanım sınır değerlerine göre uygundur.

Su örneklerinin Bor (B) analizi (ppm)

Su örneklerinin B analizi Metallerin ölçümü, EPA 200.7 ve ISO 11885 standartlarına göre ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 23'de verilmiştir ve tablo 6 (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Sulama Amaçlı Öngördüğü Eşik Değerler) yer alan referans değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları tablo 23'de yer almaktadır.



Şekil 75. Su örneklerinin Bor B (ppm) analiz sonuçları

Tablo 23'deki verilere göre su örneklerinin hiçbirisi her türlü zeminde sürekli sulama ve kısa dönemli kullanım (mg/L), (Division vd., 2004) sınır değerlerine göre uygun değildir.

Su örnekleri korelasyon analizi ve değerlendirilmesi

Tablo 24. Su Örnekleri İstatistik Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Ölçütler	t	Serbestlik derecesi	Önemlilik düzeyi (2-tailed)	Ortalama Fark	% 95 Farkın Güven Aralığı	
					Alt	Üst
KI (meq/L)	5.645	29	.000	4.199	2.677	5.720
PI (meq/L)	15.861	29	.000	71.715	62.467	80.962
PS (meq/L)	6.520	29	.000	21.144	14.511	27.777
MR (meq/L)	26.183	29	.000	50.181	46.262	54.101
SAR (meq/l)	6.201	29	.000	16.729	11.211	22.247
RSC (meq/l)	-2.854	29	.008	-1591.438	-2731.774	-451.102
%Na	9.698	29	.000	59.008	46.564	71.452
CI (ppm)	5.711	29	.000	1187.413	762.172	1612.654

Su örneklerinin varyans analizine göre; bu çalışma altındaki tüm ölçütler 0.01 ve 0.001 anlamlılık düzeyinde bütün Su örnekleri arasındaki farklar oldukça önemli olmuştur.

Tablo 24'de Yapılan bağımlı örneklem t-testi sonuçlarına göre, incelenen tüm parametreler (KI, PI, PS, MR, SAR, RSC, %Na ve Cl) arasında farklı su örnekleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar saptanmıştır. Elde edilen p-değerleri, bu farkların %1 ($p < 0.01$) ve %0.1 ($p < 0.001$) anlamlılık düzeylerinde önemli olduğunu ortaya koymaktadır. KI (potasyum) değerleri gruplar arasında anlamlı düzeyde farklılık göstermiştir. PI (fosfor) parametresi, yüksek ortalama farkı ile en belirgin değişimi sergileyen parametrelerden biri olmuştur. PS açısından da örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. MR (muhtemelen magnezyum ve kalsiyum toplamı) değişkeni, sahip olduğu en yüksek t-değeri ile su örnekleri arasında çok güçlü ve belirgin bir farkın bulunduğu işaret etmektedir. SAR (Sodyum Adsorpsiyon Oranı) düzeyinde de anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir.

RSC (Residual Sodium Carbonate) parametresi, negatif yönlü t-değeri ile dikkat çekmektedir; bu durum, gruplardan birinde RSC değerlerinin diğerine kıyasla anlamlı biçimde daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu düşüş, özellikle sulama suyu kalitesi ve toprak sağlığı açısından olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilir. %Na (sodyum yüzdesi) düzeylerinde ise oldukça anlamlı farklar tespit edilmiş olup, bu da uygulamaların sodyum içeriği üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Son olarak, Cl (klor) düzeyleri arasında da istatistiksel olarak güçlü farklılıklar gözlenmiştir. Genel olarak, analiz sonuçları farklı su örneklerinin kimyasal özellikleri üzerinde anlamlı etkiler yarattığını ve bu etkilerin bilimsel olarak güçlü biçimde desteklendiğini göstermektedir.

Tablo 25. Farklı Su Örneklerinin KI, PI, PS, MR, SAR, RSC, Na, ve Cl Değerlerine Ait Korelasyon Katsayısı Analiz Sonuçları

	KI (meq/L)	PI (meq/L)	PS (meq/L)	MR (meq/L)	SAR (meq/l)	RSC (meq/l)	%Na
PI (meq/L)	.798**	1					
PS (meq/L)	.482**	.551**	1				
MR (meq/L)	-.049	-.149	-.315	1			
SAR (meq/l)	.964**	.843**	.595**	-.149	1		
RSC (meq/l)	.263	.223	.210	.190	.198	1	
%Na	.818**	.981**	.595**	-.196	.881**	.124	1
Cl (ppm)	.500**	.571**	.999**	-.317	.608**	.233	.610**

** ile işaretli değerler sırasıyla 0.01 ihtimal düzeyinde önemlidir (2-tailed).

Tablo 25' göre korelasyon katsayısının büyüklüğüne göre değişkenler arasındaki ilişkinin gücü farklı düzeylerde değerlendirilmektedir. Korelasyon katsayısı 0.70 ile 1.00 (veya -0.70 ile -1.00) arasında ise bu, değişkenler arasında çok güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. 0.50 ile 0.69 (ya da -0.50 ile -0.69) arasındaki katsayılar güçlü ilişkiyi, 0.30 ile 0.49 (veya -0.30 ile -0.49) arasındaki değerler ise orta düzeyde bir ilişkiyi ifade eder. 0.10 ile

0.29 (ya da -0.10 ile -0.29) aralığında yer alan korelasyon katsayıları zayıf ilişki olarak değerlendirilirken, 0.00 ile 0.09 arasındaki değerler (pozitif veya negatif yönlü) ise yok denecek kadar az ilişki olduğunu gösterir. Ayrıca, analiz sonuçlarında "***" sembolü ile gösterilen korelasyonlar, %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu, elde edilen ilişkinin tesadüfen oluşma olasılığının son derece düşük olduğunu ve güvenilir bir bulgu olarak kabul edilebileceğini ifade eder. Yapılan korelasyon analizine göre, PI, SAR, %Na ve Cl parametreleri arasında çok güçlü korelasyonlar tespit edilmiştir. Bu durum, söz konusu parametrelerin benzer çevresel koşullardan veya kimyasal süreçlerden etkilendiğini göstermektedir. Aynı kaynağa bağlı olarak birlikte artma ya da azalma eğiliminde oldukları söylenebilir. Öte yandan, MR ve RSC parametreleri genel olarak diğer değişkenlerle zayıf ilişkiler göstermekte olup, özellikle MR'nin daha bağımsız bir değişken gibi davrandığı gözlemlenmiştir. Bu durum, MR'nin diğer parametrelerden farklı bir etki mekanizmasına sahip olabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca, Cl ile PS arasında hesaplanan neredeyse birebir korelasyon ($r = 0.999$), bu iki parametrenin muhtemelen aynı kimyasal kaynaktan veya çevresel etkenden etkilendiğini düşündürmektedir. Bu denli yüksek bir ilişki, PS ve Cl'nin ortak bir sürecin göstergesi olabileceğini ortaya koymaktadır.

Tablo 26. Su örnekleri İstatistik Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
PH	30	7.789	0.193	0.035
EC	30	3.321	3.344	0.611
CL(Me/Lt)	30	18.553	17.794	3.249
Na (Me/Lt)	30	34.249	29.513	5.388
K (Me/Lt)	30	0.643	0.493	0.090
SO4 (mg/Lt)	30	5.182	1.853	0.338
CO3 me/t	30	0.358	0.579	0.106
HCO3	30	5.883	1.999	0.365
Al (ppb)	30	2695.000	1494.148	272.793
Cr (ppb)	30	278.957	516.459	94.292
Mn (ppb)	30	0.136	0.159	0.029
Fe (ppb)	30	4953.647	3582.987	654.161
Co (ppb)	30	0.065	0.123	0.022
Ni (ppb)	30	1859.159	803.860	146.764
Cu (ppb)	30	1332.768	1131.081	206.506
Zn (ppb)	28	9761.429	9443.208	1784.599
As (ppb)	30	5515.667	876.552	160.036
Mo (ppb)	30	2802.374	1304.373	238.145
Cd (ppb)	30	0.011	0.009	0.002
Hg (ppb)	30	0.015	0.042	0.008
Pb (ppb)	30	994.858	1104.719	201.693
B (ppb)	30	4436521.533	3250070.884	593379.046
Mg (ppb)	30	52582427.667	15719114.497	2869904.531

Su örneklerinde yer alan Hg (cıva) içeriği bakımından yapılan analiz sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0.05$, önemsiz). Bu durum, cıva seviyelerinin sıfırdan ya da kabul edilen referans değerlerden anlamlı şekilde farklı olmadığını göstermektedir; yani Hg seviyesi ölçümler açısından tutarlı ve düşük düzeyde seyretmektedir. Buna karşılık, diğer tüm su kalite parametreleri için yapılan analizlerde: pH, EC, Cl, Na, K, SO_4 , CO_3 , HCO_3 , Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Pb, B, Mg gibi parametrelerde, Ortalamaların sıfırdan ya da referans değerlerden anlamlı düzeyde farklı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.001$ ve $p < 0.01$). Bu, bu parametrelerin çevresel koşullar, jeolojik yapı ya da potansiyel kirlilik kaynakları nedeniyle normal aralıkların dışında olduğunu ve dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini gösterir.

Tablo 27. Su örnekleri İstatistik Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Ölçütler	T	Serbestlik derecesi	Önemlilik düzeyi (2-tailed)	Ortalama Fark	%95 Farkın Güven Aralığı	
					Alt	Üst
pH	221.471	29	0.000	7.789	7.717	7.861
EC	5.439	29	0.000	3.321	2.072	4.570
CL	5.711	29	0.000	18.553	11.909	25.198
Na	6.356	29	0.000	34.249	23.228	45.269
K	7.136	29	0.000	0.643	0.458	0.827
SO_4	15.316	29	0.000	5.182	4.490	5.874
CO_3	3.389	29	0.002	0.358	0.142	0.575
HCO_3	16.116	29	0.000	5.883	5.136	6.629
Al	9.879	29	0.000	2695.000	2137.076	3252.924
Cr	2.958	29	0.006	278.957	86.108	471.806
Mn	4.690	29	0.000	0.136	0.077	0.195
Fe	7.573	29	0.000	4953.647	3615.737	6291.556
Co	2.910	29	0.007	0.065	0.019	0.111
Ni	12.668	29	0.000	1859.159	1558.993	2159.326
Cu	6.454	29	0.000	1332.768	910.416	1755.121
Zn	5.470	27	0.000	9761.429	6099.735	13423.122
As	34.465	29	0.000	5515.667	5188.357	5842.976
Mo	11.768	29	0.000	2802.374	2315.313	3289.435
Cd	6.780	29	0.000	0.011	0.008	0.014
Hg	1.913	29	0.066	0.015	-0.001	0.030
Pb	4.933	29	0.000	994.858	582.349	1407.367
B	7.477	29	0.000	4436521.533	3222925.120	5650117.946
Mg	18.322	29	0.000	52582427.667	46712813.849	58452041.484

Tablo 27'e göre;

Bu çalışma, su örneklerinin kimyasal parametrelerinin sıfır değerinden anlamlı şekilde farklı olup olmadığını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bunun için tek örnek t-testi kullanılmıştır. Hg (cıva) içeriği bakımından yapılan istatistiksel analiz sonucunda fark önemsiz ($p > 0.05$, ns) bulunmuştur. Diğer tüm su kalite parametreleri (pH, EC, Cl, Na, K, SO_4 , CO_3 , HCO_3 , Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Pb, B, Mg) açısından değerlendirildiğinde ise, ortalamaların sıfırdan anlamlı düzeyde farklı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.001$ ve $p < 0.01$ düzeyinde önemli). Özellikle As, B, Mg, Fe ve Zn gibi bazı elementlerde yüksek t değerleri ve dar güven aralıkları bu farkın istatistiksel olarak oldukça güçlü olduğunu göstermektedir. PH değeri ortalama 7.79 bulunarak, suyun nötr karakterde olduğu gösterilmiştir. Elektriksel iletkenlik (EC) değerinin ölçülmesi, suda çözünmüş iyonların bulunduğunu ortaya koymuştur. Na (Sodyum), Cl (Klorür), K (Potasyum) gibi ana katyon ve anyonlar anlamlı miktarda tespit edilmiştir. SO_4 (Sülfat) ve HCO_3 (Bikarbonat) iyonlarının seviyeleri, suyun hafif alkaline karakter gösterdiğine işaret etmektedir. CO_3 (Karbonat) seviyesi düşük bulunmuştur ancak istatistiksel olarak anlamlıdır. Ağır metaller (özellikle Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Pb) anlamlı derecede yüksek çıkmıştır.

Tablo 26. Su Örneklerinin Bazı Özellikleri Arasındaki Korelasyon Etkisi ¹

	PH	EC	CL(me/Lt)	Na (me/Lt)	K (me/Lt)	SO4 (mg/Lt)	CO3 (me/t)	HCO3	Al (ppb)	Cr (ppb)	Mn (ppb)	Fe (ppb)	Co (ppb)	Ni (ppb)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	As (ppb)	Mo (ppb)	Cd (ppb)	Hg (ppb)	Pb (ppb)	B (ppm)	Ca (meq/L)
EC	.004	1																					
CL(me/Lt)	.101	.898**	1																				
Na (me/Lt)	.239	.505**	.682**	1																			
K (me/Lt)	.083	.704**	.804**	.688**	1																		
SO4 (mg/Lt)	.028	.174	-.059	-.170	.043	1																	
CO3 (me/t)	-.175	.062	.103	.233	.118	-.375*	1																
HCO3	-.156	-.366*	-.246	-.017	-.011	-.187	.224	1															
Al (ppb)	.091	-.112	-.057	.019	.094	.056	.117	.014	1														
Cr (ppb)	-.065	-.022	.102	.303	.281	-.176	.436*	.356	.123	1													
Mn (ppb)	.098	-.366*	-.313	-.318	-.180	.207	-.266	-.024	.429*	-.011	1												
Fe (ppb)	.290	-.205	-.193	-.134	-.043	.255	-.068	-.018	.755**	.119	.653**	1											
Co (ppb)	-.265	.017	.055	-.064	.210	.249	-.125	.123	-.109	-.134	.359	-.056	1										
Ni (ppb)	.108	-.139	-.014	.081	.175	-.181	-.131	-.071	.228	.096	.315	.104	.255	1									
Cu (ppb)	.214	-.337	-.360	-.284	-.425*	-.105	.134	-.130	.410*	-.046	.408*	.327	-.210	.243	1								
Zn (ppb)	.349	-.273	-.171	-.012	-.203	.082	-.106	-.136	.050	.061	.265	.250	.074	.253	.399*	1							
As (ppb)	-.226	-.062	-.252	.000	-.127	.254	.170	-.027	-.050	.153	.042	.215	.123	-.148	-.126	.049	1						
Mo (ppb)	-.292	.192	.018	.159	-.064	.017	.252	.010	-.087	.483**	-.225	-.036	-.393*	-.192	.058	-.053	.554**	1					
Cd (ppb)	.228	-.120	-.203	-.286	-.221	.161	-.001	-.319	.439*	-.053	.486**	.421*	-.163	.225	.776**	.350	.002	.129	1				
Hg (ppb)	.366*	.086	.058	.111	.183	.124	.000	-.380*	.271	-.093	.263	.326	-.051	.303	.101	-.119	.216	-.151	.331	1			
Pb (ppb)	.139	-.061	.003	.023	.123	.334	-.051	.147	.170	.285	.208	.352	.161	.202	.119	.473**	-.149	-.097	-.005	-.116	1		
B (ppm)	.102	.103	-.044	-.010	.196	.632**	-.121	-.151	.223	-.033	.332	.454*	.216	-.180	-.138	-.099	.530**	.072	.255	.502**	-.124	1	
Ca (meq/L)	.117	.446*	.364*	.231	.276	.349	.027	-.320	-.111	-.002	-.114	.016	.319	-.083	-.254	.302	.246	.138	.071	-.099	.110	.332	1
Mg (ppm)	.018	.132	-.021	-.034	.195	.642**	-.088	-.107	.199	.044	.314	.412*	.274	-.240	-.140	-.072	.550**	.145	.262	.366*	-.111	.974**	.413*

* ve ** ile işaretli değerler sırasıyla 0.05 ve 0.01 ihtimal düzeyinde önemlidir (2-tailed).

Tablo 25’te yer alan korelasyon katsayıları, su örneklerinde bulunan çeşitli parametreler arasındaki ilişkinin yönü ve gücünü göstermektedir. Korelasyon katsayısının büyüklüğüne göre, (0.70 ile 1.00) veya (-0.70 ile -1.00) arasında olan değerler değişkenler arasında çok güçlü bir ilişkiye işaret ederken, (0.50 ile 0.69) veya (-0.50 ile -0.69) arasındaki değerler güçlü ilişkiyi, (0.30 ile 0.49) veya (-0.30 ile -0.49) aralığı orta düzey ilişkiyi ifade etmektedir. (0.10 ile 0.29) veya (-0.10 ile -0.29) arasındaki korelasyonlar zayıf ilişki olarak değerlendirilirken, 0.00 ile 0.09 arasındaki değerler ise ilişki olmadığını göstermektedir. Ayrıca, analizde “***” ile işaretlenen korelasyonlar %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu da söz konusu ilişkilerin tesadüfi olma olasılığının çok düşük olduğunu göstermektedir.

Korelasyon analizi sonuçlarına göre, elektriksel iletkenlik (EC), klorür (Cl), sodyum (Na) ve potasyum (K) parametreleri arasında çok güçlü pozitif ilişkiler gözlenmiştir. Özellikle EC ile Cl ($r = 0.898^{**}$), Cl ile K ($r = 0.804^{**}$), Na ile Cl ($r = 0.682^{**}$) ve EC ile K ($r = 0.704^{**}$) arasındaki korelasyonlar, bu iyonların ortak kaynaklardan beslendiğini veya benzer çevresel ve kimyasal süreçlerin etkisi altında olduğunu göstermektedir. Bu durum, suyun iyonik bileşiminin belirli gruplar halinde hareket ettiğine işaret etmektedir.

Buna karşın, sülfat (SO_4) ile diğer temel iyonlar arasında genel olarak düşük veya zayıf korelasyonlar tespit edilmiştir. Bu durum, SO_4 ’ün diğer iyonlardan farklı bir kaynaktan veya mekanizmadan suya katıldığını düşündürmektedir. Karbonat (CO_3) ve bikarbonat (HCO_3) arasındaki pozitif ilişki ($r = 0.224$), karbonat sisteminin su kimyasındaki doğal dengeyi yansıttığını ortaya koymaktadır.

Ağır metaller açısından, demir (Fe) ile alüminyum (Al) ve mangan (Mn) arasında güçlü pozitif korelasyonlar mevcuttur (Fe-Al: $r = 0.755^{**}$, Fe-Mn: $r = 0.653^{**}$). Bu durum, bu elementlerin birlikte hareket ettiğini veya benzer jeokimyasal süreçlerin etkisi altında olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kobalt (Co), nikel (Ni), molibden (Mo), kadmiyum (Cd) ve bakır (Cu) gibi iz elementler arasında da çeşitli düzeylerde pozitif korelasyonlar saptanmıştır. Bununla birlikte, potasyum (K) ile bakır (Cu) arasında anlamlı negatif bir korelasyon ($r = -0.425^*$) bulunması, bu elementlerin farklı kaynaklardan geldiğini veya su ortamında farklı kimyasal davranışlar sergilediğini göstermektedir. Benzer şekilde, cıva (Hg) ile bikarbonat (HCO_3) arasında zayıf negatif korelasyon gözlenmiş olup, bu da Hg’nin diğer parametrelerden bağımsız bir etki mekanizmasına sahip olabileceğini göstermektedir. Son olarak, bor (B) ile sülfat (SO_4) ve magnezyum (Mg) arasındaki pozitif korelasyonlar, bu elementlerin ortak çevresel veya kimyasal kaynaklardan etkilendiğini göstermektedir. Kalsiyum (Ca) ise elektriksel iletkenlik (EC) ve klorür (Cl) ile pozitif ilişki içinde olup, suyun sertlik ve iyonik yapısının önemli belirleyicilerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Erzurum ili Pasinler ilçesi Hasankale çayı üzerinde yürütülen tarımsal su kalitesi çalışmasında 2 bölgeye ayrılmış olan kaynak sularından tarımsal faaliyetlerde kullanılan sulama suyu, Hasankale çayında serbest akan ve çalışma sınırları içerisinde bulunan kaplıca otellerinin kuyu suyu parametrelerine bakılarak tarımsal alanlara etkisi araştırılan de 500 mt ve 8 km aralığında alınan su örneklerinde pH değeri hafif alkalın düzeyde olup ortalama 7.789'dir. EC (tuz) içeriği az olup ortalama 3.321 dS m^{-1} dir. Cl (me/l) klor içeriği çok fazla olup ortalama 18.553 (me/l) tır ve IV sınıf su olarak değerlendirilmektedir. Tarımsal açıdan (me/l) birimine özgü yapılan sınıflama da çoğunlukla şüpheli ve (ppm) birimlerine özgü yapılan değerlendirilmelerde birimine özgü yapılan sınıflama da çoğunlukla sulamada kullanıma uygun değildir olarak değerlendirilmektedir. Na (sodyum) içeriği ortalama 34.25 dir ve IV sınıf su olarak değerlendirmektedir. %Na ortalama değeri 67,15837764 (me/l) olup tarımsal açıdan değerlendirildiğinde çoğunlukla uygun olmayan sınıfta değerlendirilmektedir. K (potasyum) değeri ortalama 0.643 (me/l). Sulama sularında potasyum ile ilgili belirgin sınır değerlere rastlanmamaktadır. Sulama sularındaki potasyum zenginliği potasyum eksikliği yaşayan topraklarda kullanımında gübre etkisi yapacağı için olumlu bir sonuçtur. SO_4^{2-} (Sülfat) değeri ortalama 0,11 me/l) 5.18 (me/l) olup kirlilik sınır değerlerine göre IV sınıf su olarak değerlendirilirken tarımsal açıdan çoğunlukla mükemmel sınıfta değerlendirilmektedir. CO_3^{2-} (Karbonat) değeri ortalama 0.358 (me/l) olup kirlilik sınır değerlerine göre I sınıf su olarak değerlendirilmektedir. Tarımsal açıdan ise RSC (atık karbonat) değerlerini etkilemektedir. HCO_3 (Bikarbonat) değeri ortalama 5.88 (me/l) olup Kirlilik sınır değerlerine göre II sınıf su gurubunda değerlendirilmektedir. Tarımsal açıdan ise RSC (atık karbonat) değerlerini etkilemektedir. Mg (magnezyum) ortalama 52,58 (ppb) olup numune sonuçlarının hepsi IV sınıf su olarak değerlendirilmektedir. B (bor) değeri ortalama 4,45 (ppm) olup su örneklerinin Sürekli ve Kısa dönem sulama uygunluğuna göre uygun olmadığı tespit edilmiştir. Tarımsal açıdan değerlendirildiğinde de hassas, orta hassas ve dayanıklı bitkiler olarak yapılan gruplamalardan hiçbiri için güvenli olmadığı tespit edilmiştir. EC değerleri ortalama 2125,44 (ppm) olup Tarımsal açıdan California tuzluluk sınıflaması sınır değerlerine göre çoğunlukla zararlı olarak değerlendirilmiştir. EC değerleri ortalama $3,32 \text{ (dS m}^{-1}\text{)}$ olup Tarımsal açıdan ABD tuzluluk laboratuvarı tuzluluk sınıflaması (USSL) göre çok yüksek (C4) olarak değerlendirilmiştir. SAR değerleri ortalama 15,05 (me/l) olup Tarımsal açıdan çoğunlukla S4 Çok Yüksek sodyumlu su olarak değerlendirilmiştir. RSC değerleri ortalama 1,69 (meq/l) olup

Tarımsal açıdan çoğunlukla kullanılmaz olarak değerlendirilmektedir. KI indeksi ortalama olarak 8,89 (meq/l) olup tarımsal açıdan değerlendirildiğinde çoğunlukla uygun olmayan sınıfında değerlendirilmektedir. PI indeksinin ortalama değeri 77,15 (me/l) olup tarımsal açıdan değerlendirildiğinde sonuçların hepsinin uygun sınıfında değerlendirildiği tespit edilmiştir. PS indeksinin ortalama 21,14 (me/l) olup tarımsal açıdan çoğunlukla önerilmez sınıfında değerlendirilmektedir. MR indeksinin ortalama değeri 50,18 (me/l) olup tarımsal açıdan değerlendirildiğinde çoğunlukla uygun sınıfına girmektedir. P (kurşun) ortalama değeri 0.995 (ppb) dir ve baz alınan sınır değerlere uymaktadır. Hg (civa) değeri ortalama 0.015 (ppb) olarak tespit edilmiştir ve sınır değerlere uygun değildir. Cd (krom) değeri ortalama 0.011 (ppb) olarak tespit edilmiştir ve sınır değerlere uygundur. Mo (molibden) değeri ortalama olarak 2.802 (ppb) olarak tespit edilmiştir ve sınır değerlere uygun değildir. As (arsenik) değeri ortalama 5.517 (ppb) olarak tespit edilmiştir ve sınır değerlere uygun değildir.

Su örneklerinin pH içeriklerinin %96,80'i Hafif alkalin, %3,20'si Nötr karakterli olarak tespit edilmiştir. Su örneklerinin EC içeriklerinin %0,93'ü I sınıf su, %10,79'zu II sınıf su ve geriye kalan %87,5'si de III sınıf su gurubuna girmektedir. Su örneklerinin EC California tuzluluk sınıfı içeriklerinin %6,77 si iyi ve 93,23 zararlı sınıfına girmektedir. Su örneklerinin EC ABD tuzluluk laboratuvarı tuzluluk sınıflaması dağılımı %90,52 çok yüksek ve %9,48 çok yüksek olarak sınıfına girmektedir. Su örneklerinin Klor içeriklerinin %17'i II, %4'ü III sınıf %93,5'i IV sınıfına girmektedir. Su örneklerinin Na içeriğinin %0,04'dü I sınıf, %1,37'si II sınıf, %98,59'zu IV sınıf su gurubuna girmektedir. Su örneklerinin Sülfat içeriklerinin %2,17'si III sınıf %97,83'IV sınıf su gurubuna girmektedir. Su örneklerinin CO₃ (Karbonat) içeriklerinin Toprak %100'ü I sınıf su gurubuna girmektedir. Su örneklerinin HCO₃ (Bikarbonat) içeriğinin %19,1'i I sınıf, %59,62'i II sınıf, %15,16'sı III sınıf ve %6,12'si I V sınıf su olarak değerlendirilmektedir. Su örneklerinin içeriğinin %66,68 'zi S4 çok yüksek sodyumlu su , %15,02 'si S3 yüksek sodyumlu, %9,14 S2 orta sodyumlu su ve %9,17 si de S1 az sodyumlu su olarak değerlendirilmiştir. Su örneklerinin RSC içeriğinin %68,76 'sı kullanılamaz, %10,09 ıslah maddeleri ile kullanılabilir ve %21,15 de güvenle kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir. Su örneklerinin KI (me/l) indeksinin içeriğinin %98,60 'sı uygun olmayan %1,4 ise uygun olarak değerlendirilmiştir. Su örneklerinin PI (me/l) indeksinin içeriğinin %100 uygun olarak değerlendirilmiştir. Su örneklerinin PS (me/l) indeksinin içeriğinin %86,64 önerilmez %13,36 s1 da orta olarak değerlendirilmiştir. Su örneklerinin MR (me/l) indeksinin %100 uygun olarak değerlendirilmiştir. Su örneklerinin CL (ppb) içeriğinin %93,71 si sulamada kullanıma uygun olmayan %1,94 Hassas ve orta hassas mahsullere zarar verebilir %4,35 ise hassas mahsuller üzerinde zararlı etkileri olabilir olarak değerlendirilmektedir. Su örneklerinin (meq/l) içeriğinin %90,84 dü şüpheli %6,29 zu izin verilebilir ve %2,87 si iyi olarak değerlendirilmiştir.

Su örneklerinin SO_4^{2-} (meq/l) içeriğinin %100 mükemmel olarak değerlendirilmiştir. Su örneklerinin %Na içeriğinin %80,06 uygun olmayan %7,85 Şüpheli %2,34 mükemmel%2,01'in verilebilir ve %7,74 de iyi olarak değerlendirilmiştir. Su örneklerinin Al (Alüminyum) içeriklerinin %72,22'si (Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere) %27,78'i (Kısa dönemli kullanım (mg/L), (Division vd., 2004) sulama sınıfına uygundur. Su örneklerinin Cr (Krom) içeriğinin %12,48 (Kısa dönemli kullanım (mg/l), (Division vd., 2004) sulama sınıfına %0,12 'si (Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere) ve geriye kalan %87,41 kısmı ise her iki sulama sınıfına da uygun değildir. Su örneklerinin Zn (çinko) içeriğinin %3,5 (Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere) geriye kalan Su örneklerinin %96,5'si ise (Kısa dönemli kullanım (mg/l), (Division vd., 2004) sulama frekansına uygundur. Su örneklerinin Mn (mangan) içeriklerinin hepsi sulamaya her dönemde uygun olduğu tespit edilmiştir. Su örneklerinin B (bor) içerikleri Her iki sulama süresi ve alanına da uygun değildir. (Kısa dönemli kullanım (mg/l), (Division vd., 2004) her iki sulama dönemine de uygun düzeylerde. Su örneklerinin Fe (demir) içeriklerinin %32,85'si Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere), %67,15'si ve (Kısa dönemli kullanım (mg/l), (Division vd., 2004) sınıflarına uygun düzeydedir. Su örneklerinin Co (Kobalt) içeriğinin hepsi (Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere) (Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere) sulama sürelerine uygundur. Su örneklerinin Ni (Nikel) içeriklerinin %43,62'si (Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere) uygun olup geriye kalan %56,38'zi de (Kısa dönemli kullanım (mg/l), (Division vd., 2004) sulama sürelerine uygundur. Su örneklerinin Cu (Bakır) içeriklerinin %99,6'sı (Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere) sulama sürelerine geriye kalan %0,04'dü ise (Kısa dönemli kullanım (mg/l), (Division vd., 2004). Su örneklerinin Zn (çinko) içeriklerinin %3,50'si (Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerlere) sulama sürelerine geriye kalan %96,50'si ise (Kısa dönemli kullanım (mg/l), (Division vd., 2004) sulama sürelerine uygundur. Su örneklerinin As (Arsenik) içerikleri her iki sulama süresi ve alanına uymamaktadır. Su içeriklerinin Mo (molibden) içerikleri her iki sulama süresi ve kullanım alanına da uygun değildir. Su örneklerinin Cd (kadminyum) içerikleri her iki sulama süresi ve kullanım alanına uygundur. Su örneklerinin Hg (civa) içeriklerinin herhangi bir sınır değeri yoktur tespit edilmiş olması söz konusu olan sular ve bu suların kullanıldığı tarımsal alanlar açısından büyük risk oluşturmaktadır. Su örneklerinin Pb (kurşun) içerikleri her iki sulama süresi ve alanına uygundur. Su örneklerinin B (bor) içerikleri Her iki sulama süresi ve alanına da uygun değildir. Su örneklerinin Mg (magnezyum) içeriklerinin %100 IV su sınıfına girmektedir.

Araştırma bölgesindeki 3 farklı bölgeden tekerrürlü olarak alınan örneklerde yapılan araştırmada 3 farklı su kolundaki suların kimyasal karakterlerinin birbirinden çok farklı olmadığı tespit edilmiştir. Mazgal girişi olarak isimlendirilen nokta Hasankale çayının Pasinler ilçesine giriş yaptığı noktadır. Bu örneğin içerik değerlerine baktığımızda söz konusu olan kirlilik etmenleri 8km alanda aralarında iki kola ayrılan sulama suyu olarak kullanılan kol ile Hasankale deresinden serbest akıp Aras nehrine kadar uzanan kol arasında da ciddi farklar olmadığı tespit edilmiştir.

Genel olarak değerlendirdiğimizde su örneklerinin As (arsenik) sonuçları uygun olmayıp sularda bulunan Arsenik, bitki kökleri tarafından kolayca alınabilir ve yapraklar, meyveler ve taneler gibi yenilebilir kısımlarında birikebilen bir ağır metaldir. Bu birikim, bitkinin türüne, arseniğin konsantrasyonuna, bölgedeki toprağın yapısına ve çevresel şartlara göre değişiklik gösterebilmektedir. Yüksek arsenik konsantrasyonları bitkilerin büyümesini engeller, fotosentezi azaltır, kök gelişimini etkileyerek verimde düşüş sağlayabilir. Arsenik, bitkilerin başta fosfor olmak üzere Demir (Fe), Çinko (Zn) gibi bazı temel besin elementlerini alınabilirliğini engeller. Arsenik ile kontamine olmuş sulama sularının uzun süre arseniğin toprakta birikmesine neden olabilir. Toprağın sağlıklı işleyişi için önemli olan mikroorganizma popülasyonlarını olumsuz etkileyebilir. Bu birikme yetiştirilecek olan bitkiler de risk oluşturur. Arsenik stresine maruz kalan bitkiler, hastalıklara ve zararlılara karşı daha savunmasız bir durumla karşılaşabilir. Ürünlerin besin değerini düşürerek tüketicin sağlığında risk oluşturabilir. Arsenik bulaşmış sulama suları ile yetiştirilen bitkilerin tüketilmesi yoluyla da insanların sağlığında olumsuz etkiler sağlar.

Genel olarak değerlendirdiğimizde su örneklerinin Mo (molibden) sonuçları uygun olmayıp Sulama sularında molibden (Mo) fazlalığı söz konusudur, molibden fazlalığı bitkiler ve hayvanlar üzerinde farklı zararlı etkilere sebep olabilir. Bu zararlar, molibdenin konsantrasyonuna, bitki türüne, toprak özelliklerine ve hayvan türüne göre değişiklik göstermektedir. Yüksek konsantrasyonlarda molibden, bitkilere zarar veren etkiler gösterebilir. Bu etkiler arasında büyüme geriliği, yaprak deformasyonları (örneğin, kıvrılma, kloroz), çiçeklenme ve meyve tutumunda azalma yer alabilir. Bitkisel ürünlerin kalitesini düşürebilir. Molibden fazlalığı, bitkiler için faydalı olan demir (Fe) ve bakır (Cu) alımını engelleyebilir. Bu durum, bakır ve demir eksikliği belirtilerine yol açabilir. Bazı bitkiler yüksek molibden konsantrasyonlarını tolere edebilirken, diğerleri düşük seviyelerde bile zarar görebilir. Hayvanlar, molibdenle zenginleşmiş bitkileri tükettiklerinde molibden fazlalığına maruz kalabilirler. Bu durum özellikle otlayan hayvanlar (sığır, koyun vb.) için önemlidir. İnsanlar için doğrudan sulama suyu yoluyla molibden fazlalığı riski düşüktür. Ancak, molibdenle

zenginleşmiş bitkisel ve hayvansal ürünlerin uzun süreli tüketimi yoluyla dolaylı maruziyet söz konusu olabilir.

Genel olarak değerlendirdiğimizde su örneklerinde Hg (cıva) tespit edilmiştir. Sulama sularında cıva bulunmasının ciddi zararları söz konusudur. Bitkilerin kökleri tarafından emilebilir ve yapraklar, gövdeler, meyveler ve taneler gibi yenilebilir kısımlarında birikebilir. Bu birikim, bitki türüne, cıva konsantrasyonuna, toprağın özelliklerine ve çevresel faktörlere göre göre gösterir. Özellikle yapraklı sebzeler ve pirinç gibi bazı bitkilerde cıva birikimi daha fazla olabilir. Yüksek cıva konsantrasyonları bitkilerin büyümesini engelleyebilir, fotosentezi azaltabilir, kök gelişimini olumsuz etkileyebilir ve genel verimde düşüşe neden olabilmektedir. Cıva, bitkilerdeki çeşitli önemli enzimleri inhibe ederek metabolik süreçleri olumsuz etkileyebilir. Cıva, bitki köklerinin su ve diğer besin elementlerini alımını olumsuz etkileyebilir. Sulama sularındaki cıva, doğrudan spesifik birincil bitki besin elementinin alımını hedef alan bir mekanizmaya sahip olmamakla birlikte, genel toksik etkileri, kök hasarı, membran taşıma sistemlerinin bozulması, enzim inhibisyonu ve toprak mikroorganizmalarına olan zararlı etkileri yoluyla bitkilerin genel besin alımını ciddi şekilde engelleyebilir. Cıva, sulama sularıyla toprağa taşınır ve zamanla toprakta birikebilir. Bu birikim, toprağın kalitesini bozar ve gelecekte yetiştirilecek bitkiler için de risk oluşturur. Cıva, topraktan sızarak yeraltı sularını kirletebilir ve bu suların içme suyu veya diğer amaçlarla kullanımını tehlikeli hale getirebilir. Sanayi ve diğer potansiyel cıva kaynaklarının atık deşarjlarının titiz bir şekilde denetlenerek arıtılması şarttır.

Genel olarak değerlendirdiğimizde sulama sularındaki mevcut yüksek tuz konsantrasyonu, tarımsal üretim aşamalarında önemli riskler oluşturabilmektedir. Tuzun fazla olması, bitki eşitlerinin su alım kapasitesini azaltıp osmotik stres oluşturabilir ve bu durum bitki gelişimine olumsuz bir sürece koyarak verim kayıplarına neden olabilmektedir (Munns 2002). Bazı fiziksel değişimler kök gelişimini engelleyerek suyun toprakta etkin bir şekilde tutulmasını zorlaştırmaktadır. Uzun süreli tuzlu su kullanımı, toprakta tuz birikimini artırır ve tuzluluk stresinin kalıcı hale gelmesi ile tarım alanlarının verimsizleşmesine neden olmaktadır (Ayers & Westcot 1985). Bu bağlamda, sulama suyunun tuz seviyelerinin düzenli olarak izlenmesi ve uygun sulama tekniklerinin uygulanması, tarımsal sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

Genel olarak değerlendirdiğimizde sulama suyu yüksek RSC (Residual Sodium Carbonate) değerleri, toprak Sodyum oranının yüksekliğine yol açarak çeşitli olumsuz etkiler ortaya çıkarır. Fazla miktardaki sodyum iyonları, toprak parçacıklarının yüzeyine tutunarak agregatların dağılmasına ve dolayısı ile toprak yapısının bozulmasına neden olur (Richards,

1954). Bu yapısal yöndeki bozulma, toprağın su geçirgenliğini azaltıp hava dolaşımını engeller; bu da kök gelişimini sınırlandırarak bitkilerin su ile besin maddelerini almasını zorlaştırır (Ayers & Westcot 1985). Ayrıca, yüksek RSC içeren sulama suları, toprakta karbonat ve bikarbonat birikimine neden olarak alkaliniteyi artırır ve pH değerinin yükselmesine yol açar (Tanji 1990). Topraktaki artan Sodyum oranının yüksekliği ve Alkalinite seviyesi, bitkilerin besin alımını engelleyerek beslenme bozuklukları ve toksik etkiler oluşturabilir (Katerji et al 2005). Bu nedenlerle, yüksek RSC değerine sahip sulama sularının sürekli kullanımı, toprak verimliliğinin azalmasına ve tarımsal üretimde kayıplara yol açabilir. Bu bağlamda, sulama suyunun RSC düzeylerinin düzenli olarak izlenmesi ve uygun sulama yöntemlerinin benimsenmesi önem taşımaktadır.

Genel olarak değerlendirdiğimizde sulama suyundaki Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) değerinin yüksek olması, toprak sağlığı ve bitki gelişimi açısından önemli sorunlar doğurabilir. SAR, sulama suyundaki sodyum iyonlarının kalsiyum ve magnezyum iyonlarına oranını gösterir ve suyun sodyum oranının yüksekliğini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Ayers & Westcot 1985). Yüksek SAR değerleri, toprakta sodyumun birikmesine yol açarak toprak partiküllerinin yapısal bozulmasına neden olur; bu da toprak geçirgenliğinin azalması, su tutma kapasitesinin düşmesi ve kök gelişiminin engellenmesi gibi problemlere zemin hazırlar (Richards 1954). Ayrıca, sodyum oranının yüksekliğinin artması toprakta sertleşme ve kabarma gibi fiziksel sorunlara sebep olabilir ve bitkilerin su ile besin alımını zorlaştırır (Keren & Shainberg, 1998). Bu nedenlerle, sulama suyunun SAR değerinin izlenmesi ve gerekirse uygun sulama yöntemlerinin kullanılması, tarımsal verimliliğin korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

Genel olarak değerlendirdiğimizde sulama suyunda Kelly İndeksi (KI) değerinin yüksek olması, suyun sodyum oranının yüksekliğini arttığını ve dolayısıyla toprak sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini gösterir. KI, sulama suyundaki sodyum iyonlarının kalsiyum ve magnezyum iyonlarına oranını belirtir ve bu oran sulama suyunun sodyum oranının yüksekliğini değerlendirmede kullanılır (Kelly 1963). KI değerı 1'den büyük olduğunda, sulama suyu sodyum oranının yüksekliği olarak kabul edilir ve bu durum uzun vadede toprak yapısının bozulmasına neden olabilir (Richards 1954). Yüksek KI değerleri, sodyum iyonlarının toprak parçacıklarına bağlanarak toprak agregalarının dağılmasına, geçirgenliğin azalmasına ve suyun kök bölgesine ulaşmasının zorlaşmasına yol açar. Sonuç olarak, bitkilerin su ve besin alımı kısıtlanarak verim kayıpları yaşanabilir. Bu nedenle, sulama sularında KI değerinin kontrol altında tutulması ve gerekirse tuz yönetimi stratejilerinin uygulanması tarımsal sürdürülebilirlik açısından önem taşır.

Genel olarak değerlendirdiğimizde sulama suyunda Permeability Index (PI) değerinin yüksek olması, suyun toprak geğirgenliği üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğine işaret eder. Yüksek PI değerleri, özellikle suyun sodyum oranının yksekliliğinin artması anlamına gelir ve bu durum toprak yapısında bozulmalara neden olabilir. Sodyum iyonlarının fazla olması, toprak agregalarının dağılmasına yol açarak toprak gözenekliliğinin azalmasına ve suyun kök bölgesine ulaşmasının zorlaşmasına sebep olur (Richards 1954). Böylece, bitkilerin su ve besin alımı kısıtlanarak gelişim ve verim üzerinde olumsuz etkiler ortaya ęıkar. Bu nedenle, sulama suyundaki PI değerinin kontrol edilmesi ve uygun sulama yönetimi uygulamaları, tarımsal verimliliğin sürdürülebilirliği için önemlidir.

Genel olarak değerlendirdiğimizde sulama suyunda PS indeksinin yüksek olması, sodyum iyonlarının potasyuma oranla fazla olduğunu ve bunun toprak yapısı ile bitki sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini gösterir. Yüksek sodyum içeriği, toprakta sodyum oranının yksekliliğinin sorunlarına yol açarak toprak partiküllerinin yapısını bozar, su geğirgenliğini azaltır ve kök gelişimini olumsuz etkiler (Richards 1954). Aynı zamanda, potasyum bitkiler için önemli bir makro besin elementi olmakla birlikte, sodyumun fazla olması potasyum alımını engelleyebilir ve beslenme dengesizliklerine sebep olabilir (Yıldız ve Aydemir 2003). Bu durum bitkilerde büyüme gerilemesine ve verim kayıplarına neden olur. Dolayısıyla, sulama suyunda PS indeksinin yüksek olması, su kalitesi açısından riskli bir durum olarak değerlendirilir ve düzenli kontrol edilmesi önemlidir.

Genel olarak değerlendirdiğimizde sulama suyundaki MR indeksinin yüksek olması, suyun magnezyum açısından zengin olduğunu gösterir. Bu durum, topraktaki kalsiyum-magnezyum dengesini bozabilir ve toprak yapısının bozulmasına sebep olabilir (Richards 1954). Toprak yapısının bozulması, suyun toprakta tutulmasını zorlaştırarak bitki köklerinin gelişimini olumsuz etkiler. Ayrıca, yüksek magnezyum konsantrasyonu bitkilerde besin dengesizliğine yol açabilir ve verim kayıplarına neden olabilir (Ayers & Westcot 1985). Bu yüzden sulama suyunda MR indeksinin izlenmesi ve uygun sulama tekniklerinin uygulanması önem taşır.

Genel olarak değerlendirdiğimizde sulama suyunda %Na, yani yüzdesel sodyum oranı, sulama suyundaki sodyum iyonlarının toplam katyonlar içerisindeki oranını ifade eder ve suyun toprakta sodyum oranının yksekliliğini belirlemede kullanılır (Ayers ve Westcot 1985). Sulama suyunda %Na'nın yüksek olması, suyun sodyum oranının arttığını ve toprak yapısında bozulmalara yol açabileceğini gösterir. Yüksek sodyum içeriği toprak parçacıklarının yapısını zayıflatarak geğirgenliği azaltır, kök gelişimini olumsuz etkiler ve bitkilerin su ile besin alımını engeller (Richards 1954). Genel olarak, %Na değeri %60'ın üzerinde olan sulama suları, toprak

sağlığı açısından risklidir ve bu suların kullanımı kontrollü sulama yönetimi gerektirir. Bu nedenle, sulama suyundaki %Na oranının düzenli olarak izlenmesi önemlidir.

Su örneklerinin analizinde, örneklerin %87,41'inin krom açısından sınır değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum, çevresel ve tarımsal açıdan çeşitli riskleri beraberinde getirmektedir. Krom elementi, bitkiler tarafından özellikle kökler aracılığıyla alınabilir ve bitkinin yaprak, gövde, meyve ile tohum gibi yenilebilir organlarında birikme potansiyeline sahiptir. Bu birikim düzeyi; bitki türü, kromun ortamdaki derişimi, toprak karakteristikleri ve çevresel faktörler gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bazı bitki türleri, kromu diğerlerine kıyasla daha yüksek oranda absorbe etme eğilimindedir. Yüksek düzeyde krom birikimi, bitki gelişimini olumsuz etkileyerek kök ve gövde formasyonunu bozabilir, biyokütle üretimini düşürebilir ve genel tarımsal verim üzerinde azaltıcı etkiler yaratabilir. Ayrıca krom, fotosentez ve solunum gibi hayati fizyolojik mekanizmaları da sekteye uğratabilir; klorofil biyosentezinde azalmaya ve gaz alışverişi süreçlerinde bozulmalara neden olabilir. Bunun yanı sıra, krom varlığı, bitkilerin demir, manganez ve fosfor gibi temel besin elementlerini almasını engelleyebilir ya da bu elementlerin alım dengesini bozarak çeşitli besin eksikliği semptomlarının ortaya çıkmasına yol açabilir. Kromun, bitki bünyesindeki belirli enzimatik aktiviteleri inhibe etmesi, metabolik süreçlerde aksamalar meydana getirebilir. Yüksek krom yoğunluğu, bitkilerde oksidatif stresin oluşmasına neden olarak hücre düzeyinde yapısal zararlar oluşturabilir ve genel bitki sağlığını olumsuz etkileyebilir. İnsan sağlığı açısından da krom, dolaylı biçimde dermatolojik rahatsızlıklar ile birlikte kanserojen etkilere neden olabilmektedir. Sulama suyu yoluyla tarım topraklarına taşınan krom, zaman içerisinde toprakta birikerek hem toprak kalitesini düşürmekte hem de gelecekte bu alanlarda yetiştirilecek bitkiler açısından risk faktörü oluşturmaktadır. Ayrıca toprakta yaşayan mikroorganizmalara zarar verebilir ve yeraltı sularına karışarak hem insan sağlığı hem de sucul ekosistemler için ciddi tehditler oluşturabilir. Bu nedenlerle, krom kirliliğinin önlenmesi ve etkilerinin azaltılmasına yönelik etkili yönetim politikalarının hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Sulama sularında magnezyum (Mg) içeriği %100 IV su sınıfına girmektedir. Magnezyum fazlalığı genellikle diğer katyonlar (kalsiyum, sodyum) ile olan dengesi bozulduğunda ve belirli koşullar altında risk oluşturabilir. Yüksek magnezyum konsantrasyonları, bitkiler ve toprak üzerindeki etkileri bakımından kalsiyum fazlalığı ile karşılaştırıldığında genellikle daha sınırlı düzeyde olumsuzluk yaratmaktadır. Bununla birlikte, bu durumun tamamen zararsız olduğu söylenemez; zira dikkate alınması gereken çeşitli potansiyel risk faktörleri söz konusudur: Yüksek magnezyum seviyeleri, özellikle kalsiyum

(Ca) ve potasyum (K) alımını engelleyebilir veya rekabet edebilir. Bu durum, bitkilerde kalsiyum ve potasyum eksikliği belirtilerine (yaprak kıvrılması, nekroz, zayıf gövde vb.) yol açabilir. Topraktaki Ca/Mg oranı bitki sağlığı için önemlidir ve bu oranın bozulması sorunlara neden olabilir. Yüksek magnezyum içeren sular, özellikle sodyum (Na) da yüksekse, toprak kolloidlerinin dağılmasına ve toprak yapısının bozulmasına katkıda bulunabilir. Bu durum, toprak geçirgenliğini azaltır, suyun infiltrasyonunu engeller ve havalanmayı bozar. Kalsiyumun baskın olduğu durumlarda ise magnezyum, toprak yapısını daha az olumsuz etkiler hatta bazı durumlarda faydalı olabilir. Yüksek magnezyum konsantrasyonları, toprak pH'ını dolaylı olarak etkileyebilir ve bu da diğer besin elementlerinin çözünürlüğünü ve bitki tarafından alınabilirliğini değiştirebilir.

Sonuç olarak, sulama sularında magnezyum fazlalığı tek başına ciddi riskler oluşturmaya da özellikle diğer katyonlarla olan dengesizlikler ve toprak özellikleri göz önünde bulundurulduğunda bitki büyümesi, besin alımı ve toprak yapısı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir.

Su örneklerinin Na içeriğinin %0,04'dü I sınıf, %1,37'si II sınıf, %98,59'zu IV sınıf su gurubuna girmektedir. Sulama sularında sodyum (Na) içeriği incelendiğinde %98,59'zu IV sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Sodyum fazlalığı, tarım arazileri ve bitki sağlığı için ciddi riskler taşır. Sodyum iyonları, toprak ve bitki fizyolojisi üzerinde çeşitli olumsuz etkilere neden olabilir: Yüksek sodyum içeren sularla yapılan uzun süreli sulama, toprakta sodyum iyonlarının baskın hale gelmesine (sodyumlaşma) neden olabilir. Sodyum iyonları, kil parçacıklarının yüzeyine tutunarak onların dağılmasına (dispersiyon) yol açar. Bu durum, toprak strüktürünün bozulmasına, gözenekliliğin azalmasına ve toprak geçirgenliğinin ciddi şekilde düşmesine neden olur. Toprağın dağılması sonucu oluşan ince partiküller, toprak gözeneklerini tıkayarak suyun toprağa sızmasını (infiltrasyon) zorlaştırır. Bu durum, yüzey akışını artırır, erozyon riskini yükseltir ve bitki kök bölgesine yeterli suyun ulaşmasını engeller. Sıkışık ve geçirimsiz toprak yapısı, bitki köklerinin ihtiyaç duyduğu oksijenin toprağa ulaşmasını zorlaştırır ve köklerin sağlıklı gelişimini engeller. Yüksek sodyumlu sularla yapılan sulama sonucu, suyun buharlaşmasıyla birlikte sodyum tuzları toprak yüzeyinde veya kök bölgesinde birikebilir. Bu tuz birikimi, toprağın ozmotik potansiyelini düşürerek bitkilerin su alımını zorlaştırır ve tuz stresi oluşturur.

Yüksek sodyum konsantrasyonu, bitkilerin kök bölgesindeki ozmotik potansiyeli düşürerek bitkilerin topraktan su alımını zorlaştırır. Bu durum, fizyolojik kuraklığa yol açar, bitkiler yeterli suya sahip olsalar bile susuzluk belirtileri gösterirler. Yüksek sodyum, bitkilerin potasyum (K⁺), kalsiyum (Ca²⁺) ve magnezyum (Mg²⁺) gibi önemli katyonları alımını engeller

veya rekabet eder (iyon antagonizmi). Bu durum, bitkilerde bu besin elementlerinin eksikliği belirtilerine yol açar. Sonuç olarak, sulama sularında sodyum fazlalığı toprak dengesini bozarak, su ve hava geçirgenliğini düşürerek, bitkilerde tuz stresi ve besin elementi dengesizliklerine neden olarak tarımsal üretim için ciddi bir tehdit oluşturur. Bu doğrultuda, sodyum birikiminin izlenmesi amacıyla düzenli su ve toprak analizlerinin gerçekleştirilmesi ve elde edilen bulgulara dayalı olarak etkili yönetim stratejilerinin hayata geçirilmesi kritik öneme sahiptir. Sulama sularında klor (Cl^-) içerikleri incelendiğinde %93,5'i IV sınıfına girdiği tespit edilmiştir. Klor fazlalığı, bitkiler, toprak ve sulama sistemleri üzerinde çeşitli zararlı etkilere sebep olabilir. Klorun toksisitesi, konsantrasyonuna, bitki türüne, toprak özelliklerine ve maruz kalma süresine göre değişir. Yüksek klor konsantrasyonları, toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelini düşürerek bitkilerin su alımını zorlaştırır. Bu durum, fizyolojik kuraklığa yol açar ve bitkilerde susuzluk belirtileri görülür. Klor iyonları, bitki yapraklarında birikerek toksik etkilere neden olabilir. Bu durum, yaprak uçlarında ve kenarlarında yanıklara, sararmalara (kloroz) ve doku ölümüne (nekroz) yol açabilir. Tuz stresi ve yaprak hasarı, bitkilerin genel büyümesini engeller, gelişmesini yavaşlatır ve sonuç olarak verimde önemli düşüşlere neden olur.

Yüksek klor konsantrasyonları, bitkilerin nitrat (NO_3^-) gibi diğer anyonları alımını engelleyebilir veya rekabet edebilir. Bu durum, bitkilerde besin elementi eksikliklerine yol açabilir. Yüksek sodyum klorür (NaCl) içeren sularla yapılan sulama, sodyumun toprak yapısını bozucu etkilere sahiptir. Suyun buharlaşmasıyla birlikte klor tuzları (özellikle kalsiyum klorür ve sodyum klorür) toprak yüzeyinde veya kök bölgesinde birikebilir. Bu tuz birikimi, toprağın ozmotik potansiyelini düşürerek bitkilerin su alımını zorlaştırır. Klorür iyonlarının yüksek düzeyde bulunması, sulama sistemlerinde kullanılan metal boru hatları ve ekipmanlar üzerinde korozyon oluşumunu teşvik edebilir. Özellikle klorür iyonları, paslanmaz çelik gibi bazı metallerin korozyonunu hızlandırabilir.

Su örneklerinin Sülfat içerikleri incelendiğinde %2,17'si III sınıf %97,83'IV sınıf su grubuna girmektedir. Sulama sularında sülfat (SO_4^{2-}) içeriğinin fazla olması çeşitli riskler taşır. Bu tür risklerin şiddeti; sülfatın ortamda bulunduğu konsantrasyona, diğer çözülmüş iyonların mevcudiyetine, toprağın fizikokimyasal özelliklerine ve yetiştirilen bitki türüne bağlı olarak farklılık gösterebilir. Yüksek sülfat içeren sular, özellikle sodyum (Na^+) iyonları da yüksekse, toprak kolloidlerinin dağılmasına katkıda bulunabilir. Bu durum, toprak yapısının bozulmasına, geçirgenliğin azalmasına ve su infiltrasyonunun zorlaşmasına neden olabilir. Ancak söz konusu etki, tek başına yüksek sülfatın doğrudan bir sonucu olmaktan ziyade, sodyumun varlığıyla sinerjik bir etkileşimdir. Suyun buharlaşmasıyla birlikte sülfat tuzları

(örneğin magnezyum sülfat, sodyum sülfat, kalsiyum sülfat) toprak yüzeyinde veya kök bölgesinde birikebilir. Bu tuz birikimi, toprağın ozmotik potansiyelini düşürerek bitkilerin su alımını zorlaştırabilir (tuz stresi). Yüksek sülfat konsantrasyonları, toprakta bazı kimyasal reaksiyonlara girerek dolaylı olarak toprak pH'ını etkileyebilir. Özellikle sülfürlü bileşiklerin oksidasyonu sonucu asitlenme meydana gelebilir. Yüksek sülfat konsantrasyonları, toprak çözeltisinin toplam tuzluluğunu (EC) artırarak bitkilerde tuz stresine neden olabilir. Bu durum, bitkilerin su alımını zorlaştırır ve büyüme geriliğine yol açabilir. Yüksek sülfat seviyeleri, bitkilerin diğer anyonları (örneğin nitrat) alımını engelleyebilir veya rekabet edebilir. Ayrıca, toprak pH'ındaki dolaylı değişiklikler nedeniyle diğer besin elementlerinin alınabilirliği de etkilenebilir. Yüksek kalsiyum sülfat içeren sularla yapılan sulama, toprakta kalsiyumun baskın hale gelmesine ve dolaylı olarak magnezyum alımının engellenmesine katkıda bulunabilir. Sülfat iyonları, kalsiyum ve diğer katyonlarla birleşerek suda çözünmeyen oluşturabilir. Bu tortular, sulama sistemlerinde tıkanmalara neden olabilir.

Sulama sularındaki B (bor) içerikleri incelendiğinde her iki sulama süresi ve alanına da uygun olmadığı tespit edilmiştir. Sulama sularında bor (B) fazlalığı, bitkiler için toksik olabilen ve toprak özelliklerini olumsuz etkileyebilen önemli bir sorundur. Bor, bitkiler açısından hayati öneme sahip bir mikro besin elementi olmakla birlikte, belirli eşik değerlerin üzerine çıktığında toksik etkiler ortaya koyabilmektedir. Bu eşik değer bitki türüne göre önemli ölçüde değişir. Bor, toprakta kolayca hareket etmez ve sulama yoluyla toprağa taşınan fazla bor zamanla toprakta birikebilir. Bu birikim, gelecekte yetiştirilecek bor hassasiyetine sahip bitkiler için de risk oluşturur. Bor'un bitkiler tarafından alınabilirliği ve toksisitesi toprak pH'sından etkilenir. Alkali topraklarda bor daha çok çözünür ve bitkiler tarafından daha rahat alınabilir, bu da toksisite riskini artırır. Yüksek bor içerikli suların uzun süreli kullanımı, toprakta bor birikimine yol açarak dolaylı olarak sulama etkinliğini azaltabilir.

Su örneklerinde tespit edilen yüksek konsantrasyonların bitki, toprak, insan ve hayvan sağlığı üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkilerden korunabilmek adına, düzenli aralıklarla toprak ve su analizlerinin gerçekleştirilmesi ve buna bağlı olarak bilimsel temellere dayanan profesyonel önlemlerin hayata geçirilmesi gereklidir. Günümüzde hızlı bir ivmeyle ilerleyen sanayileşme, artan nüfus yoğunluğu ve tarımsal üretimdeki genişleme, suya olan talebi önemli ölçüde artırmaktadır. Ülkemiz, bu artan taleplere karşılık verebilmek için ileri düzey teknolojilere sahip sulama sistemlerine ve etkili sulama projelerine her geçen gün daha fazla ihtiyaç duymaktadır. Mevcut su kaynaklarının daha verimli ve sürdürülebilir bir biçimde kullanılabilmesi amacıyla bu alandaki çalışmalara öncelik verilmelidir. Sular, kullanım alanlarına göre sektörel biçimde sınıflandırılmalı ve uygun arıtma tekniklerine tabi tutulduktan

sonra ancak tarım alanlarına deşarj edilmelerine izin verilmelidir. Tarım arazilerine ulaşmasına izin verilen bu arıtılmış suların ise yalnızca yetkili mercilerce belirlenmiş ve onaylanmış arıtma sistemlerinden geçmesi sağlanmalı; bu sular belirli periyotlarla kontrol edilerek denetime tabi tutulmalıdır.

Küresel ölçekte su kullanımı; sanayi, nüfus artışı ve tarım sektörleri arasında giderek artan bir rekabet ortamına sahne olmaktadır. Endüstriyel üretim süreçleri ile termal turizm uygulamaları, verimli tarım arazilerinin bulunduğu zengin yeraltı suyu rezervlerini tehdit etmekte; aynı zamanda ortaya çıkan atıklarla yerüstü su kaynaklarını kirletmektedir. Türkiye'nin su kıtlığı riski taşıyan ülkeler arasında yer alması, mevcut su kaynaklarının planlı ve etkin bir biçimde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, su kaynaklarının sürdürülebilirliği doğrultusunda hem kullanım biçimlerinin hem de kaynak yönetiminin stratejik bir anlayışla ele alınması kaçınılmaz hâle gelmiştir.

Ağır metal kirliliği, tarımsal üretim açısından kritik öneme sahip olan toprak verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilir ve bitkisel gelişimi ciddi biçimde kısıtlayabilir. Bu metallerin toprakta zamanla birikmesi, bitki kök sisteminde fiziksel ve kimyasal zararlar oluşturarak, bitkilerin besin maddelerini alma kapasitesini düşürebilmektedir. Aynı zamanda, ağır metallerin bitkiler tarafından absorbe edilip gıda zincirine katılması sonucunda, insanlar ve diğer canlılar için toksik etkiler söz konusu olabilir. Özellikle uzun süreli ve sürekli maruziyet durumlarında, ağır metallerin kansere kadar varan ciddi sağlık problemlerine neden olabileceği bildirilmektedir. Bunun yanı sıra, ağır metal kontaminasyonu, toprak ekosisteminin temel bileşenlerinden biri olan mikroorganizmalara da zarar verebilir. Toprak mikroorganizmalarının yapısal ve işlevsel dengesinin bozulması, toprak verimliliğinde azalma ve doğal ekosistem işleyişinin bozulması gibi sonuçlara yol açabilir.

Su kalite parametreleri, yalnızca tarımsal üretim süreçlerini değil, aynı zamanda ekosistem sağlığını da olumsuz yönde etkileyerek, yeryüzündeki tüm canlıların yaşam kalitesi üzerinde tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, söz konusu kirliliğin önlenmesine yönelik alınacak tedbirler ve geliştirilecek çözüm önerileri, yetkili kurumlar tarafından yüksek öncelikte ele alınmalı ve titizlikle uygulanmalıdır.

Araştırma konusu Hasankale çayının tarımsal sulama ve ekolojik denge üzerine olası etkileri dikkate alındığın ; özellikle gerek bitkiler için özel iyon etkileri (Na, B,Cl) ve sözü geçen iyonların toprakta kümülatif olarak miktarının artması sonucu toprağın fiziksel kimyasal biyolojik özelliklerinin olumsuz etkilenmesine karşı ve gerekse ekolojik dengeyi korumak için; sık periyotlarla toprak ve su analizlerinin yapılarak takibi ve geçmişten bugüne yetiştiriciliği yapılan ürünlerin, morfolojik ve gözlemsel kimyasal analizlerinin teşhis ve analizlerinin

yapılması gerekmektedir. Islah ve rehabilitasyon çalışmalarında (bitki artıklı tarım , minimum toprak işleme uygulamalarına tarım topraklarının organik madde düzeyini artıracak bazı gübrelerin (kompost çiftlik gübre, organo mineral gübre, yeşil gübre , gerektiği durumlarda kkkrtl gübre vb) dahil edilerek, sürdürülebilir hedef doğrultusunda itinaıyla uygun düzeylerde ve şekilde uygulanması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Afad,2021, İl Afet Risk Azaltma Planı, https://Erzurum.Afad.Gov.Tr/Kurumlar/Erzurum.Afad/Irap/Erzurum_Irap.Pdf, (Erişim:15.01.2024).
- Altan, K., Teksoy, A., ve Solmaz, K. A. 2020. Türkiye’de Yağış ve Sıcaklığın Su Kaynakları, Tarımsal Ürün Verimi ve Su Politikalarına Etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(3), 1253-1270.
- Anonim. (2005). 1995–2004 50. Yılında DSİ. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Anonim. (2023). Erzurum Bölgesi toprak özellikleri ve jeolojik yapısı üzerine değerlendirme. Yayınlanmamış rapor.
- Anonim. (2023). Erzurum ili hidrografik yapısı ve akarsu havzalarının özellikleri. Yayınlanmamış coğrafi değerlendirme raporu.
- Anonim. (2023). Su kalitesi ve çevresel parametreler. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- Aşık, B.B. Ve Özsoy, G., 2016. Nilüfer Çayı ile Sulanan Topraklarda Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi ve Ağır Metallerin Bitkiye Taşınım Durumunun Araştırılması. Tubitak Tovag 114o713 Nolu Proje, Ankara, 75 S.
- Aydoğdu, M., Mancı, A., ve Aydoğdu, M., 2015. Tarımsal Su Yönetiminde Değişimler; Sulama Birlikleri, Fiyatlandırma ve Özelleştirme Süreci. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 14(52).
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO, Rome.
- Bigersson, B., Sterner, O., Zimerson, E., 1988. Cheime Und Gesundheit Eineverstndliche Einführung İn Die Toxikologie Vch Verlagsgesellschaft. Isbn:3-527-26455-8
- Bingöl, Z., ve Altıkat, A., 2017. Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Tarımsal Sulamada Kullanılabilirliği. Journal Of The Institute Of Science And Technology, 7(4), 69-75.
- California Fertilizer Committee. (1975). Western fertilizer handbook (5th ed.). The Committee.
- Calzadilla, A., Rehdanz, K., ve Tol, R. S., 2011. Water Scarcity And The Impact Of Improved Irrigation Management: A Computable General Equilibrium Analysis. Agricultural Economics, 42(3), 305-323.
- Cebe, E.N., 2007. Türkiye Akarsularında Mevsimsel Trend Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-5.
- Çetinkaya, M. Y., Yağcı, K., ve Muhammet, Ö. N. E. K., 2022. Erzurum’un Termal Turizm Potansiyeli Üzerine Kavramsal Bir Araştırma. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (53), 327-339.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2015–2023). Atıksu arıtımı eylem planı.
- Dağdelen, E. Ve Erdoğan. N., 2012. Sulama Suyu Kalitesi, <https://Docplayer.Biz.Tr/27027354-Sulama-Suyu-Kalitesi-Sulama-Suyu-Kalitesinin-Onemi-Etkileri-Ve-Degerlendirilmesi-Nevzat-Erdogan-Ender-Dagdelen.Html>, (Erişim, 20.02.2024)

- Delgado, C., Pacheco, J., Cabrera, A., Batllori, E., Orellana, R., & Bautista, F. (2010). Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatán, Mexico. *Agricultural Water Management*, 97(10), 1423–1433.
- Delgado, C., Pacheco, J., Cabrera, A., Batllori, E., Orellana, R., & Bautista, F. (2010). Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatán, Mexico. *Agricultural Water Management*, 97(10),
- Denhez, F., 2007. Küresel Isınma Atlası, Ntv Yay., Çeviri: Özgür Adadağ. İstanbul, 80s.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2021). Türkiye'nin barajları ve depolama tesisleri. <https://www.dsi.gov.tr/Haber/Detay/15486>
- Doneen, L. D. (1964). Notes on water quality in agriculture. Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis.
- Dorak, S., Aşık, B. B., ve Özsoy, G., 2018. Tarımda Su Kalitesi ve Su Kirliliğinin Önemi: Bursa Nilüfer Çayı Örneği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(1), 155-166.
- Dorak, S., ve Çelik, H., 2017. Irrigation Water Quality Of Nilüfer Stream And Effects Of The Wastewater Discharges Of The Treatment Plants. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 2017, 54 (3):249-257
- Dündar, M., 2007, Su Kaynaklarının Uluslararası Sorun Oluşturması (Y. Lisans Tezi), Ktü Sbe, Uluslararası İlişkiler, Abd., Uluslararası İlişkiler Programı, Trabzon, 157
- Egemen, Ö., 2000. Çevre ve Su Kirliliği. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yayın No:42, 3. Baskı, Bornova – İzmir.
- Faures, J.M., Svendsen, M. ve Turrall, D., 2007. Reinventing Irrigation. In Molden, D. (Ed) *Water For Food, Water For Life: A Comprehensive Assessment Of Water Management İn Agriculture*. Earthscan, London; International Water Institute, Colombo.
- Galas-Gorcher, H., 1991. Dietary İntake Of Petricide Residues: Cadmium, Mercury And Lead. *Food Add. Cont.*, 8: 793-80.
- Haktanır, K. ve Arcak, S., 1998. Çevre Kirliliği. Ankara Aniv. Ziraat Fak. Toprak Bölümü, Ankara. Üniv. Yayın No: 1503: Ders Kitabı: 457, Ankara
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2008. Metallerin Çevresel Etkileri-I. İtü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders Notları.
- Kantaroğlu, Ö., 2009. Yağmur Suyu Hasadı Plan ve Hesaplama Prensipleri. İx. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 6-9.
- Karadede, H., 1997, Atatürk Baraj Gölü'nde su, sediment ve balık türlerinde ağır metal birikiminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 10-72.
- Karaman, S., ve Gökalp, Z., 2010. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 59-66.
- Karaman, S., ve Gökalp, Z., 2010. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 59-66.
- Katerji, N., Mastroiilli, M., & Rana, G. (2005). Salinity effects on plant growth. *Agricultural Water Management*, 78(1-2), 127-140.
- Keren, R., & Shainberg, I. (1998). Sodicity and soil physical properties. In *Handbook of Soil Science*. CRC Press.

- Kırat, G., 2023. Investigation Of Soil Pollution With Pollution Parameters (Erzurum-Moryayla). International Scientific And Vocational Studies Journal, 7(1), 1-8.
- Kızıloğlu, F. M., Kuşlu, Y., Talip, T. U. N. Ç., ve Yanık, R., 2007. Erzurum İlindeki Bazı Su Kaynaklarının Kalitelerinin Bitki, Toprak ve Sulama Sistemi Açısından Değerlendirilmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 38(2), 173-179.
- Koday, S. (2010), Erzurum'un Turizm Açısından Önemi, 8. Uluslararası Türk Dünyası, Sosyal Bilimler Kongresi.
- Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı, 2010. Erzurum Termal Turizm Potansiyeli. https://Kudaka.Ka.Gov.Tr/Assets/Upload/Dosyalar/7a892-Erzurum_Termal_Turizm_Potansiyeli.Pdf. (Erişim: 15.04.2022)
- Kültür ve Turizm Bakanlığı; Erzurum İkinin Coğrafyası, <https://erzurum.ktb.gov.tr/TR-56063/cografya.html>, (Çevrimiçi,13.04.2024)
- Kültür ve Turizm Bakanlığı; Pasinler, <https://erzurum.ktb.gov.tr/TR-56049/pasinler.html>, (Çevrimiçi,13.04.2024)
- Levi, S., 2007. Yağış Sularının Sürdürülebilir Yönetimi (Doctoral Dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey) Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Miller, J. R., Hudson-Edwards, K. A., Lechler, P. I., Preston, D. ve Macklin, M. G., 2004. Heavy Metal Contamination of water soil and produce within riverine communities of the Rio Pilcomayo Basin, Bolivia. Sci Total Environ 320: 189-209.
- Minareci, O., Bilgin, N., ve Çakır, M., 2012. İstanbul Büyükçekmece Gölü'nde Anyonik Deterjan, Fosfat ve Bor Kirliliğinin Araştırılması. Celal Bayar University Journal Of Science, 8(2), 52-60.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell & Environment, 25(2), 239-250.
- Murathan, A. S., ve Yıldırım, M. E., 1996 Ağır Metal İçeren Endüstriyel Atık Suların Evsel Atık Sularla Birlikte Aktif Çamur Yöntemiyle Akıtılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9(2), 7-14.
- National Research Council. (1997). *Valuing ground water: Economic concepts and approaches*. National Academies Press.
- Oruç, F., 2018. İçme Suyunda Trihalometanlar (Thm) ve Diğer Uçucu Organik Bileşiklerin (Uob) Birlikte Analizi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Yüksek Lisans Tezi,
- Özyürek, F., 2016. Nevşehir'de Farklı Su Kaynaklarıyla Sulanan Sebzelerde Ağır Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) Birikimi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, Yüksek Lisans Tezi, 118 s., (yayımlanmış).
- Pehlivan, H., Akbulut, A., ve Varol, E., 2021. Investigation of heavy metal pollution in sediments of southern Marmara Sea (The Kocasu Delta). Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 36(3).
- Pintilie, L., Torres, C.M., Teodosiu, C. Ve Castells, F., 2016. Urban Wastewater Reclamation For Industrial Reuse: An Lca Case Study, Journal Of Cleaner Production, 139, 1-14. Doi: 10.1016/J.Jclepro.2016.07.209
- Polat, A., 2013. Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği İçin Arıtılan Atıksuların Yeniden Kullanımı. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, (1), 58-62.
- Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook No. 60.

- Sarwar, T., Shahid, M., Natasha, Khalid, S., Shah, A. H., Ahmad, N., ve Bakhat, H. F., 2020. Quantification and risk assessment of heavy metal build-up in soil–plant system after irrigation with untreated city wastewater in Vehari, Pakistan. *Environmental geochemistry and health*, 42, 4281-4297.
- Scofield, C. S. (1936). The salinity of irrigation water (Extract from Smithsonian Institution Annual Report for 1935). U.S. Government Printing Office.
- Sezen, Y., (2011). Erzurum'un Su ve Toprak Varlığı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(1-4).
- Sönmez, A., Hisar, O., ve Yanık, T., 2012. Karasu Irmağında Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti ve Su Kalitesine Göre Sınıflandırılması. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 43(1), 69-77.
- Sür, Ö., 1961. Pasinler Ovası ve Çevresinde Jeomorfolojik Müşahadeler. Türk Coğr. Derg., Yıl XVI, Sayı 21, İstanbul.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). Erzurum ili 2021 yılı çevre durum raporu. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/erzurum_-cdr2021-20221116151442.pdf (Erişim tarihi: 20.01.2024).
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Ek-1: Alıcı ortamların sınıflandırılması ve deşarj standartları). Resmî Gazete, 25687.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). Erzurum İli Pasinler İlçesi Çevresel Su Kalitesi ve Atık Yönetimi Değerlendirme Raporu. Erzurum İl Müdürlüğü Yayını.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2022). Tarımsal sulama suyu kalitesi rehberi. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Tanji, K. K. (1990). Agricultural salinity assessment and management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71.
- Tarım Vadisi: Erzurum'da Ne Yetiştir?. <https://tarim.ihya.org/konu-5840-td7.html>, (Çevrimiçi,20.03.2024)
- Türkay, S., & Başar, H. (2020). Tarımda suyun verimli kullanımı ve suyun kalitesinin önemi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(2), 125–135.
- Uçar, Ş., 2011. Konya Havzası Yüzeysel Su Kaynaklarının Ağır Metal Kirliliği Yönünden İncelenmesi (Master's Thesis, Konya Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi)
- Ünal.Ç., 2003. Pasinler Kaplıcalarının Coğrafi Etüdü/A Geographical Study Of The Pasinler Spas (Thermal Springs). Doğu Coğrafya Dergisi, 8(10).
- Varol, Z., ve Erdem, D. B. (2020). Çorlu deresi ve yakın çevresi (Çerkezköy-Çorlu hattı) topraklarının ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 8(1), 26-35.
- Wilcox, L. V., & Magistad, O. C. (1943). Interpretation of analyses of irrigation waters. U.S. Department of Agriculture, Bureau of Plant Industry.
- World Bank. (2024). *Pasinler havzası ve Hasankale Çayı çevresel değerlendirme raporu*. World Bank Publications. URL
- World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). WHO Press.

- Wwap 2009. The United Nations World Water Report 3: Water In A Changing World, Unesco Publishing: Earthscan.
- Yerli, C., akmakc, T., Sahin, U., ve Tfenki, Ő. 2020. Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 9(zel Sayı), 103-114.
- Yıldız, N. Ve O. Aydemir (2003). Bitki besleme uygulama kitabı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Ders Yayınları No ; 232. Erzurum
- Yıldız, N., 2001. Toprak Kirletici Bazı Ağır Metallerin (Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, Co ve Ni) Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler. Atatürk University Journal Of Agricultural Faculty, 32(2).
- Yılmaz, M., ve iek, E., 2002. Yzeyssel Su Kaynakları evresinde Ormancılık Etkinlikleri. Journal Of The Faculty Of Forestry Istanbul University, 52(2/1-2), 95-110.
- Yurtseven, E. 2016. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Açık Ders Malzemeleri. (Erişim Tarihi: 12/07/2018).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Raisa KALKAY
Doğum Tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise	Kayseri sümer Ahmet eren lisesi
Lisans	Atatürk Üniversitesi- Ziraat Fakültesi-Toprak Bilimi ve Bitki Besleme (2016)
Yabancı Dil	
İngilizce	Orta
Makale	Yıldız, N., Kalkay, R. , & Türkmen, C. (2025). Effects of Different Rainfall Regimes on Soil Plant Ecosystems and Preventable Adaptation Processes. International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research, 2024, Vol. 8(4), 439-471, ISSN (online): 2602-4772