

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
YER ve DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERALTI SUYU KALİTE PARAMETRELERİNİN
ZAMANSAL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ ve FAYDALI
KULLANIM ALANLARININ BELİRLENMESİ – GEBZE TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ

AYŞE ARSLAN ÇANAKÇI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
YER ve DENİZ BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
YER ve DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERALTI SUYU KALİTE
PARAMETRELERİNİN ZAMANSAL
DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ ve FAYDALI
KULLANIM ALANLARININ BELİRLENMESİ
- GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ
ÖRNEĞİ

AYŞE ARSLAN ÇANAKÇI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
YER ve DENİZ BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ MELTEM ÇELEN

GEBZE
2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE of EARTH and MARINE SCIENCES

INVESTIGATION of TEMPORAL CHANGES in
GROUNDWATER QUALITY PARAMETERS
and DETERMINATION of BENEFICIAL
USAGE AREAS- a case study: GEBZE
TECHNICAL UNIVERSITY CAMPUS

AYŞE ARSLAN ÇANAKÇI
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF EARTH and MARINE

THESIS SUPERVISOR
ASSIST PROF. MELTEM ÇELEN

GEBZE
2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03/02/2023 tarih ve 2023/04-02 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 24/02/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ayşe ARSLAN ÇANAKÇI'nın tez çalışması Yer ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Dr. Öğr. Üyesi Meltem Çelen

ÜYE

: Prof. Dr. Mehmet Salim Öncel

ÜYE

: Prof. Dr. Fatih Gülgen

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu çalışmada, Gebze Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde yer alan kuyulardan alınan örnek su numuneleri ile yeraltı su kalitesi parametrelerinin izlenilmesi, kalite düzeylerinin belirlenmesi ve coğrafi bilgi sistemleri ile su kalitesi seviyelerinin kuyu bazında birbirleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca kuyulardan sağlanan yeraltı suyunun mevcut kullanıma uygun olup olmadığının tespiti ile gelecek muhtemel kullanım alanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma bölgesi içerisinde yer alan su kuyularının kirlilik parametrelerinin görsel gösterimi amacıyla ArcGIS 10.4.1. yazılım programı kullanılmıştır. Üniversite kampüsü içerisinde yer alan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinin kalite parametreleri ulusal ve uluslararası yönetmelik ve standartlar ile karşılaştırılmış olup ilgili parametrelerin aylık alansal dağılımlarına ilişkin grafikler oluşturulmuştur.

Su örnekleri, 2021 yılı Temmuz-Aralık ayları boyunca ıslak ve kuru dönemde alınmıştır. Yeraltı su kalite düzeyinin belirlenmesi amacıyla; sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), çözünmüş oksijen (ÇO), tuzluluk, nitrat azotu (NO₃-N), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), sodyum (Na), demir (Fe), çinko (Zn), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), nikel (Ni), toplam fosfor (TP) parametrelerinin analizleri Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü ve Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. Elde edilen Ca, Mg ve Na konsantrasyonları kullanılarak sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) değerleri belirlenmiştir. Kuyu suyunda ölçülen su kalitesi parametrelerinin ortalama değerleri; pH 7,33, sıcaklık 18,40 °C, ÇO 0,73-9,06 mg/L, EC 998 µs/cm, NO₃-N 1,827 mg/L, Ca 135,2 mg/L, Na 58,12 mg/L, TP 0,053 mg/L ve SAR 1,57 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre kampüs içerisindeki yeraltı sularının içme suyu amacıyla doğrudan kullanımının uygun olmadığı ancak sulama amacıyla kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Uygun su çekme yöntemleri ile çalışma alanındaki tüm kuyulardan sulama suyu ve yangın tanker dolumu konusunda yararlanılabileceği gibi, ayrıca uygun bir yeraltı suyu depolama alanı yapılması durumunda kuyu sularının kampüsün yüzme havuzunda da değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı Suyu, Su Kalite Parametreleri, Sulama Suyu, Faydalı Kullanım

SUMMARY

In this study, monitoring of groundwater quality parameters and determination of quality levels were aimed by comparing water samples taken from wells located within the Gebze Technical University campus with each other using geographic information systems. In addition, the aim was to determine whether the groundwater obtained from the wells is suitable for current use and to determine potential future usage areas.

The ArcGIS 10.4.1 software program was used to visually represent the pollution parameters of the water wells in the study area. The quality parameters of the groundwater samples taken from the wells within the university campus were compared with national and international regulations and standards, and graphs were created regarding the monthly spatial distributions of the relevant parameters.

Water samples were taken during the wet and dry periods from July to December 2021. In order to determine the groundwater quality level, analyses of temperature, pH, electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), salinity, nitrate nitrogen (NO₃-N), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), iron (Fe), zinc (Zn), lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), nickel (Ni), and total phosphorus (TP) parameters were carried out at the Institute of Earth and Sea Sciences and the Environmental Engineering Laboratory of the Faculty of Engineering at Gebze Technical University. The sodium adsorption ratio (SAR) values were determined using the obtained Ca, Mg and Na concentrations. The average values of the measured water quality parameters in the wells were determined to be pH 7.33, temperature 18.40 °C, DO 0.73-9.06 mg/L, EC 998 µs/cm, NO₃-N 1.827 mg/L, Ca 135.2 mg/L, Na 58.12 mg/L, TP 0.053 mg/L, and SAR 1.57. According to the findings, it was concluded that the groundwater within the campus is not suitable for direct use as drinking water but can be used for irrigation purposes. It was also concluded that all wells in the study area can be used for irrigation water and fire tanker filling by using appropriate water extraction methods, and the well waters can be evaluated in the swimming pool of the campus if an appropriate underground water storage area is built.

Keywords: Groundwater, Water Quality Parameters, Irrigation Water, Beneficial Usage

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini, anlayışını ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasındaki yolda bana ışık tutan ve çalışmam boyunca tüm süreçlerde yanımda olduğunu her zaman hissettiğim, bilgi ve tecrübelerini benimle her daim paylaşan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Meltem ÇELEN' e teşekkürlerimi en içten dileklerle sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca aktarmış oldukları değerli bilgi ve tecrübeleri için enstitü müdürümüz saygıdeğer hocam Sayın Prof. Mehmet Salim Öncel başta olmak üzere tüm değerli hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Saha çalışmalarında her koşulda desteğini ve güler yüzünü hiç esirgemeyen arkadaşım Araştırma Görevlisi Halil Nurullah Oruç'a ve Laboratuvar çalışmalarında bilgisiyle ve tecrübesiyle her daim yol gösteren Proje Asistanı Sinem Vural Yurtsever'e teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini her zaman hissettiğim canım aileme, yüksek lisans eğitimim boyunca her koşulda yanımda olan, motivasyonumun asla düşmesine müsaade etmeyen, anlayışıyla beni kendine hayran bırakan sevgili eşim Mustafa Gürkan Çanakçı' ya ve hayatıma varlığıyla anlam katan, başarıya daha hızlı ve emin adımlarla koşmamı sağlayan canım oğlum Yiğithan Çanakçı' ya sonsuz sevgi ile teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. LİTERATÜR	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. Çalışma Alanı	8
3.3. Su Kalitesi Parametreleri	10
3.3.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri	11
3.3.2. Laboratuvarında Ölçülen Parametreler	13
4. SU KALİTESİ PARAMETRELERİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ	19
4.1. Kuyu-1	19
4.1.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri	19
4.1.2. Nütrientler	20
4.1.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller	21
4.1.4. SAR ve Tuzluluk	22
4.2. Kuyu-2	22
4.2.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri	22
4.2.2. Nütrientler	23
4.2.3. Alkali ve Toprak Alkaliler Metaller	24
4.2.4. SAR ve Tuzluluk	25
4.3. Kuyu-3	26
4.3.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri	26
4.3.2. Nütrientler	27

4.3.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller	28
4.3.4. SAR ve Tuzluluk	29
4.4. Kuyu-4	30
4.4.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri	30
4.4.2. Nütrientler	31
4.4.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller	32
4.4.4. SAR ve Tuzluluk	33
4.5. Kuyu-5	34
4.5.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri	34
4.5.2. Nütrientler	35
4.5.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller	36
4.5.4. SAR ve Tuzluluk	37
4.6. Kuyu-6	38
4.6.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri	38
4.6.2. Nütrientler	39
4.6.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller	40
4.6.4. SAR ve Tuzluluk	41
4.7. Kuyu-7	42
4.7.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri	42
4.7.2. Nütrientler	43
4.7.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller	44
4.7.4. SAR ve Tuzluluk	45
4.8. Kuyu-8	45
4.8.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri	45
4.8.2. Nütrientler	47
4.8.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller	47
4.8.4. SAR ve Tuzluluk	48
4.9. İz Elementler	49
5. SU KALİTESİ PARAMETRELERİNİN ALANSAL DEĞİŞİMİ	52
5.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri	52
5.2. Nütrientler	55
5.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller	56
5.4. İz Elementler	58
5.5. SAR ve Tuzluluk	62

6. YERALTI SUYU TABAN AKIŞI	68
7. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİ	71
7.1. Değerlendirme	71
7.2. Öneri	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	79
EKLER	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
µs/cm	Mikrosimens/santimetre
mg/L	Miligram/Litre
µg/L	Mikrogram/Litre
EC	Elektriksel İletkenlik
EPA	Çevre Koruma Ajansı
SAR	Sodyum Adsorpsiyon Oranı
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SUEN	Türkiye Su Enstitüsü
TKNKKSKY	Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği
TS 266	TSE İçme Suyu Standardı
TS 7739	TSE Sulama Suyu Standardı
YAS	Yeraltı Suyu
WWC	Dünya Su Konseyi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
YSKBKKY	Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
3. 1: Çalışma alanı haritası.	8
3. 2: Çalışma alanı jeoloji haritası	9
3. 3: Çalışma alanındaki kuyu örnekleri	10
3. 4: Hach Lange-HQ40D çift kanallı multimetre.	12
3.5: ICP-OES spektrofotometre.	14
4. 1: Kuyu-1 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.	19
4. 2: Kuyu-1 nütrientlerin aylık değişimi.	20
4. 3: Kuyu-1 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.	21
4. 4: Kuyu-1 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimleri.	22
4. 5: Kuyu-2 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.	23
4. 6: Kuyu-2 nütrientlerin aylık değişimi	24
4. 7: Kuyu-2 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.	25
4. 8: Kuyu-2 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimi.	26
4. 9: Kuyu-3 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.	27
4. 10: Kuyu-3 nütrientlerin aylık değişimi.	28
4. 11: Kuyu-3 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.	29
4. 12: Kuyu-3 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimleri	30
4. 13: Kuyu-4 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.	31
4. 14: Kuyu-4 nütrientlerin aylık değişimi.	32
4. 15: Kuyu-4 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimleri.	33
4. 16: Kuyu-4 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimi.	34
4. 17: Kuyu-5 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.	35
4. 18: Kuyu-5 nütrientlerin aylık değişimi.	36
4. 19: Kuyu-5 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.	37
4. 20: Kuyu-5 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimleri.	37
4. 21: Kuyu-6 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.	39
4. 22: Kuyu-6 nütrientlerin aylık değişimi.	40
4. 23: Kuyu-6 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.	40

4. 24: Kuyu-6 SAR ve tuzluluk parametreleri aylık değişimi.	41
4. 25: Kuyu-7 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.	42
4. 26: Kuyu-7 nütrientlerin aylık değişimi.	43
4. 27: Kuyu-7 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.	44
4. 28: Kuyu-7 SAR ve tuzluluk aylık değişimi.	45
4. 29: Kuyu-8 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.	46
4. 30: Kuyu-8 nütrientlerin aylık değişimi.	47
4. 31: Kuyu-8 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimleri.	48
4. 32: Kuyu-8 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimleri.	49
5. 1: Kurak ve yağışlı dönemlere ait su seviyelerinin alansal dağılımı.	52
5. 2: Kurak ve yağışlı dönemlere ait sıcaklıkların alansal dağılımı.	53
5.3: Kurak ve yağışlı dönemlere ait pH değerlerinin alansal dağılımı.	53
5.4: Kurak ve yağışlı dönemlere ait ÇO konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	54
5. 5: Kurak ve yağışlı dönemlere ait EC konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	55
5. 6: Kurak ve yağışlı dönemlere ait NO ₃ -N konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	56
5. 7: Kurak ve yağışlı dönemlere ait TP konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	56
5. 8: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Ca konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	57
5. 9: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Mg konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	58
5. 10: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Na konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	58
5. 11: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Fe konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	59
5. 12: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Zn konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	60
5. 13: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Pb konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	60
5. 14: Kurak ve yağışlı dönemlere ait B konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	61

5. 15: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Cd konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	62
5. 16: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Cr konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	62
5. 17: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Ni konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	63
5. 18: Kurak ve yağışlı dönemlere ait tuzluluk konsantrasyonlarının alansal dağılımı.	64
5. 19: Kurak ve yağışlı dönemlere ait SAR Alansal Dağılımı	65
6.1: Çalışma alanı Temmuz ayı (kuru dönem) yeraltı suyu akış haritası.	69
6.2: Çalışma alanı Aralık ayı (yağışlı dönem) yeraltı suyu akış haritası.	70

TABLÖLAR DİZİNİ

3. 1: Gözlem İstasyonları Koordinatları.	10
3. 2: Örnek Numune Analiz Parametreleri.	11
3. 3: Sıcaklık, pH, ÇO için yönetmelik ve standartlar.	13
3. 4: EC parametresine ilişkin ulusal içme suyu standardı.	13
3. 5: Analizler ve Ölçüm Cihazları.	14
3. 6: Alkali ve toprak alkali metaller, iz elementler ve TP parametrelerine ilişkin yönetmelik ve standartlar.	15
3. 7: NO ₃ -N için ulusal ve uluslararası limit değerleri	16
3. 8: Sodyum adsorbsiyon oranına göre suların sınıflandırılması (TS 7739).	18

1. GİRİŞ

Canlıların varlığını sürdürebilmesi için gerekli olan su en temel ihtiyaçtır. Yeryüzündeki suların büyük bir kısmını denizler ve okyanuslar gibi tuzlu su kaynakları oluştururken, küçük bir bölümünü ise yerüstü ve yeraltı tatlı su kaynakları oluşturmaktadır. Canlı yaşamın varlığını sürdürebilmesi için su ihtiyacı yoğunlukla yerüstü tatlı su kaynaklarının biriktirildiği barajlardan sağlanırken, yeraltı suları (YAS) ise bu tatlı su kaynaklarına alternatif olarak kullanılmaktadır [1].

Günümüzde küresel ısınma, iklim değişikliği gibi çevre sorunları ve dünya nüfusunun hızla artışı karşısında su kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artış göstermektedir. İnsan faaliyetleri sonucu yeryüzündeki yüzey örtüsü olumsuz yönde değişmekte ve bu değişim yerüstü ve yer altı sularının kimyası ile seviyesini negatif yönde etkilemektedir.

Dünya Su Konseyi (WWC), gezegenin sürdürülebilir ve adil gelişimi için suyun hayati bir siyasi öncelik olduğuna dikkat çekmek amacıyla uluslararası toplumu bir araya getirmiştir. WWC tarafından 2022 yılında düzenlenen 9. Dünya Su Forumu'nun açılış töreni "Yeraltı suyu: Görünmeyeni Görünür Kılmak" konulu Birleşmiş Milletler Dünya Su Kalkınma Raporu ile gerçekleştirilmiş ve yeraltı sularının önemi bir kez daha çok ses getirecek şekilde vurgulanmıştır [2].

Ülkemizde de Türkiye Su Enstitüsü (SUEN) tarafından yayınlanmış olan Suya Duyarlı Şehirler konulu raporda, iklim değişikliği ile beraber kurak ve sıcak dönemlerin uzamasının pek çok şehirde su ihtiyacının karşılanması, tarımsal ve yabani hayat açısından tehditler oluşturduğu konuları ele alınarak su döngüsünün desteklenmesi, alternatif su kaynaklarının kullanımı konularına dikkat çekilmiştir [3].

Yeraltı sularının değişim ve seyrelme kapasitelerinin yerüstü sularına oranla daha az olması, kirlenici unsurların yeraltı sularında daha etkili olmasına neden olmaktadır. Yeraltı suları bulunduğu bölgedeki endüstriyel ve tarımsal faaliyetler gibi kökeninde insan faktörü olan ve jeolojik yapının da etkisi ile pek çok farklı kirlenici kaynağı ile karşı karşıya kalmaktadır [4].

Yeraltı suları, kalite sınıflarına göre; içme suyu, evlerde kullanma suyu, tarımda sulama suyu olarak, endüstrilerde ise tesis üretim prosesleri ve diğer birçok faaliyet için yaygın olarak kullanılmaktadır. YAS kalite parametrelerinin kirliliğinin tespiti için kimyasal analizler gerçekleştirilmektedir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İÇeriği

Bu araştırma ile Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) kampüsü içerisinde yer alan kuyuların YAS kalite parametrelerinin kirlilik sınıflarının tespit edilmesi YAS kirliliğine sebep olabilecek etmenlerin araştırılması, kuyu sularının mevcut kullanımına uygunluğunun değerlendirilmesi ve muhtemel faydalı kullanım alternatiflerinin önerilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan literatür araştirmasında, kampüs içerisindeki kuyular ile ilgili benzer bir çalışmanın olmadığı görölmüştür. Bu yönüyle GTÜ kampüsü içerisinde YAS kalitesi ile ilgili ilk kez bir akademik çalışma yapılarak kampüs içerisindeki kuyulara ilişkin YAS kirlilik parametreleri değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında 2021 yılında Gebze Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde yer alan 8 adet kuyudan Temmuz-AĞustos-Eylül aylarını kapsayan kurak dönemde ve Ekim-Kasım-Aralık aylarını kapsayan yağışlı dönemde yeraltı su kalite parametrelerinin değerlendirilebilmesi için örnek su numuneleri alınarak arazide ve laboratuvar ortamında analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre YAS kalitesi belirlenen kuyulara ilişkin kalite parametrelerinin zamansal değişimi araştırılmıştır. Ayrıca elde edilen su kalitesi değerleri ArcGIS 10.4.1. yazılım programı ile haritalandırılarak alansal dağılımları grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR

Babiker vd. (2007), çalışmalarında Japonya'nın merkezindeki Tochigi Eyaletinin kuzeydoğu kesiminde yer alan Nasuno havzasının yeraltı suyu kalite parametrelerini (Ca, Mg, Na, vd.) coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında 50'den fazla su kuyusundan örnek numuneler alınmış ve mevsimsel olarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanındaki yeraltı suyu kalite parametrelerinin analizleri WHO tarafından belirlenen içme suyu kalite standartları ile karşılaştırılarak uygunluğu araştırılmıştır. Nasuno havzasında yeraltı suyu kalitesinin mekânsal değişim analizlerinde ise bir CBS yazılımı olan ILWIS kullanılmıştır [5].

Bir başka çalışmada Nas vd (2010), Ülkemizin İç Anadolu Bölgesinde bulunan Konya ilinde yeraltı suyu kalite parametrelerini (pH, sertlik, elektriksel iletkenlik, nitrat, sülfat vd.) izlemiş ve yeraltı suyu kalitesinin mekânsal dağılımını yine CBS aracılığıyla haritalandırmışlardır. Çalışma kapsamında Konya ilinde 177 adet kuyudan örnek su numunesi alınarak yeraltı suyu kalite parametreleri analiz edilmiştir. ArcGIS yazılımı kullanılarak sıradan Kriging yöntemiyle şehrin yeraltı suyu kalite parametrelerinin mekânsal dağılımına ilişkin haritalar oluşturulmuştur [6].

Jamshidzadeh ve Mirbagheri (2011) çalışmalarında İran ülke sınırları içerisinde yer alan Kashan (Kaşan) Havzası'ndaki yeraltı suyu değişikliklerini niceliksel ve niteliksel olarak incelemişlerdir. Çalışma alanında yeraltı suyu kalitesini incelemek için 21 adet numune alma kuyusu ve 53 adet gözlem kuyusu kullanılmıştır. 21 adet örnek su numunesinde pH, sertlik, Cl, ve EC değerleri gibi fizikokimyasal özellikleri açısından ölçülmüştür. Sonuçlar WHO tarafından yayınlanan içme suyu kalite standartları ile karşılaştırılmış, su örneklerinin çoğunun içilebilir nitelikte olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma alanı içerisinde 53 gözlem kuyusundan elde edilen verilere göre, 1990 ile 2006 yılları arasında yeraltı su seviyelerinin azaldığı tespit edilmiştir [7].

Seydisuyu Havzası'nın yeraltı suyu kalitesinin ve kirlilik seviyesinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada Uğurluoğlu (2013), Seydisuyu Havzası içerisinde yer alan sulama suyu ve içme suyu amacıyla kullanılan 20 farklı kuyudan 2012 Mart - 2013 Şubat tarihleri arasında mevsimsel numuneler alınarak yeraltı sularının kalitesi ve kirlilik düzeyi araştırılmıştır. Bu örneklerde elementel parametrelerin (B, Ag, Cd, Cr, Fe, Na, Pb, Ca gibi) ve fizikokimyasal parametrelerin

(Sıcaklık, Tuzluluk, İletkenlik, Nitrat, Çözünmüş Oksijen gibi) analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sulama suları için önemli olan SAR değeri gibi parametreler hesaplanmıştır. Bu çalışmada elde edilen analiz verilerine ilişkin sonuçlar ilgili yönetmelik ve standartlardaki (SKKY, EPA, WHO, TS 266) limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılım programı kullanılarak havzadaki yeraltı suyu kirlilik haritaları ile seviyeleri enterpolasyon yöntemlerinden IDW kullanılarak gösterilmiştir. Çalışmada Seydisuyu havzasında bölgedeki Bor madenlerinden ve Mangan yataklarından kaynaklı yeraltı sularında yüksek seviyelerde Bor ve Mangan gözlenmiştir [8].

Özşahin (2013) çalışmasında Tekirdağ ili sınırları içerisinde yer alan Cevizli Dere Havzası içerisindeki yeraltı sularının içme suyu ve sulama suyu kalitesini ve CBS ortamında mekânsal dağılımını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışma alanının ve yakınındaki bölgenin yeraltı sularının kalitesinin tespit edilmesi için 38 adet kaynak, 23 adet kuyu ve 11 adet sondaj kuyusu üzerinde daha önceki çalışmalarda yapılan ölçüm sonuçları incelenmiş ve sıcaklık, Cl, EC, pH, Na, K, Ca ve Mg gibi parametrelerin analiz sonuçları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda inceleme sahası içerisindeki yeraltı suları kalite sınıfları bakımından alansal dağılışı %39.80 düşük kaliteli, %54.08 orta kaliteli ve %6.12 yüksek kaliteli olarak tespit edilmiştir. İnceleme alanındaki yeraltı sularının kalite açısından dağılımlarına göre bazı noktalarda temiz su kaynaklarının korunması için önlemler alınması, bazı noktalarda hayvansal ve evsel atıkların kaynaklara karışmasının önlenmesi gerektiği görülmüştür. Ayrıca Cevizli Dere Havzası'nda yeraltı sularının yüksek kalite sınıfında yer alan sahalarında, bölgedeki alanların korunması amacıyla atıksu arıtma tesisleri kurulumu, evsel kaynaklı çöpler için uygun modern çöp depolama sahalarının oluşturulması ve bölgede yaşayan insanların su kirliliği konusunda bilgilendirilmesi gibi tedbirlerin hayata geçirilmesi gerektiği tespit edilmiştir [9].

Sethy vd. (2017), çalışmaları kapsamında Hindistan'da yer alan Güney Gangetic Ovası'nın bazı kısımlarında yeraltı sularının içme suyu olarak kullanımının uygunluğunu değerlendirmek amacıyla 33 adet kuyudan örnek numuneler alarak analiz sonuçlarına göre CBS ortamında mekânsal dağılım haritalarını oluşturmuşlardır. Çalışma bölgesinde yer alan 33 kuyudan alınan su numuneleri pH, EC, TDS, Ca, Mg, Na, Nitrat ve Sülfat gibi parametreler açısından analiz edilmiştir. İnceleme alanındaki örneklerin su kalitesinin belirli alanlarda insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek olan WHO sınırlarını aştığı tespit edilmiştir [10].

Kawo vd (2018), Etiyopya'nın merkezindeki Modjo Nehri Havzası'nda su kalite indeksi ve CBS kullanarak yeraltı suyu kalite parametrelerini (Na, K, Cl, pH, Mg, Ca vd.) değerlendirmiştir. Modjo Nehri Havzasında yeraltı suyunun içme ve sulama amacına uygunluğunu belirlemek için 31 yeraltı suyu örneği toplanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada yeraltı suyu kalite parametrelerinin mekânsal dağılımının değişimleri Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) yöntemi ile gösterilmiştir. Bu çalışma, Modjo Nehri Havzasındaki yeraltı suyu kalitesinin daha iyi anlaşılmasına ve yeni yeraltı suyu planlarının yapılmasına yardımcı olmuştur [11].

Salman (2019), Kaman (Kırşehir) bölgesinde çalışma alanındaki sondaj ve kaynak sularından kurak dönemde 42 örnek, yağışlı dönemde ise 23 örnek toplamıştır. Örnek numunelerde EC, Ph, Na, K, Mg, Ca, Ni, As, Nitrat ve Sülfat gibi parametreler TS 266 ve WHO standartları ile karşılaştırılmıştır. Analiz verilerine ilişkin yoğunluk ve kirlilik haritaları CBS ortamında ArcGIS yazılım programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada bölgedeki yeraltı sularından alınan numunelerin analizleri sonucunda bazı parametrelerin (As, Nitrat, Sülfat gibi) sınır değerleri aştığı gözlenmiş ve bu durumun bölgedeki yeraltı sularının içme suyu olarak kullanımını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir [12].

Topçu vd. (2020), Çanakkale–Biga Ovası yeraltı sularının durumunu değerlendirmek üzere bölgedeki 20 adet kuyudan örnek su numuneleri alarak EC, pH, K, Ca, Mg, Na, Nitrat, SAR ve B gibi parametreleri incelemiş ve sulama suyu kalitesi açısından yeraltı su kalite seviyelerini belirlemek amacıyla analiz etmiştir. Yirmi farklı noktadan alınan su örneklerinin analiz sonuçlarına göre ilgili parametrelerin SKKY sınır değerlerini aşmadıkları tespit edilmiştir [13].

Demir (2020), Gediz Havzası bünyesinde yeraltı suyu kalitesinin tahmin modelleri kullanılarak değerlendirilmesi konulu çalışmasında, Gediz Havzasında yer alan 392 kuyu ve kaynak noktalarından yeraltı su kalitesini değerlendirmek amacıyla örnekler toplamıştır. Toplanan su numunelerinde Na, K, Ca, Mg, Cl, Sülfat, Nitrat ve SAR olmak üzere 8 parametre analizi edilmiş ve sonuçlar SKKY ve TS 266'da verilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen veriler kullanılarak Kriging yöntemi ve Altunkaynak (2016) tarafından geliştirilen Tahmin Haritası (Prediction Map) yöntemi ile havza geneli için tahmin modelleri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında 392 noktada gerçekleştirilen analizlerin çoğunluğunun limit değerlerin altında kaldığı birkaç noktada sınır değerleri aştığı gözlemlenmiş olup bu kaynak ve kuyulardaki suların çalışma kapsamında içme-kullanma ve tarımsal

sulamada kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak aynı havzada daha önce yapılan çalışmalarda daha fazla sayıdaki numunelerin limit değerleri aştığı tespit edilmiştir. Bu nedenle bölgede daha fazla noktadan numune alınarak yeraltı su kalitesinin değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. [1].

Yuka (2021) tarafından yürütülen çalışmada, Mersin il sınırları içerisinde yer alan Tarsus Kıyı Akiferi'nin su kalitesi coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak değerlendirilmiş, bölgedeki yeraltı su kalitesinin mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuş ve kirletici kaynakları belirlenmiştir. Çalışma bölgesi içerisinde yer alan 87 adet kuyudan alınan örnek numunelerde pH, Nitrat, Na, F, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, As, Pb, Fe, Mn ve Zn gibi parametreler analizleri gerçekleştirilmiştir. Kuyulardan alınan örnek numunelerin fizikokimyasal özellikleri belirlenmiş ve Dünya Sağlık rgt tarafından tavsiye edilen su standartları ile karşılaştırılarak bu çalışmada içme amaçlı kullanımları değerlendirilmiştir. Kuyulardan alınan örnek numuneler WHO standartları ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlara göre içme suyunun kalitesindeki bozulmaya bölgedeki sanayi ve tarımsal faaliyetlerle birlikte, endüstriyel ve evsel atıksuların yeraltı sularına sızması ve kıyı akiferine deniz suyu girişinin etkili olduğu düşünülmüştür [14].

olak (2021) matematiksel eşitlikler ve grafiksel yöntemleri kullanarak yeraltı sularının sulamaya uygunluklarının belirlenmesi konulu tez çalışmasında, orum ilinin güney ve kuzeybatı bölgelerindeki yeraltı suyu kalitesini belirlemek amacıyla sulama amaçlı kullanılan 50 adet kuyudan örnekler almıştır. Bu alışma kapsamında alınan örneklerde EC, pH, Na, K, Ca, Mg ve Nitrat gibi parametrelerin analizleri gerçekleştirilmiş ve kuyu sularının sulamada kullanılabilme durumlarını belirlemek amacıyla SAR, %Na ve PI gibi değerler hesaplanmış ve CBS ortamında alansal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Çalışma alanın kuzey ve güney yarısında yeraltı sularının tuzluluk probleminin yoğunlaştığı bazı su kalite parametrelerinin çalışma alanındaki yeraltı sularında sulama açısından sorun oluşturduğu belirlenmiştir [15].

Aragaw ve Gnanachandrasamy (2021), alışmalarında Etiyopya'nın Arba Minch kasabasında yeraltı suyu kalite durumunu değerlendirmek amacıyla 14 adet kuyudan örnekler almış, kuyulardaki yeraltı sularını içme ve sulamaya uygunlukları bakımından değerlendirilmiş ve yeraltı su kalite parametrelerinin CBS ortamında mekânsal dağılımını haritalandırmışlardır. Bu alışma kapsamında alınan numunelerde pH, EC, SAR, Na, Ca, Mg, K gibi parametreler analiz edilmiştir. WHO ve Etiyopya içme suyu standartları (ES) ile karşılaştırılması neticesinde, kuzeybatı

kesimdeki birkaç saha dışında yeraltı sularının mevcut durumunun içme ve sulama amaçlı olarak kullanımının uygun olduğu ortaya konulmuştur [16].

Şener vd. (2022), Akşehir (Konya) Ovası Yeraltı Suyu Kalitesinin ve Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi konulu çalışmalarında Akşehir Gölü'nü besleyen yeraltı su kaynaklarının kalitesinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanından alınan 31 adet yeraltı su numunesi üzerinde fizikokimyasal ve ağır metal parametreleri ile nitrat analizleri yapmışlardır. İnceleme alanındaki bölgede yeraltı suyu kalitesinin içme suyu kullanımına uygun olmadığı tespit edilmiştir. İnceleme alanındaki yeraltı suyu kalitesinin sulama suyu olarak kullanımı için ise birtakım kısıtlamaların olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki en önemli kirletici kaynağın tarımsal faaliyetler olduğu saptanmıştır [17].

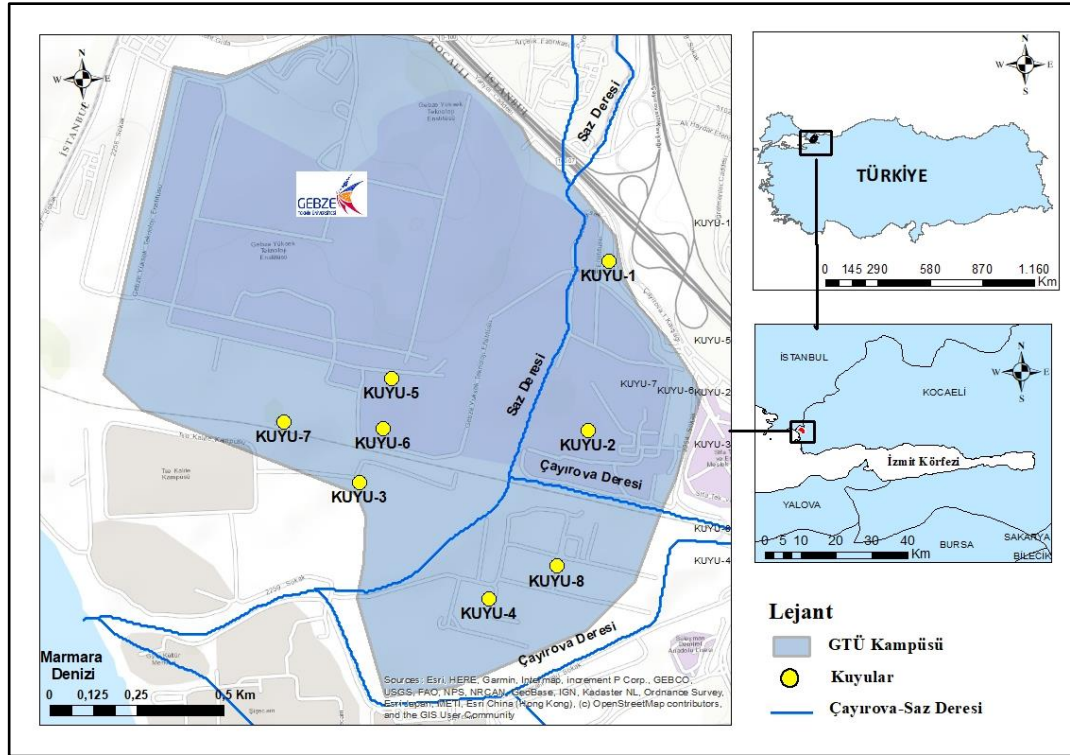
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında incelenen 8 adet kuyu Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Kocaeli ili, Gebze ilçesi sınırları içinde bulunan, 40°48' kuzey enlemleri ve 29°21' doğu boylamlarındaki 1,5 km²'lik bir alana sahip olan Gebze Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde yer almaktadırlar.

Marmara havzasında yer alan Saz-Çayırova Dereleri Gebze Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde geçmekte olup, Marmara Denizi'ne dökülmektedir.

Çalışma alanının ArcGIS 10.4.1 Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı kullanılarak hazırlanan lokasyon haritası Şekil 3.1'de sunulmuştur.

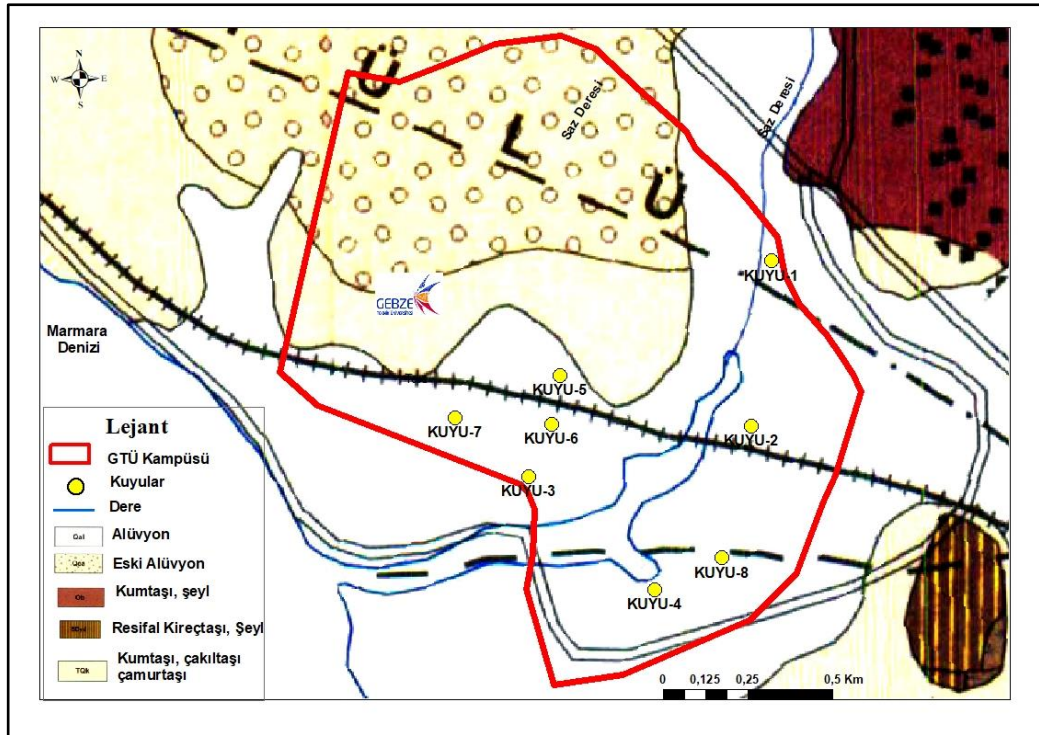


Şekil 3.1: Çalışma alanı haritası.

Çalışma alanı Kocaeli Yarımadası'nda karasal çökellerle temsil edilen Kuvaterner döneminde, çakıl, kum, silt, kil ve çamurlardan oluşan eski alüvyon ve

çakıl, silt, kum ve killerden oluşan güncel alüvyonal birimler yer alır. Gebze Teknik Üniversitesi bünyesindeki jeoloji uzmanından alınmış olan görüşe istinaden inceleme alanındaki akiferin üçüncü dönem yelpaze çökelleri ve akarsu kanal çökellerinden oluşan bir jeolojik yapıya sahip olduğu söylenebilir.

İnceleme alanının içerisinde bulunan üçüncü dönem yelpaze çökellerinin yapısında iri, ince kumlu çakıl taşları, kil ve çamur hakimdir. Akarsu kanal çökellerinde ise tane boyu çakıl ve kaba kumdan, ince kum ve siltlere kadar değişiklik göstermektedir. Çalışma alanının jeoloji haritası Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Çalışma alanı jeoloji haritası

3.2. Arazi Çalışmaları

Yeraltı su kalite seviyesinin belirlenmesi amacıyla 48 adet su numunesi 2021 yılının kuru (Temmuz-Ağustos-Eylül) ve yağışlı (Ekim-Kasım-Aralık) dönemlerini temsil eden toplam 6 ay boyunca aylık olarak örneklenmiştir. Su numunelerinin analizi hem arazide hem de laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Kampüs içerisinde yer alan kuyulara ilişkin koordinat noktaları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Gözlem İstasyonları Koordinatları.

Gözlem İstasyonu	Koordinatlar		Su Seviyesi (cm)
	Enlem	Boylam	
Kuyu-1	40°48'50.78''K	29°21'47.45''D	5,55
Kuyu-2	40°48'35.03''K	29°21'44.39''D	7,35
Kuyu-3	40°48'30.79''K	29°21'16.16''D	4,12
Kuyu-4	40°48'19.62''K	29°21'31.63''D	6,97
Kuyu-5	40°48'40.40''K	29°21'20.46''D	3,97
Kuyu-6	40°48'35.73''K	29°21'19.29''D	1,19
Kuyu-7	40°48'36.57''K	29°21'7.08''D	12,82
Kuyu-8	40°48'22.47''K	29°21'40.17''D	7,42

Şekil 3.3'te GTÜ kampüsü içerisindeki çalışmaya konu olan, Kuyu-5 ve Kuyu-7'den bir görsel eklenmiştir.



Şekil 3.3: Çalışma alanındaki kuyu örnekleri.

3.3. Su Kalitesi Parametreleri

Çalışma kapsamında ölçülen parametrelerin seçiminde; Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2008), Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Yönetmeliği (YSKBKKY) (2012), Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların

Korunması Yönetmeliği (TKNKKSKY) (2016), TSE İçme Suyu Standardı (TS 266-2005), Dünya Sağlık Örgütü (WHO-2017), Çevre Koruma Ajansı (EPA-2018) ve TSE Sulama Suyu Standardı (TS 7739) tarafından belirlenen limit değerler dikkate alınmıştır. Tez çalışmasında kuyulara ilişkin yeraltı sularının sınır değer bilgilerinin kullanıldığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin birinci maddesinin ikinci fıkrasında yer alan yeraltı sularının sınır değer bilgilerini içeren “su ortamlarının kalite sınıflandırmaları ve kullanım amaçlarını” ibaresi 17 Aralık 2022 tarihli ve 32046 sayılı Resmi Gazete’ de, yürürlükten kaldırılmıştır.

Kuyulardan alınan su numunelerinde gerçekleştirilen analizler Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Ayrıca kuyulardaki su seviyesi ölçümleri sahada izlenmiştir.

Tablo 3.2: Örnek numune analiz parametreleri.

Yerinde Ölçülen Parametreler	Laboratuvarda Ölçülen Parametreler
pH	Nütrientler (Toplam Fosfor, Nitrat)
Sıcaklık	Alkali ve Toprak Alkali Metaller
Elektriksel İletkenlik	(Kalsiyum, Magnezyum, Sodyum
Çözünmüş Oksijen	İz Elementler
	(Demir, Çinko, Kurşun, Kadmiyum, Krom, Nikel
	SAR ve Tuzluluk

Tez kapsamında izlenen su kalitesi parametrelerinin çevresel önemi ve analizlerinde uygulanan ölçüm yöntemleri aşağıdaki alt bölümlerde detaylı olarak sunulmuştur.

3.3.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri

Kuyulardaki yeraltı su kalitesi izleme çalışmalarında pH, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen, sıcaklık parametrelerinin ölçümleri arazide anlık olarak Hach Lange markalı HQ40D çift kanallı multimetre portatif cihazı ile arazide yerinde

gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4). Ayrıca her bir kuyu için aylık olarak su seviyesi ölçümleri de yapılmıştır.



Şekil 3.3: Hach Lange-HQ40D çift kanallı multimetre.

pH, H^+ ve OH^- iyonlarından oluşan, suların asidik ya da bazik özellikte olduğunu gösteren bir parametredir. Saf suyun pH değeri 7 iken, pH değeri 7'den küçük olan sular asidik özellik büyük olanlar ise bazik özellik göstermektedir. Yeryüzündeki pH değişiminin sebeplerinden bir kısmı da toprak yapısı, sanayi atıkları, drenaj suları ve fitoplanktonlardır. [18]. Sulama sularının pH değerlerinin 6.5-8.4 arasında olması tavsiye edilmektedir. Sulama sularında pH parametresinin belirtilen değerlerden farklı olması, bitkilerde beslenmenin dengesizleşmesine veya toksik etkili maddelerin birikimine neden olmaktadır[19]. TS-266'a göre içme sularının pH değerlerinin ise 6,5-9,5 arasında olması tavsiye edilmektedir.

Sıcaklık; yeryüzündeki su kaynaklarının sıcaklık değişimleri; iklimlere, hava sirkülasyonuna, su kaynağının bulunduğu alana, suyu akışına ve derinliğine bağlıdır[20]. Su ortamındaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler sıcaklık değişimlerinden etkilenmektedir.[21].

Çözünmüş Oksijen (ÇO); Sulardaki çözünmüş oksijen konsantrasyon değeri; suyun sıcaklığına, bulunduğu alandaki akış hızına, suyun kirlenme durumuna, atmosferin kısmi basıncına, tuz miktarına ve biyolojik olaylara bağlıdır [22]. Su içerisindeki çözünmüş oksijenin birimi mg/L'dir. Sulardaki yeraltı sularının atmosferle temasının düşük olması yüzey sularına göre daha düşük çözünmüş oksijen

içeriğine sahip olmalarına neden olmaktadır [23]. Tablo 3.3'te çözülmüş oksijeninde dahil olduğu bazı parametrelere ilişkin ulusal ve uluslararası limit değerleri verilmiştir.

Tablo 3. 3: Sıcaklık, pH, ÇO için yönetmelik ve standartlar.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği -Tablo 1: Kıtaiçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (SKKY-2008)					(WHO-2017)	(EPA-2018)
Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları					
	I (çok iyi)	II (iyi)	III (orta)	IV (zayıf)		
Sıcaklık (°C)	25	25	30	> 30	-	-
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0 Dışında	6.5-8.5	6.5-8.5
ÇO (mg O ₂ /L) ^A	8	6	3	< 3	-	-

Elektriksel İletkenlik (EC); suların elektriği iletme derecelerinin bir göstergesidir. Suyun elektriksel iletkenlik birimi $\mu\text{s}/\text{cm}$ 'dir [24]. Elektriksel iletkenlik parametresi sulama suyu kalitesini belirleyen parametrelerden biri olmakla birlikte yeraltı suyunun tuzluluğunun belirlenmesinde kullanılan önemli parametrelerden biridir. Yüzey sularının elektriksel iletkenliği yer altı suları gibi geniş bir pencerede değişmez. Bir yeraltı suyunun yeryüzüne ulaşması sürecinde elektriksel iletkenliği etkileyen birçok koşul vardır. Kayaçların cinsi, bölgeye hakim olan iklim ve bölgedeki yağış miktarları bu koşulların bir kısmıdır[8]. Tablo 3.4'te elektriksel iletkenlik parametresine ilişkin ulusal içme suyu standardı verilmiştir.

Tablo 3.4: EC parametresine ilişkin ulusal içme suyu standardı.

TSE İçme Suyu Standardı (TS 266-2005)		
PARAMETRE	SU KALİTE SINIFLARI	
	I	II
EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	650	2500

3.3.2. Laboratuvarda Ölçülen Parametreler

Çalışma alanındaki yeraltı su kalite parametrelerinin belirlenmesi amacıyla kuyulardaki tuz, nitrat, kalsiyum, magnezyum, sodyum, demir, çinko, bakır, kurşun, kadmiyum, krom, nikel, fosfor parametrelerine ilişkin analizler Gebze Teknik

Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü ve Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği laboratuvarlarında yapılmıştır.

Laboratuvar ortamında analizi gerçekleştirilen parametreler tez çalışması kapsamında aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

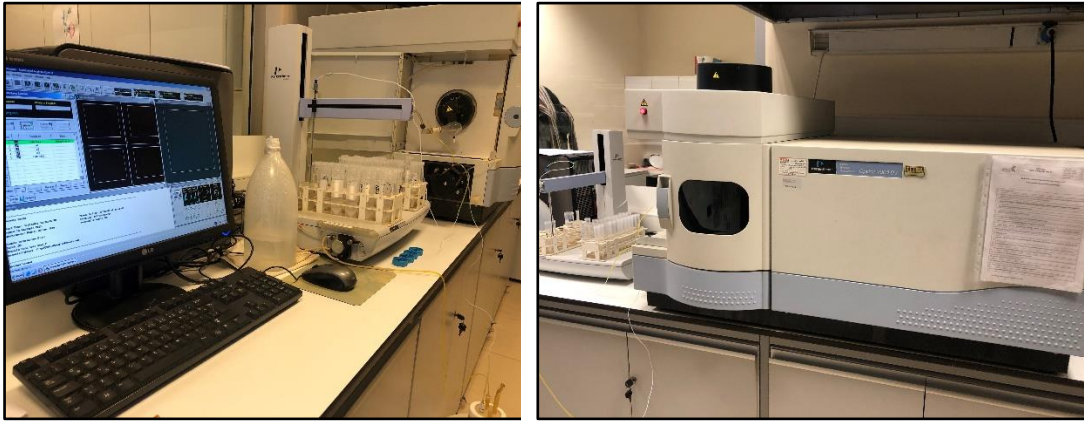
- Nutrientler: Toplam Fosfor, Nitrat
- Alkali ve Toprak Alkali Metaller: Kalsiyum, Magnezyum, Sodyum
- İz Elementler: Demir, Çinko, Kurşun, Kadmiyum, Krom, Nikel
- SAR ve Tuzluluk

Kuyulardaki yeraltı su kalite parametrelerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen analizlere ilişkin cihazlar Tablo 3.5’ te gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Analizler ve Ölçüm Cihazları.

Deney Adı	Ölçüm Cihazı
Nitrat Azotu (NO ₃ -N)	Thermo Scientific Genesys 150 UV- Visible spektrofotometre
Tuzluluk	Hachlange HQ40D-çift kanallı multimetre
Mg, Ca, Na, Fe, Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Ni, P,	Perkin & Elmer model İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrofotometre

Şekil 3.5’te kuyu sularındaki alkali metaller ve iz elementlerin analizlerinin gerçekleştirildiği ICP-OES spektrofotometre cihazı görülmektedir.



Şekil 3. 4: ICP – OES spektrofotometre cihazı.

Toplam Fosfor (TP) ; Doğal sularda fosforun kaynağını kayaçların oluşturduğu bilinmektedir. Bununla beraber, atıksuların su ortamına kontrol dışı deşarjı, organik maddelerin suda bozunması, tarımda kullanılmakta olan gübrelerin suya büyük

miktarlarda karışması gibi nedenlerle de sularda fosfor içeriğinin arttığı gözlenmektedir [25].

Tablo 3.6’da alkali ve toprak alkali metaller, iz elementler ve TP parametrelerine ilişkin yönetmelik limit değerleri de verilmiştir.

Tablo 3.6: Alkali ve toprak alkali metaller, iz elementler ve TP parametrelerine ilişkin yönetmelik ve standartlar.

SU KALİTE PARAMETRELERİ	SKKY				TS 266		WHO	EPA
	SU KALİTE SINIFLARI				SU KALİTE SINIFLARI			
	I	II	III	IV	I	II		
TP (mg/L)	0.02	0.16	0.65	> 0.65	-	-	-	-
Na (mg/L)	125	125	250	> 250	100	200	200	-
Cd(µg/L)	3	5	10	> 10	-	5	3	5
Pb(µg/L)	10	20	50	> 50	-	10	10	15
Cr (µg/L)	-	20	50	> 50	-	50	50	100
Ni (µg/L)	20	50	200	> 200	-	20	70	-
Zn (µg/L)	200	500	2000	> 2000	-	-	300	500
Fe (µg/L)	300	1000	5000	> 5000	-	200	300	300
Ca(mg/l)	-	-	-	-	75	200	300	-
Mg(mg/l)	-	-	-	-	50	150	-	-

Nitrat (NO₃-N); yeraltı sularında kirliliğe neden olan parametrelerin en önemlilerinden biri de sularda çözülmüş haldeki azot bileşikleridir [26]. Yeraltı sularının kalitesinin belirlenmesinde rol oynayan kirleticilerden biri olan Azotun çözülmüş formu Nitrat (NO₃-N) şeklinde bulunur. Sucul ortamlarda büyük oranda çözünen inorganik kimyasal olan nitratlar; tarımsal, evsel ve endüstriyel faaliyetler sonucunda su ortamlarında yüksek konsantrasyonlara ulaşabilmektedir [27].

Yüzey ve yeraltı sularındaki nitrat kirliliği, topraktaki organik maddelerin biyolojik olarak parçalanması, fazla miktarda tarımsal ilaç ve gübre kullanımı ve evsel ve endüstriyel atık suların kontrolsüz deşarjı olmak üzere başlıca üç nedenden oluşmaktadır [28]. Sularda 5-10 mg/L kadar nitrat bulunması durumunda bu sularda kirlilik tehdidi olduğu kabul edilmekte ve içme suyu olarak kullanılması durumunda mutlaka bakteriyolojik analizler yapılması gerekmektedir[29]. Tablo 3.7’de NO₃-N parametresine ilişkin ulusal ve uluslararası limit değerleri verilmiştir.

Tablo 3.7: NO₃-N için ulusal ve uluslararası limit değerleri

Nütrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	SKKY				TS 266		WHO	EPA	TKNKKSKY	YSKBKKHY
	SU KALİTE SINIFLARI				SU KALİTE SINIFLARI					
	I	II	III	IV	I	II				
	5	10	20	> 20	25	50	50	10	50	50

Kalsiyum (Ca); suyun yeraltına inerken kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jips gibi yapıları çözümesiyle meydana gelen mineraldir. Az tuzlu ve hareketli sularda bol miktarda Ca bulunur[30]. Suyu sertlik özelliği veren en önemli parametredir.

Magnezyum (Mg); yeraltı sularında bulunan bir diğer mineral olan magnezyumun ana kaynağı dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit vb.) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsid, tremolittir. [4]. Yeraltı sularında en fazla bulunan ikinci katyon magnezyumdur[31]. Yeraltı sularında 125 mg/L'den fazla magnezyum bulunması durumunda suların tadı acılaşmakta ve sular içilemez hale gelmektedir [32]. Magnezyum parametresi de kalsiyum gibi suyun sertlik özelliğini arttırmaktadır.

Sodyum (Na); doğal sularda bulunan alkali metallerin en önemlisi ve en fazla bulunan iyonlardan biridir [33]. Doğal kaynaklar dışında insan faaliyetleri de yüzey suları ve yeraltı sularındaki Na parametresi açısından önemli bir etkiye sahiptir. Sulardaki Na konsantrasyonunun artışına; evsel ve endüstriyel atıksular, kıyı bölgelerindeki deniz suyu girişimi, petrol kuyusu sondajlarından kaynaklanan drenaj suları, kış mevsiminde buzlanmanın önüne geçilmesi amacıyla yollara serpilmiş tuzlar sebep olmaktadır. [25]. Yeraltı sularının Na konsantrasyonunun genellikle 6-130 mg/L arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Sudaki Na konsantrasyonunun 200 mg/L'yi aşması suyun tadını bozabilir [34].

Demir (Fe); yer kabuğunu oluşturan elementlerden biridir. Yerüstü ve yeraltı su kaynaklarında bulunan demir; bölgedeki kayalardan, sanayi atıklarından, kömür yataklarının drenaj sularından, asidik madenlerin drenaj sularından, madencilik endüstrisi atıklarından, ayrıca pek çok alanda kullanılan demir ve çelik malzemelerinin korozyonundan kaynaklanır [35]. Yüksek konsantrasyonda Fe içeren içme suyunun içilmesi hemosideroz olarak adlandırılan karaciğer hastalığına yol açabilir [36].

Çinko (Zn); yer kabuğunun %0,004'ünü oluşturmaktadır [37]. Zn nadiren eser miktardan daha fazla kuyu sularında doğal olarak bulunur. Suyun elektriksel iletkenliğini artırarak kimyasalların geçişini kolaylaştırır [38].

Kurşun (Pb); Sularda bulunan kurşun parametresi, bölgedeki kayalardan, o bölgeye ait topraktan ve özellikle insan faaliyetlerinden dolayı artış göstermektedir. Kurşun toksik bir elementtir bu sebeple içme ve kullanma sularında ancak 25 µg/L kadar Pb konsantrasyonuna müsaade edilebilir [35].

Kadmiyum (Cd); yeryüzünde yalnızca bileşikler halinde bulunur ve bazı durumlarda diğer bir kısım elementlerin yerini alabilir. Kadmiyum mineralleri genellikle çinko yataklarının bozunumundan ortaya çıkan kadmiyum iyonları tarafından oluşturulur [35].

Krom (Cr); sulardaki krom konsantrasyonu kayalardan, genellikle endüstriyel kullanımlardan ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanır [35].

Nikel (Ni); sulardaki nikel konsantrasyonu; bölgedeki kayalardan, o bölgeye has topraktan, nikel cevherlerinin işletilmesinden, fosil yakıtların fazlaca kullanılmasından ve nikelin sanayide kullanımından kaynaklanır. Ni parametresi de toksik bir elementtir. İçme kullanma sularında mümkün olduğunca bulunması istenmez ancak 20 µg/L'ye kadar müsaade edilebilir [35].

SAR; Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) kavramı değişebilir sodyum elementinin toprağın fiziksel özellikleri üzerine olan etkisine dayanmaktadır [39].

SAR, yeraltı sularının tarımsal sulamada kullanıma uygunluğunu değerlendirmek için ölçülmesi gereken önemli parametrelerden biridir. Sodyum içeriği yüksek yeraltı sularının sulama amacıyla kullanılması, toprağın sodyum içeriğinin değişimini artırabilir ve böylece toprak geçirgenliğini ve toprak yapısını azaltabilir. Yüksek SAR değerlerine sahip su kullanılarak yapılan sulamalarda, sodyum yüksekliği sebebi ile topraktaki kalsiyum ve magnezyumun yerini almaktadır. Bu sebeple yüksek SAR değerlerine sahip sulama suyu kullanımlarında toprağa uzun vadeli zarar vermemek için toprak ıslahına ihtiyaç duyabilir [16]. Tablo 3.8'de SAR değerlerinin TS 7739'a göre sulama suyu sınıfları verilmiştir.

SAR formülü aşağıda 3.1 denkliği ile verilmiştir. Birimler meq/L olarak kullanılmıştır.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}} \quad (3.1)$$

Tablo 3. 8: Sodyum adsorpsiyon oranına göre suların sınıflandırılması (TS 7739).

SAR	Sulama Suyu Sınıfı	Su Kalitesi
SAR<10	MÜKEMMEL	I.SINIF
10<SAR<18	İYİ	II.SINIF
18<SAR<26	ŞÜPHELİ	III.SINIF
26<SAR	UYGUN DEĞİL	IV.SINIF

Tuzluluk; bir kilogram sudaki çözülmüş halde bulunan katı maddelerin gram cinsinden değeri olmakla birlikte sulardaki çözülmüş mineral madde konsantrasyonu olarak da ifade edilebilir[40]. Tuzluluk miktarı buharlaşma ve atıkların sularla karışmasıyla artarken, yağmurlar, buzul erimeleri ve tatlı su karışımlarıyla azalma eğilimi gösterir [41]. Sularda tuzluluk derişimleri oksijen çözünebilirliği ile ters orantılı olup tuzluluk artıkça sudaki oksijen azalır [42]. Tuzluluk kurak dönemlerde sulara buharlaşmanın artmasıyla artarken, yağışlı dönemlerde ise tuzluluk miktarı azalmaktadır. Elektriksel iletkenlik parametresinin değışimi ile paralellik gösterir.

Tez çalışması kapsamında her bir kuyu için elde edilen su kalitesi parametrelerin konsantrasyon değeri, ulusal ve uluslararası yönetmelik ve standartlar ile karşılaştırılarak, YAS kirlilik düzeyleri ve su kalite sınıfları belirlenmiştir. Su örneklerinde belirtilen parametrelerin analizi yapıldıktan sonra su kalitesi değeri zamansal değışimleri incelenmiştir. Power BI uygulaması kullanılarak her kuyu için YAS kalite parametrelerinin analiz sonuçlarına ilişkin grafikler oluşturulmuştur.

Bunun yanı sıra su kalitesi parametrelerinin alansal değışimleri de incelenmiş, kampüs içerisinde yer alan kuyulardaki, kurak ve yağışlı dönemlere ilişkin ortalama su kalitesi değeri hesaplanmış ve ArcGIS 10.4.1. yazılım uygulaması kullanılarak bu değeri haritalandırılmıştır.

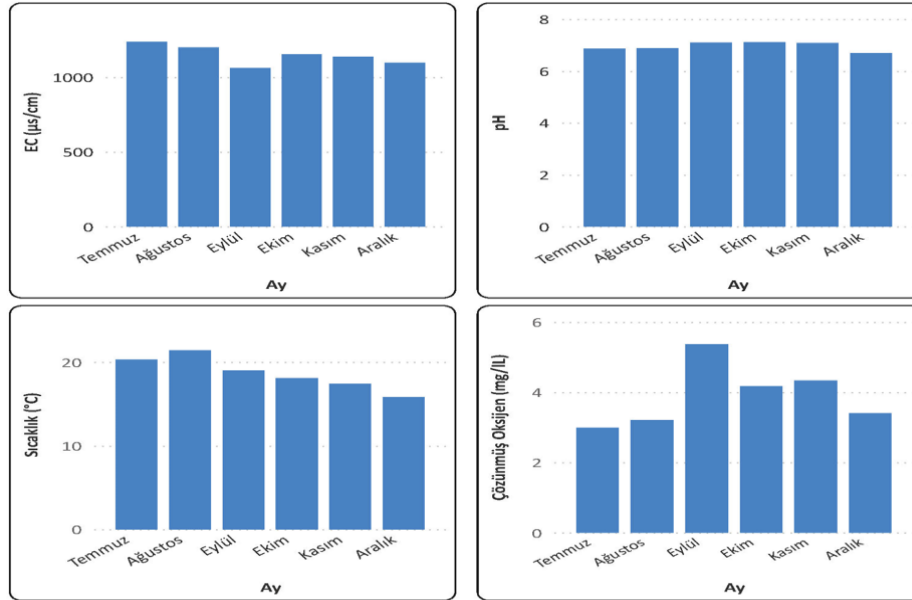
4. SU KALİTESİ PARAMETRELERİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

4.1. Kuyu-1

4.1.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri

Çalışma alanındaki kuyulardan alınan örneklerde Kuyu-1 için aylık EC konsantrasyonlarının değeri 1063-1239 $\mu\text{s}/\text{cm}$ arasındadır. En düşük EC konsantrasyon 1063 $\mu\text{s}/\text{cm}$ değeri ile Eylül ayında, en yüksek EC Konsantrasyon değeri ise 1239 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.1). TS 266'a göre Kuyu-1 için aylık EC konsantrasyon değerleri II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Aylık pH değerleri 6,69-7,11 arasında değişmektedir. En düşük pH değeri 6,69 ile Aralık'ta, en yüksek pH ise 7,11 ile Ekim'de ölçülmüştür (Şekil 4.1). Kuyu-1 için aylık ölçülen pH değerleri yönetmeliklerde ve standartlarda belirlenen sınır değerler arasındadır.



Şekil 4.1: Kuyu-1 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.

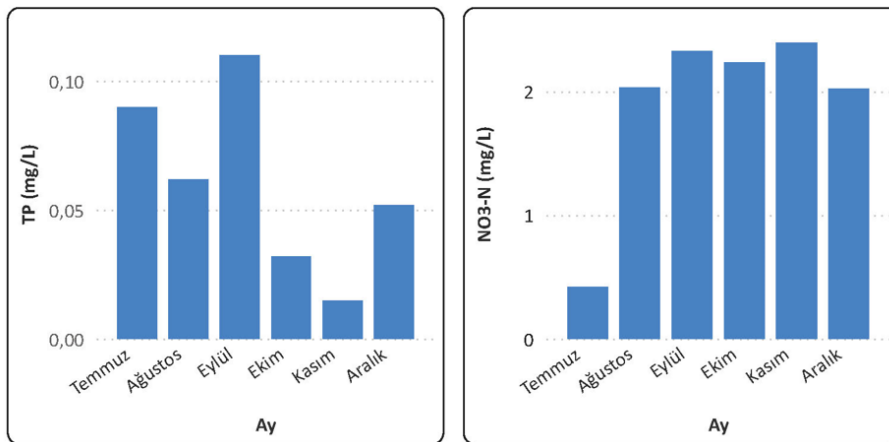
Sıcaklık değerleri 15,8-21,4 °C arasında değişmektedir. Aralık ayında en düşük sıcaklık 15,8 °C iken, en yüksek sıcaklık değeri 21,4 °C ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.1). SKKY (2008)'e göre Kuyu-1 için aylık ölçülen sıcaklık değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyon değerleri 2,99-5,37 mg/L arasındadır. En düşük ÇO konsantrasyon 2,99 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek ÇO konsantrasyon değeri 5,37 mg/L ile Eylül'de analiz edilmiştir. (Şekil 4.1). SKKY (2008)'e göre Kuyu-1 Temmuz ayında IV. Sınıf su kalitesi sınıfında yer alırken, diğer aylarda ise II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.1.2. Nutrientler

Aylık toplam fosfor (TP) konsantrasyonları 0,015-0,110 mg/L arasındadır. En düşük TP konsantrasyon değeri 0,015 mg/L ile Kasım'da, en yüksek TP konsantrasyon değeri ise 0,110 mg/L ile Eylül'de ölçülmüştür (Şekil 4.2). Kuyu-1 için aylık ölçülen TP konsantrasyon değerleri SKKY (2008)'e göre Kasım'da I. Sınıf diğer aylarda ise II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) konsantrasyon değerleri 0,420-2,393 mg/L arasında değişmektedir. En düşük $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyon değeri 0,420 mg/L ile Temmuz'da, en yüksek $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonu ise 2,393 mg/L ile Kasım'da ölçülmüştür (Şekil 4.2). Kuyu-1 için aylık ölçülen $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyon değerleri yönetmeliklerde ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamıştır.

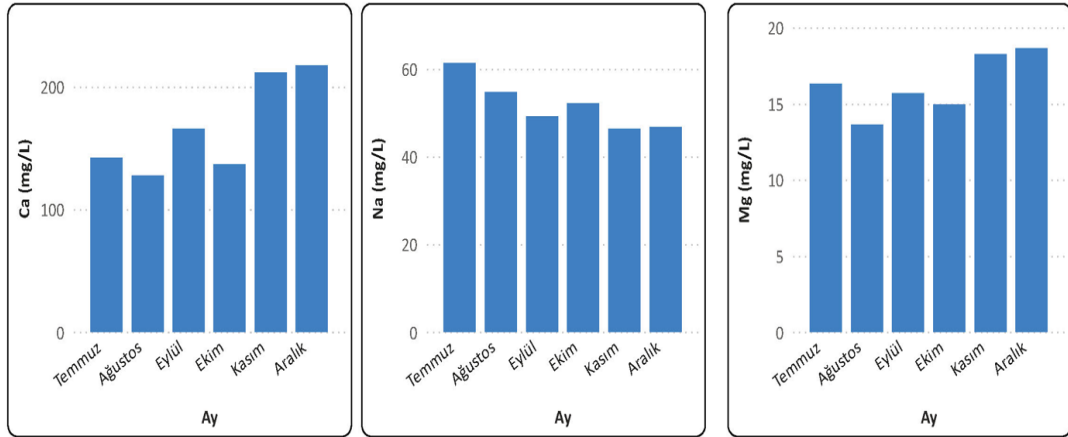


Şekil 4.2: Kuyu-1 nütrientlerin aylık değişimi.

4.1.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller

Aylık Ca konsantrasyon değerlerinin 127,6-217,4 mg/L arasında değiştiği gözlenmiştir. En düşük Ca konsantrasyonu 127,6 mg/L ile Ağustos'ta, en yüksek Ca konsantrasyon değeri ise 217,4 mg/L ile Aralık'ta ölçülmüştür (Şekil 4.3). TS 266'a göre Kuyu-1 için aylık Ca konsantrasyon değerleri Temmuz-Ağustos-Eylül-Ekim aylarında II. Sınıf su kalitesi sınıfında yer alırken Kasım ve Aralık aylarında TS 266'da izin verilen maksimum sınır değerini aşmıştır. WHO'ya göre ise Ca konsantrasyon değerleri sınır değeri aşmamıştır.

Mg konsantrasyon değerlerinin 13,63-18,65 mg/L arasında değiştiği gözlenmiştir. En düşük Mg konsantrasyon değeri 13,63 mg/L ile Ağustos'ta, en yüksek Mg konsantrasyon değeri ise 18,65 mg/L ile Aralık'ta tespit edilmiştir (Şekil 4.3). TS 266'a göre Kuyu-1 için aylık Mg konsantrasyon değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.



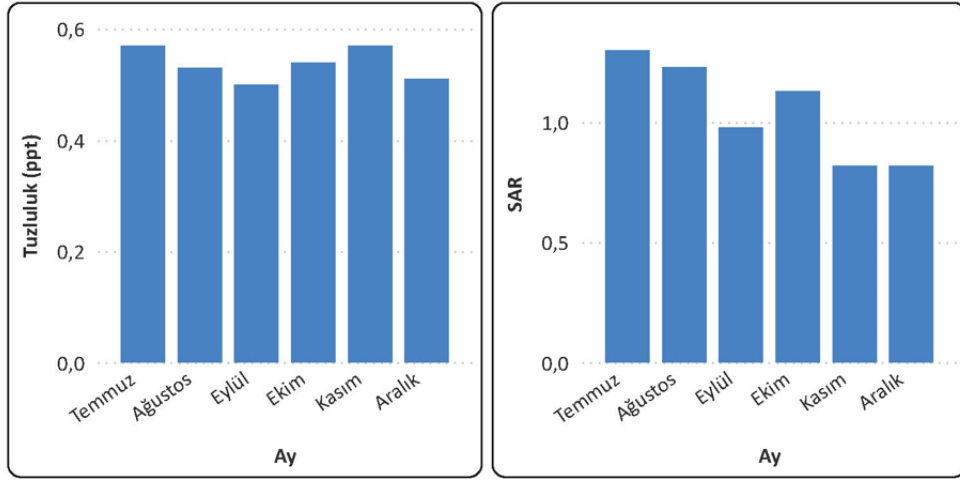
Şekil 4.3: Kuyu-1 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.

Na konsantrasyon değerlerinin 46,3-61,39 mg/L arasında değiştiği tespit edilmiştir. En düşük Na konsantrasyon değeri 46,3 mg/L ile Kasım'da, en yüksek Na konsantrasyon değeri ise 61,39 mg/L ile Temmuz'da ölçülmüştür (Şekil 4.3). Kuyu-1 için aylık ölçülen Na konsantrasyon değerleri yönetmeliklerde belirlenen sınır değerleri aşmamakta ve TS 266 ve SKKY (2008)'e göre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.1.4. SAR ve Tuzluluk

Aylık hesaplanan SAR değerleri 0,82-1,30 arasında değişmektedir. En düşük SAR değeri 0,82 ile Kasım ve Aralık aylarında, en yüksek SAR değeri ise 1,30 ile Temmuz ayında gözlenmiştir (Şekil 4.4). Kuyu-1 için aylık hesaplanan SAR değerleri TS 7739'a göre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Tuzluluk konsantrasyon değerleri 0,50-0,57 arasında değişmektedir. En düşük tuzluluk değeri 0,50 ile Eylül ayında, en yüksek tuzluluk değeri ise 0,57 ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Kuyu-1 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimleri.

4.2. Kuyu-2

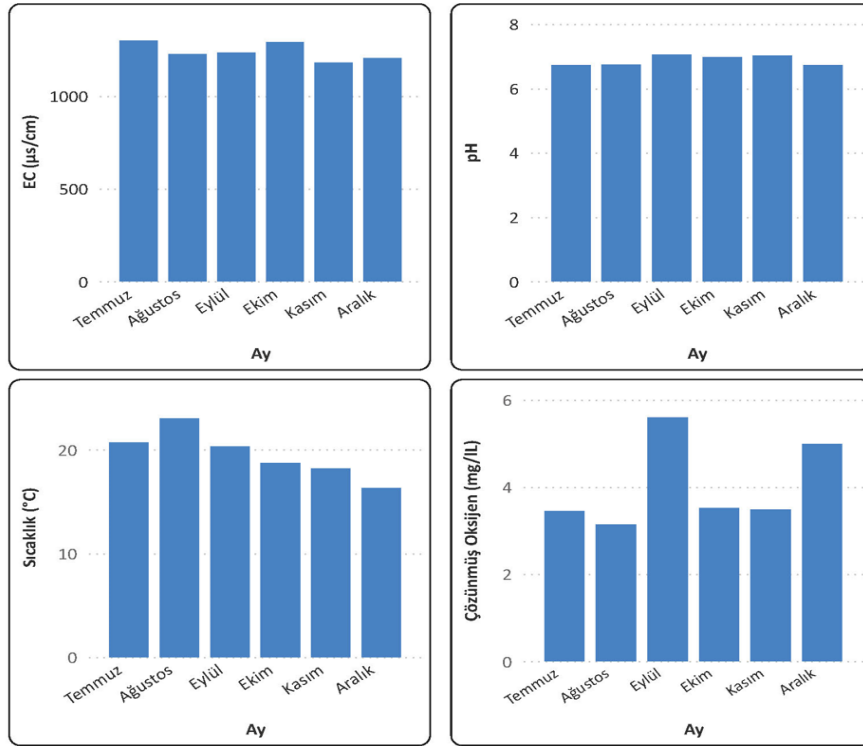
4.2.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri

Aylık EC konsantrasyonlarının değeri 1180-1299 $\mu\text{s}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. En düşük EC konsantrasyon değeri 1180 $\mu\text{s}/\text{cm}$ değeri ile Kasım ayında, en yüksek EC Konsantrasyon değeri ise 1299 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.5). TS 266'a göre Kuyu-2, aylık EC konsantrasyon değerleri II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

pH değerleri 6,72-7,05 arasında değişmektedir. En düşük pH değeri 6,72 ile Temmuz ayında, en yüksek pH değeri ise 7,05 ile Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 4.5).

Kuyu-2 için aylık ölçülen pH değerleri yönetmeliklerde ve standartlarda belirlenen sınır değerleri arasındadır.

Sıcaklık değerleri 16,3-23,0 °C arasında değişmektedir. En düşük sıcaklık değeri 16,3 °C ile Aralık ayında, en yüksek sıcaklık değeri ise 23,0 °C ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.5). SKKY (2008)'e göre Kuyu-2 için aylık ölçülen sıcaklık değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.



Şekil 4.5: Kuyu-2 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.

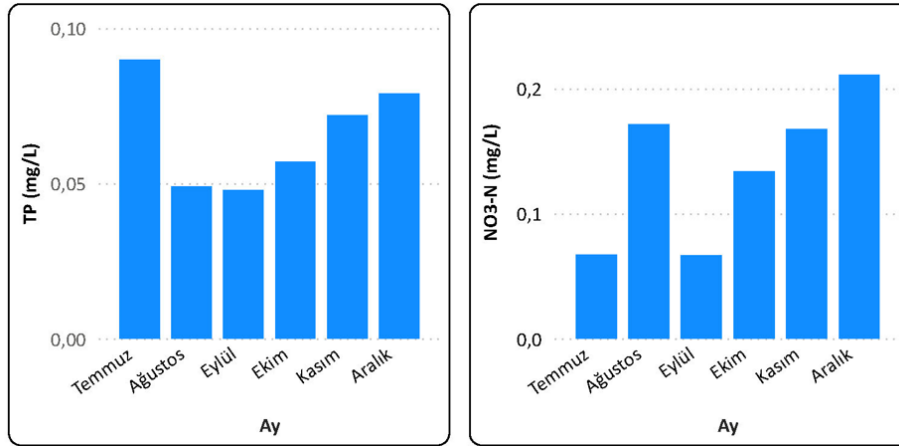
ÇO konsantrasyon değerleri ise 3,14-5,60 mg/L arasında değişmektedir. En düşük ÇO konsantrasyon değeri 3,14 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek ÇO konsantrasyon değeri ise 5,60 mg/L ile Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 4.7). SKKY(2008)'e göre Kuyu-2 ÇO bakımından II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.2.2. Nutrientler

Aylık TP değerleri 0,048-0,090 mg/L arasında değişmektedir. En düşük TP değeri 0,048 mg/L ile Eylül ayında, en yüksek TP değeri ise 0,090 mg/L ile Temmuz

ayında ölçülmüştür (Şekil 4.6). Kuyu-2 için aylık ölçülen TP değerleri SKKY(2008)'e göre II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

NO₃-N konsantrasyon değerleri 0,067-0,211 mg/L arasında değişmektedir. En düşük NO₃-N konsantrasyon değeri 0,067 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek NO₃-N konsantrasyon değeri ise 0,211 mg/L ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.6). Kuyu-2 için aylık ölçülen NO₃-N konsantrasyon değerleri yönetmeliklerde ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamıştır.

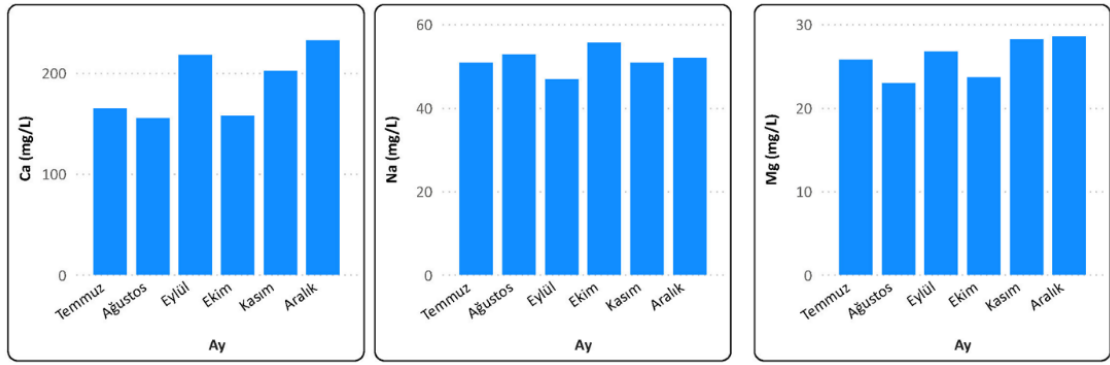


Şekil 4. 6: Kuyu-2 nütrientlerinin aylık değişimi.

4.2.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller

Aylık Ca konsantrasyon değerleri 154,8-232,0 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Ca konsantrasyon değeri 154,8 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek Ca konsantrasyon değeri ise 232,0 mg/L ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.7). TS 266'a göre Kuyu-2 için aylık Ca konsantrasyon değerleri Temmuz-Ağustos-Ekim aylarında II. Sınıf su kalitesi sınıfında yer alırken Eylül, Kasım ve Aralık aylarında TS 266'a göre maksimum izin verilen sınır değerini aşmıştır. WHO'ya göre ise Kuyu-2 için yapılan ölçümlerde Ca Konsantrasyon değerleri sınır değeri aşmamıştır.

Mg konsantrasyon değerleri 22,97-28,58 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Mg değeri 22,97 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek Mg konsantrasyon değeri ise 28,58 mg/L ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.7). TS 266'a göre Kuyu-2 için aylık Mg konsantrasyon değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.



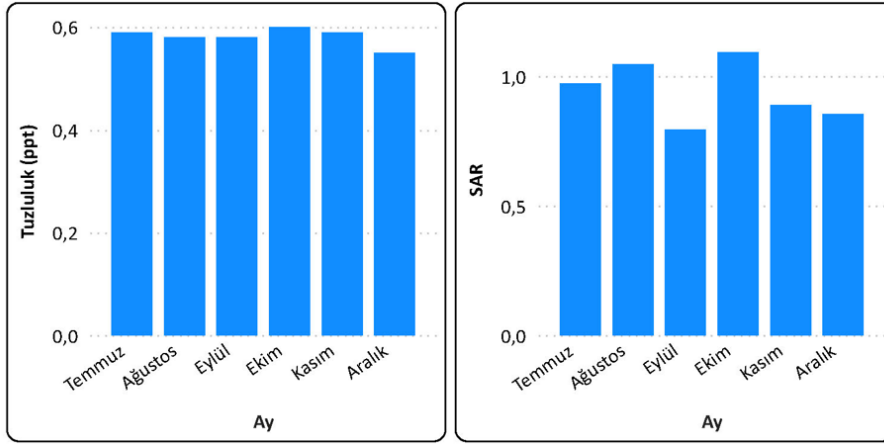
Şekil 4.7: Kuyu-2 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.

Na konsantrasyon değeri 46,78-55,64 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Na konsantrasyon değeri 46,78 mg/L ile Eylül ayında, en yüksek Na konsantrasyon değeri ise 55,64 mg/L ile Ekim ayında ölçülmüştür (Şekil 4.7). Kuyu-2 için aylık ölçülen Na konsantrasyon değerleri yönetmelikler ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamakla birlikte TS 266 ve SKKY (2008)'e göre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.2.4. SAR ve Tuzluluk

Aylık hesaplanan SAR değerleri 0,80-1,09 arasında değişmektedir. En düşük SAR değeri 0,80 ile Eylül ayında, en yüksek SAR değeri ise 1,09 ile Ekim ayında gözlenmiştir (Şekil 4.8). Kuyu-2 için aylık hesaplanan SAR değerleri TS 7739'a göre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Tuzluluk konsantrasyon değerleri 0,55-0,60 arasında değişmektedir. En düşük tuzluluk konsantrasyon değeri 0,55 ile Aralık ayında, en yüksek tuzluluk konsantrasyon değeri ise 0,60 ile Ekim ayında ölçülmüştür (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Kuyu-2 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimi.

4.3. Kuyu-3

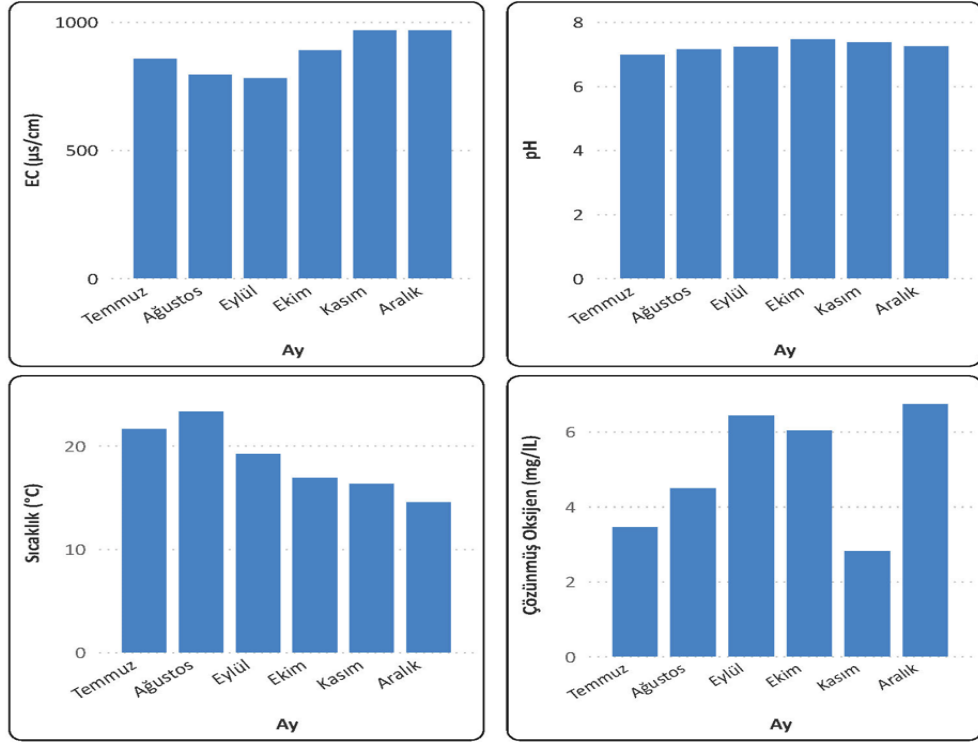
4.3.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri

Aylık EC konsantrasyonlarının değeri 781-967 $\mu\text{s/cm}$ arasında değişmektedir. En düşük EC konsantrasyon değeri 781 $\mu\text{s/cm}$ değeri ile Eylül ayında, en yüksek EC Konsantrasyon değeri ise 967 $\mu\text{s/cm}$ ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.9). TS 266'a göre Kuyu-3 için aylık EC konsantrasyon değerleri II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

pH değerleri ise 6,98-7,46 arasında değişmektedir. En düşük pH değeri 6,98 ile Temmuz ayında, en yüksek pH değeri ise 7,46 ile Ekim ayında ölçülmüştür (Şekil 4.9). Kuyu-3 için aylık ölçülen pH değerleri yönetmeliklerde ve standartlarda belirlenen sınır değerler arasındadır.

Sıcaklık değerleri 14,5-23,3 $^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. En düşük sıcaklık değeri 14,5 $^{\circ}\text{C}$ ile Aralık ayında, en yüksek sıcaklık değeri ise 23,3 $^{\circ}\text{C}$ ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.9). SKKY(2008)'e göre Kuyu-3 için aylık ölçülen sıcaklık değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

ÇO konsantrasyon değerleri 2,81-6,73 mg/L arasında değişmektedir. En düşük ÇO konsantrasyon değeri 2,81 mg/L ile Kasım ayında, en yüksek ÇO konsantrasyon değeri ise 6,73 mg/L ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.9). SKKY(2008)'e göre Kuyu-3 Temmuz, Ağustos ayında II. Sınıf, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında I. Sınıf, Kasım ayında ise IV. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

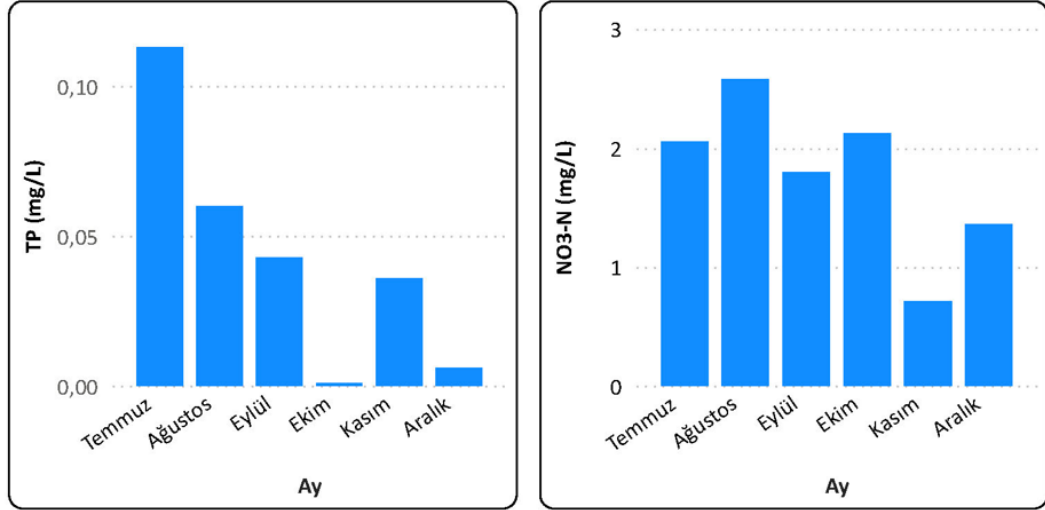


Şekil 4.9: Kuyu-3 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.

4.3.2. Nütrientler

Kuyu-3 için aylık TP konsantrasyon değerleri 0,001-0,113 mg/L arasında değişmektedir. En düşük TP konsantrasyon değeri 0,001 mg/L ile Ekim ayında, en yüksek TP konsantrasyon değeri ise 0,113 mg/L ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.10). Kuyu-3 için aylık ölçülen TP konsantrasyon değerleri SKKY(2008)'e göre Ekim ve Aralık aylarında I. Sınıf diğer aylarda ise II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

NO₃-N konsantrasyon değerleri ise 0,711-2,582 mg/L arasında değişmektedir. En düşük NO₃-N konsantrasyon değeri 0,711 mg/L ile Kasım ayında, en yüksek NO₃-N konsantrasyon değeri ise 2,582 mg/L ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.10). Kuyu-3 için aylık ölçülen NO₃-N konsantrasyon değerleri yönetmelikler ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamıştır.

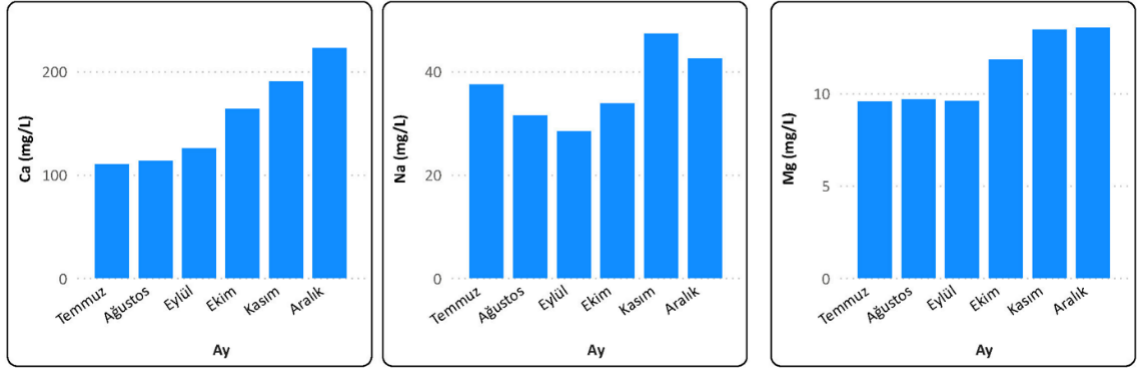


Şekil 4.10: Kuyu-3 nütrientlerin aylık değişimi.

4.3.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller

Aylık Ca konsantrasyon değerleri 110,2-222,4 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Ca konsantrasyon değeri 110,2 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek Ca konsantrasyon değeri ise 222,4 mg/L ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.11). TS 266'a göre Kuyu-3 için aylık Ca konsantrasyon değeri Aralık ayında maksimum izin verilen sınır değeri aşmıştır ancak diğer aylarda II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır. WHO'ya göre ise Ca konsantrasyon değerleri sınır değeri aşmamıştır.

Mg konsantrasyon değerleri 9,574-13,58 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Mg konsantrasyon değeri 9,574 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek Mg konsantrasyon değeri ise 13,58 mg/L ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.11). TS 266'a göre Kuyu-3 için aylık Mg konsantrasyon değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.



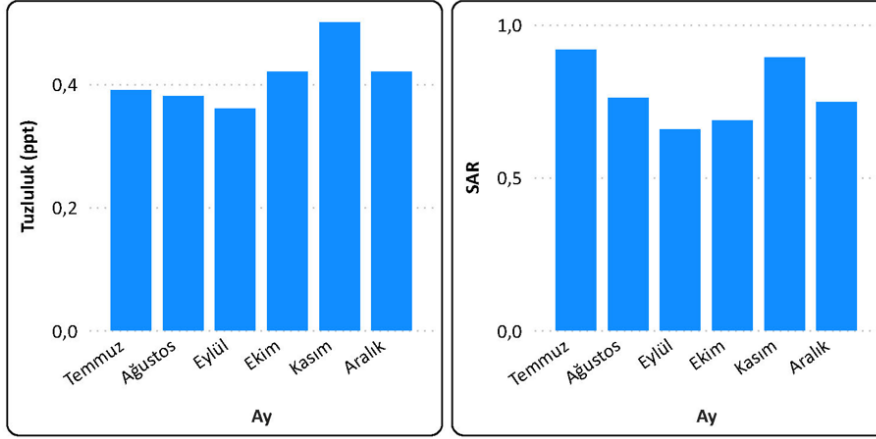
Şekil 4.11: Kuyu-3 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.

Na konsantrasyon değeri 28,42-47,32 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Na konsantrasyon değeri 28,42 mg/L ile Eylül ayında, en yüksek Na konsantrasyon değeri ise 47,32 mg/L ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.11). Kuyu-3 için aylık ölçülen Na konsantrasyon değerleri yönetmeliklerde ve standartta belirlenen sınır değerleri aşmamakla birlikte TS 266 ve SKKY(2008)'e göre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.3.4. SAR ve Tuzluluk

Aylık hesaplanan SAR değerleri 0,66-0,92 arasında değişmektedir. En düşük SAR değeri 0,66 ile Eylül ayında, en yüksek SAR değeri ise 0,92 ile Temmuz ayında gözlenmiştir (Şekil 4.12). Kuyu-3 için aylık hesaplanan SAR değerleri TS 7739'a göre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Tuzluluk konsantrasyon değerleri ise 0,36-0,50 arasında değişmektedir. En düşük tuzluluk konsantrasyon değeri 0,36 ile Eylül ayında, en yüksek tuzluluk konsantrasyon değeri ise 0,50 ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.12).



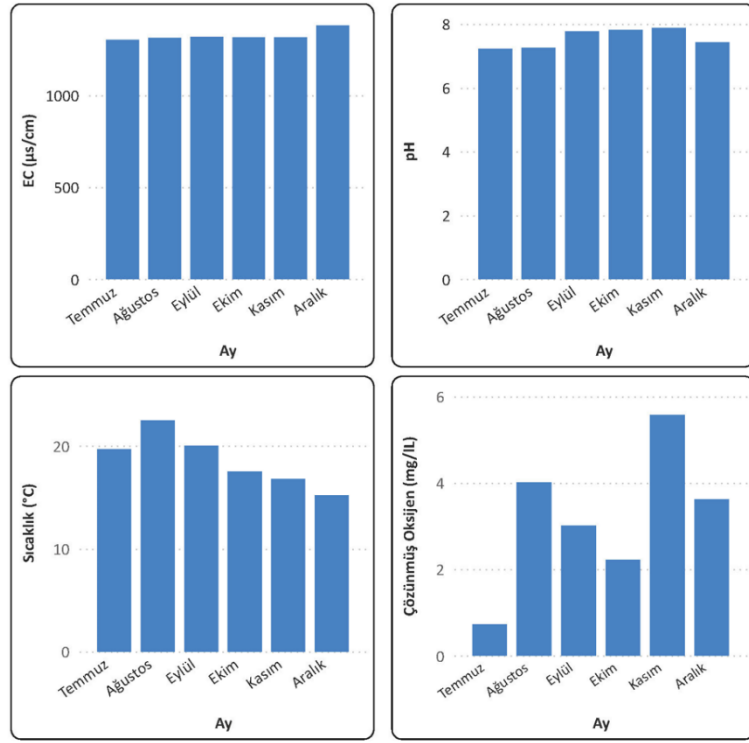
Şekil 4.12: Kuyu-3 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimleri.

4.4. Kuyu-4

4.4.1 Yerinde Ölçüm Parametreleri

Çalışma alanındaki kuyulardan alınan örneklerde Kuyu-4 için aylık EC konsantrasyonlarının değeri 1302-1381 $\mu\text{s}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. En düşük EC konsantrasyon değeri 1302 $\mu\text{s}/\text{cm}$ değeri ile Temmuz ayında, en yüksek EC Konsantrasyon değeri ise 1381 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.13). TS 266'a göre Kuyu-4 için aylık EC konsantrasyon değerleri II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

pH değerleri 7,22-7,88 arasında değişmektedir. En düşük pH değeri 7,22 ile Temmuz ayında, en yüksek pH değeri ise 7,88 ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.13). Kuyu-4 için aylık ölçülen pH değerleri yönetmelik ve standartlarda belirlenen sınır değerleri arasındadır.



Şekil 4. 13: Kuyu-4 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.

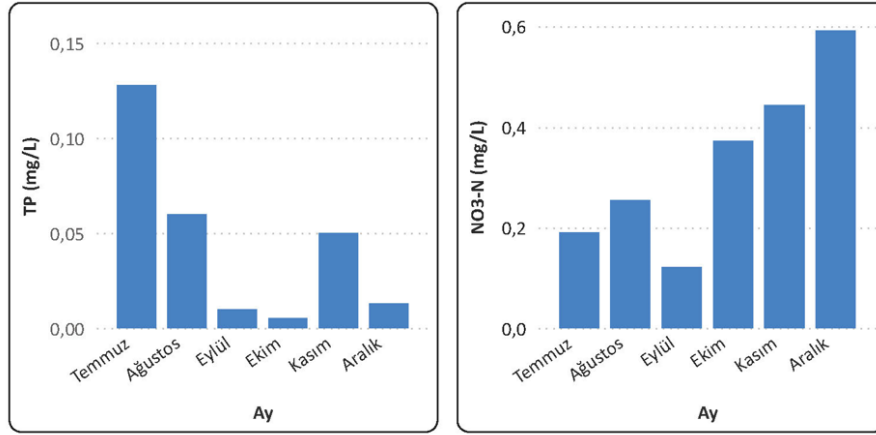
Sıcaklık değişimi 15,2-22,5 °C arasında değişmektedir. En düşük sıcaklık değeri 15,2 °C ile Aralık ayında, en yüksek sıcaklık değeri ise 22,5 °C ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.13). SKKY(2008)'e göre Kuyu-4 için aylık ölçülen sıcaklık değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

ÇO konsantrasyon değerleri 0,73-5,57 mg/L arasında değişmektedir. En düşük ÇO konsantrasyon değeri 0,73 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek ÇO konsantrasyon değeri ise 5,57 mg/L ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.13). SKKY (2008)'e göre Kuyu-4 Temmuz ve Ekim aylarında IV. Sınıf, diğer aylarda II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.4.2 Nutrientler

Aylık TP konsantrasyon değerleri 0,010-0,128 mg/L arasında değişmektedir. En düşük TP konsantrasyon değeri 0,010 mg/L ile Eylül ayında, en yüksek TP konsantrasyon değeri ise 0,128 mg/L ile Temmuz ayında ölçülmüştür. Ekim ayında Kuyu-4 için TP konsantrasyon değeri cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır

(Şekil 4.14). Kuyu-4 için aylık ölçülen TP konsantrasyon değerleri SKKY(2008)'e göre Eylül ve Aralık aylarında I. Sınıf, diğer aylarda II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.



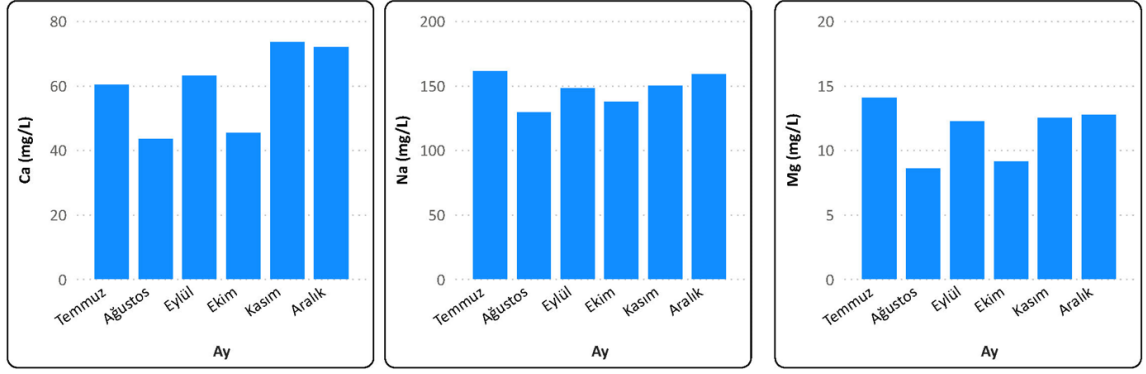
Şekil 4.14: Kuyu-4 nütrientlerin aylık değişimi.

NO₃-N konsantrasyon değerleri ise 0,121-0,592 mg/L arasında değişmektedir. En düşük NO₃-N konsantrasyon değeri 0,121 mg/L ile Eylül ayında, en yüksek NO₃-N konsantrasyon değeri ise 0,592 mg/L ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.14). Kuyu-4 için aylık ölçülen NO₃-N konsantrasyon değerleri yönetmelikler ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamıştır.

4.4.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller

Kuyu-4 için aylık Ca konsantrasyon değerleri 43,48-73,56 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Ca konsantrasyon değeri 43,48 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek Ca konsantrasyon değeri ise 73,56 mg/L ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.15). TS 266'a göre Kuyu-4 için aylık Ca konsantrasyon değeri tüm aylarda I.Sınıf su kalitesi sınıfındadır. WHO'ya göre ise Ca konsantrasyon değerleri sınır değeri aşmamıştır.

Mg konsantrasyon değerleri 8,574-14,040 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Mg konsantrasyon değeri 8,574 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek Mg konsantrasyon değeri ise 14,040 mg/L ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.15). TS 266'a göre Kuyu-4 için aylık Mg konsantrasyon değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.



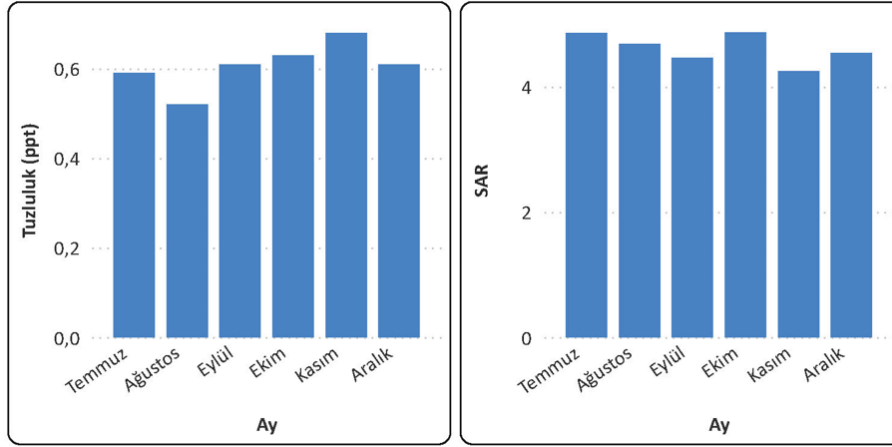
Şekil 4.15: Kuyu-4 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimleri.

Na konsantrasyon değeri 129,1-161,1 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Na konsantrasyon değeri 129,1 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek Na konsantrasyon değeri ise 161,1 mg/L ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.15). Kuyu-4 için aylık ölçülen Na konsantrasyon değerleri yönetmeliklerde ve standartta belirlenen sınır değerleri aşmamakla birlikte TS 266'a göre II. Sınıf, SKKY(2008)'e göre ise III. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.4.4. SAR ve Tuzluluk

Aylık hesaplanan SAR değerleri 4,25-4,87 arasında değişmektedir. En düşük SAR değeri 4,25 ile Kasım ayında, en yüksek SAR değeri ise 4,87 ile Ekim ayında gözlenmiştir (Şekil 4.16). Kuyu-4 için aylık hesaplanan SAR değerleri TS 7739'a göre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Tuzluluk konsantrasyon değerleri ise 0,52-0,68 arasında değişmektedir. En düşük tuzluluk konsantrasyon değeri 0,52 ile Ağustos ayında, en yüksek tuzluluk değeri ise 0,68 ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Kuyu-4 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimi.

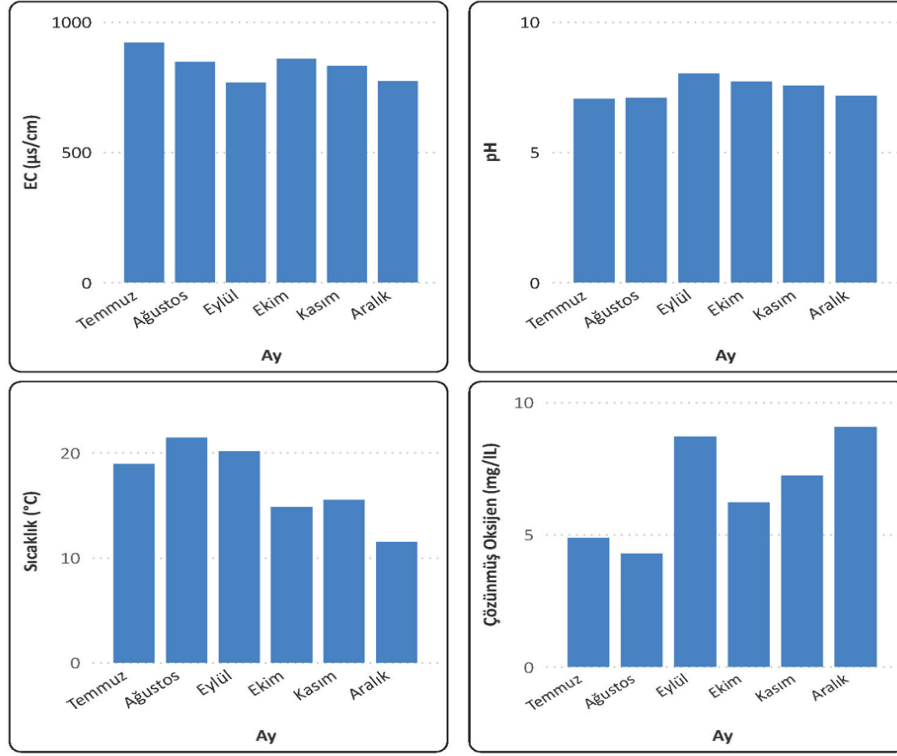
4.5. Kuyu-5

4.5.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri

Çalışma alanındaki kuyulardan alınan örneklerde Kuyu-5 için aylık EC konsantrasyonlarının değeri 766-921 $\mu\text{s}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. En düşük EC konsantrasyon değeri 766 $\mu\text{s}/\text{cm}$ değeri ile Eylül ayında, en yüksek EC Konsantrasyon değeri ise 921 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.17). TS 266'a göre Kuyu-5 aylık EC konsantrasyon değerleri bakımından II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

pH değerleri 7,05-8,01 arasında değişmektedir. En düşük pH değeri 7,05 ile Temmuz ayında, en yüksek pH değeri ise 8,01 ile Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 4.17). Kuyu-5 için aylık ölçülen pH değerleri yönetmeliklerde ve standartlarda belirlenen sınır değerler arasındadır.

Sıcaklık değişimi 11,5-21,4 $^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. En düşük sıcaklık değeri 11,5 $^{\circ}\text{C}$ ile Aralık ayında, en yüksek sıcaklık değeri ise 21,4 $^{\circ}\text{C}$ ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.17). SKKY (2008)'e göre Kuyu-5 aylık ölçülen sıcaklık değerleri bakımından I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.



Şekil 4.17: Kuyu-5 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.

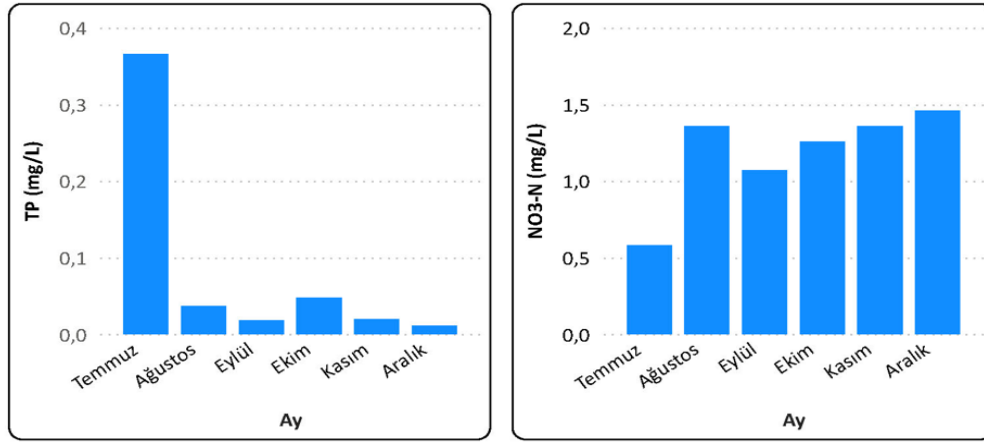
ÇO konsantrasyon değerleri 4,28-9,06 mg/L arasında değişmektedir. En düşük ÇO konsantrasyon değeri 4,28 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek ÇO konsantrasyon değeri ise 9,06 mg/L ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.17). SKKY (2008)'e göre Kuyu-5 ÇO konsantrasyon değerlerine göre Temmuz ve Ağustos aylarında II. Sınıf, diğer aylarda I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.5.2. Nutrientler

Aylık TP konsantrasyon değerleri 0,011-0,366 mg/L arasında değişmektedir. En düşük TP konsantrasyon değeri 0,011 mg/L ile Aralık ayında, en yüksek TP konsantrasyon değeri ise 0,366 mg/L ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.18). Kuyu-5 aylık ölçülen TP konsantrasyon değerleri için SKKY(2008)'e göre Eylül, Kasım ve Aralık aylarında I. Sınıf, Ağustos ve Ekim aylarında II. Sınıf su kalitesi sınıfında iken Temmuz ayında III. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

NO₃-N konsantrasyon değerleri ise 0,583-1,459 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.18). En düşük NO₃-N konsantrasyon değeri 0,583 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek NO₃-N konsantrasyon değeri ise 1,459 mg/L ile Aralık ayında ölçülmüştür

Kuyu-5 için aylık ölçülen NO₃-N konsantrasyon değerleri yönetmelikler ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamıştır.



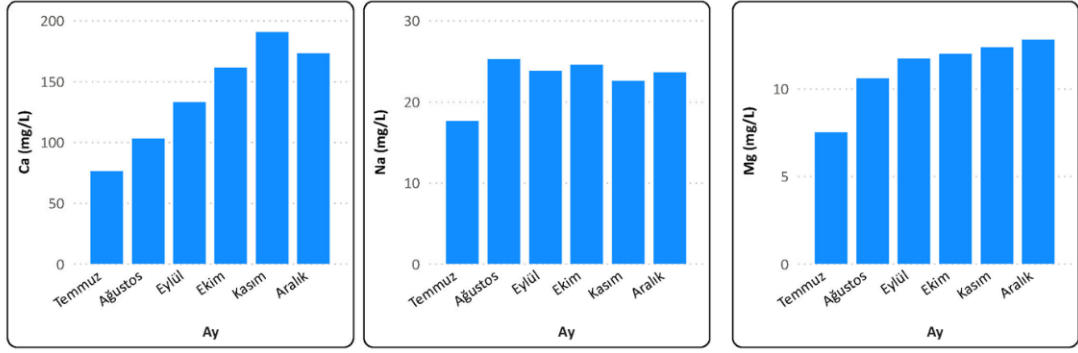
Şekil 4.18: Kuyu-5 nütrientlerin aylık değişimi.

4.5.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller

Kuyu-5 için aylık Ca konsantrasyon değerleri 76,03-190,2 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Ca konsantrasyon değeri 76,03 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek Ca konsantrasyon değeri ise 190,2 mg/L ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.19). TS 266'a göre Kuyu-5 aylık Ca konsantrasyon değerine göre tüm aylarda II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır. WHO'ya göre ise sınır değeri aşmamıştır.

Mg konsantrasyon değerleri 7,498-12,790 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Mg konsantrasyon değeri 7,498 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek Mg konsantrasyon değeri ise 12,790 mg/L ile Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 4.19). TS 266'a göre Kuyu-5 aylık Mg konsantrasyon değerleri bakımından I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Na konsantrasyon değeri 17,60-25,22 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Na konsantrasyon değeri 17,60 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek Na konsantrasyon değeri ise 25,22 mg/L ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.19). Kuyu-5 için aylık ölçülen Na konsantrasyon değerleri yönetmelikler ve standartta belirlenen sınır değerleri aşmamakta ve TS 266 ve SKKY (2008)'e göre ise I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

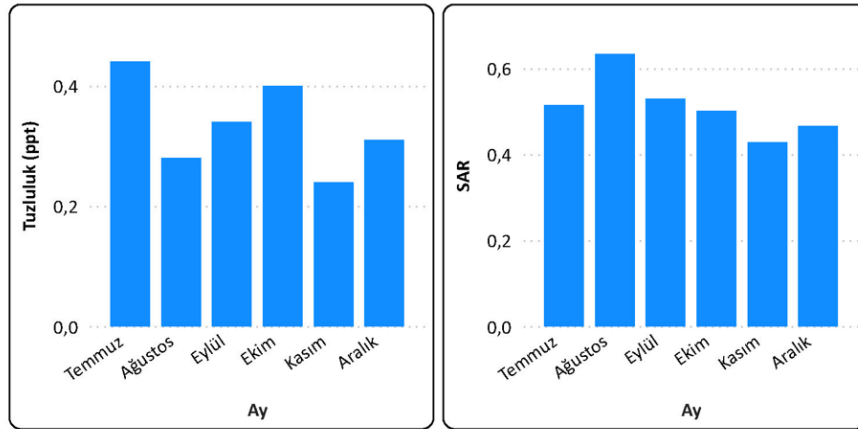


Şekil 4.19: Kuyu-5 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.

4.5.4. SAR ve Tuzluluk

Kuyu-5 için aylık hesaplanan SAR değerleri 0,43-0,63 arasında değişmektedir. En düşük SAR değeri 0,43 ile Kasım ayında, en yüksek SAR değeri ise 0,63 ile Ağustos ayında gözlenmiştir (Şekil 4.20). Kuyu-5 için aylık hesaplanan SAR değerleri TS 7739'a göre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Tuzluluk konsantrasyon değerleri 0,24-0,44 arasında değişmektedir. En düşük tuzluluk konsantrasyon değeri 0,24 ile Kasım ayında, en yüksek tuzluluk konsantrasyon değeri ise 0,44 ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.20).



Şekil 4.20: Kuyu-5 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimleri.

4.6. Kuyu-6

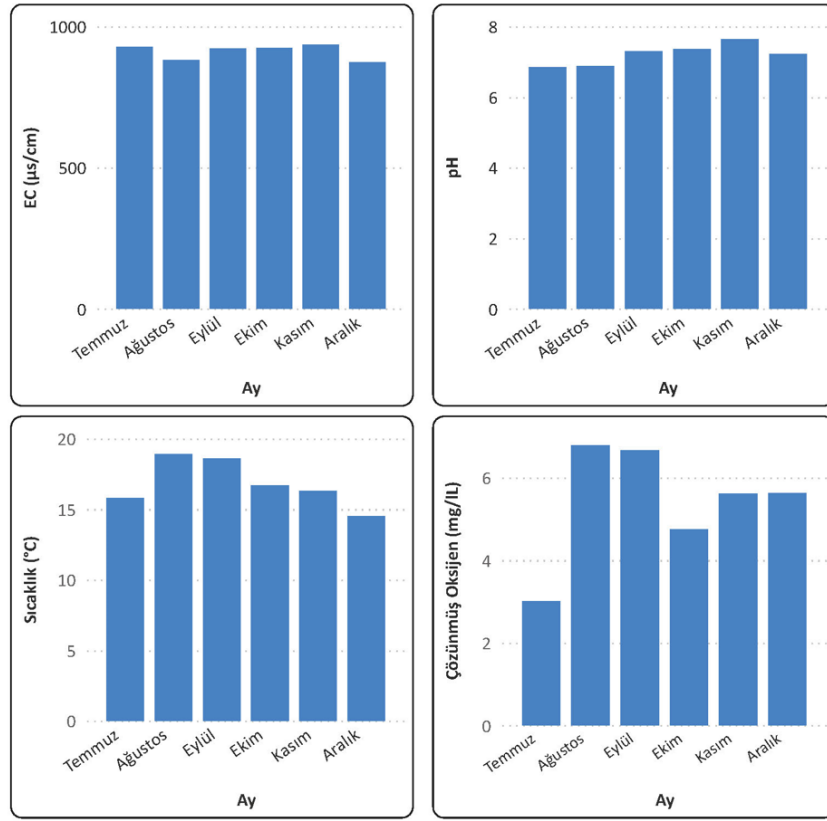
4.6.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri

Çalışma alanındaki kuyulardan alınan örneklerde Kuyu-6 için aylık EC konsantrasyonlarının değeri 873-936 $\mu\text{s/cm}$ arasında değişmektedir. En düşük EC konsantrasyon değeri 873 $\mu\text{s/cm}$ değeri ile Aralık ayında, en yüksek EC Konsantrasyon değeri ise 936 $\mu\text{s/cm}$ ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.21). TS 266'a göre Kuyu-6 için aylık EC konsantrasyon değerleri II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

pH değerleri 6,85-7,64 arasında değişmektedir. En düşük pH değeri 6,85 ile Temmuz ayında, en yüksek pH değeri ise 7,64 ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.21). Kuyu-6 için aylık ölçülen pH değerleri yönetmeliklerde ve standartlarda belirlenen sınır değerler arasındadır.

Sıcaklık değişimi 14,5-18,9 °C arasında değişmektedir. En düşük sıcaklık değeri 14,5 °C ile Aralık ayında, en yüksek sıcaklık değeri ise 18,9 °C ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.21). SKKY(2008)'e göre Kuyu-6 için aylık ölçülen sıcaklık değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

ÇO konsantrasyon değerleri ise 3,01-6,78 mg/L arasında değişmektedir. En düşük ÇO konsantrasyon değeri 3,01 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek ÇO konsantrasyon değeri ise 6,78 mg/L ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.21). SKKY (2008)'e göre Kuyu-6 Ağustos ve Eylül aylarında I. Sınıf, diğer aylarda II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

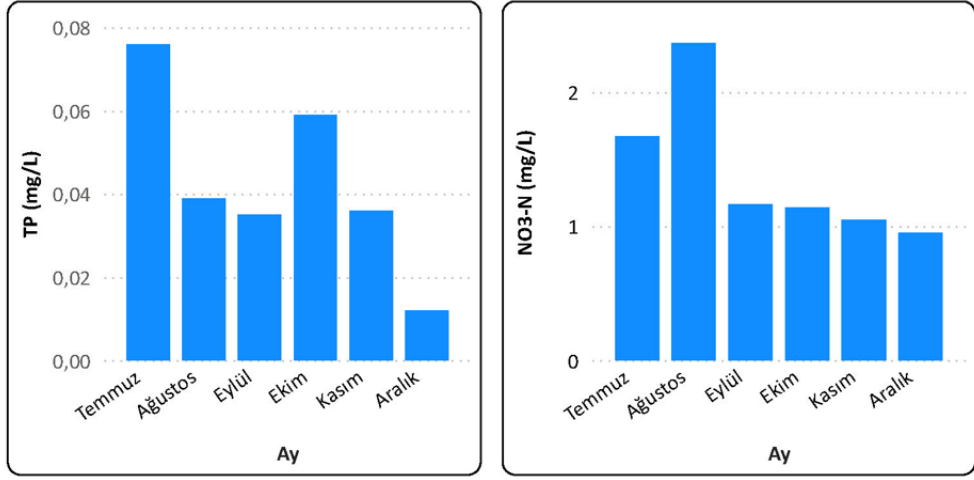


Şekil 4.21: Kuyu-6 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.

4.6.2. Nutrientler

Aylık TP konsantrasyon değerleri 0,012-0,076 mg/L arasında değişmektedir. En düşük TP konsantrasyon değeri 0,012 mg/L ile Aralık ayında, en yüksek TP konsantrasyon değeri ise 0,076 mg/L ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.22). Kuyu-6 aylık ölçülen TP konsantrasyon değerleri için SKKY(2008)'e göre Aralık ayında I. Sınıf, diğer aylarda II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

NO₃-N konsantrasyon değerleri 0,950-2,364 mg/L arasında değişmektedir. En düşük NO₃-N konsantrasyon değeri 0,950 mg/L ile Aralık ayında, en yüksek NO₃-N konsantrasyon değeri ise 2,364 mg/L ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.22). Kuyu-6 aylık ölçülen NO₃-N konsantrasyon değerleri için yönetmelikler ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamıştır.

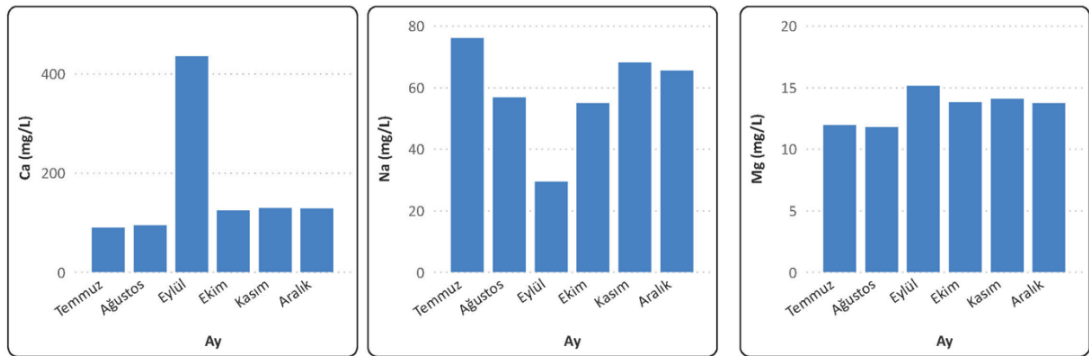


Şekil 4.22: Kuyu-6 nütrientlerin aylık değişimi.

4.6.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller

Aylık Ca konsantrasyon değerleri 88,60-434,80 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Ca konsantrasyon değeri 88,60 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek Ca konsantrasyon değeri ise 434,80 mg/L ile Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 4.23). TS 266'a göre Kuyu-6 aylık Ca konsantrasyon değeri için Eylül ayı hariç diğer aylarda II.Sınıf su kalitesi sınıfındadır. Kuyu-6 Eylül ayında TS 266'da izin verilen maksimum sınır değerini ve WHO sınır değerini aşmıştır.

Mg konsantrasyon değerleri 11,77-15,11 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Mg konsantrasyon değeri 11,77 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek Mg konsantrasyon değeri ise 15,11 mg/L ile Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 4.23). TS 266'a göre Kuyu-6 için aylık Mg konsantrasyon değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.



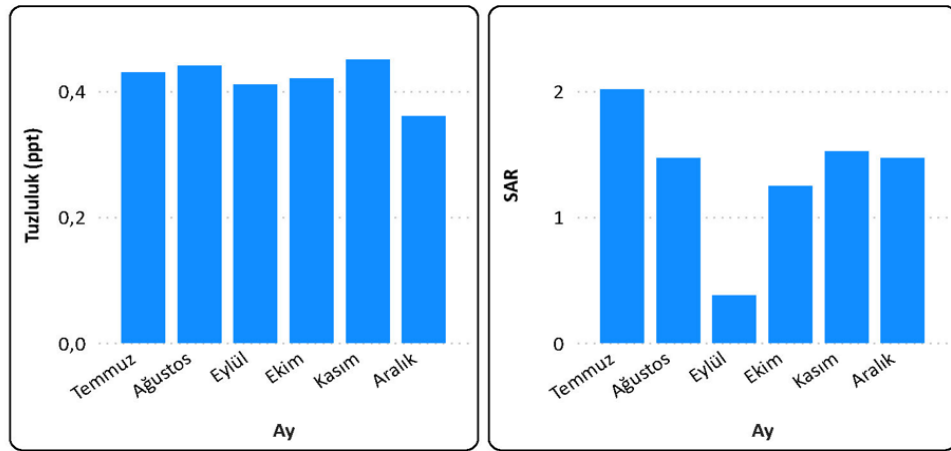
Şekil 4.23: Kuyu-6 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.

Na konsantrasyon değeri 29,36-75,99mg/L arasında değişmektedir. En düşük Na konsantrasyon değeri 29,36 mg/L ile Eylül ayında, en yüksek Na konsantrasyon değeri ise 75,99 mg/L ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.23). Kuyu-6 için aylık ölçülen Na konsantrasyon değerleri yönetmelikler ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamakta ve TS 266 ve SKKY(2008)'e göre ise I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.6.4. SAR ve Tuzluluk

Kuyu-6 için aylık hesaplanan SAR değerleri 0,38-2,01 arasında değişmektedir. En düşük SAR değeri 0,38 ile Eylül ayında, en yüksek SAR değeri ise 2,01 ile Temmuz ayında tespit edilmiştir (Şekil 4.24). Kuyu-6 için aylık hesaplanan SAR değerleri TS 7739'a göre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Tuzluluk konsantrasyon değerleri ise 0,36-0,45 arasında değişmektedir. En düşük tuzluluk konsantrasyon değeri 0,36 ile Aralık ayında, en yüksek tuzluluk değeri ise 0,45 ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.24).



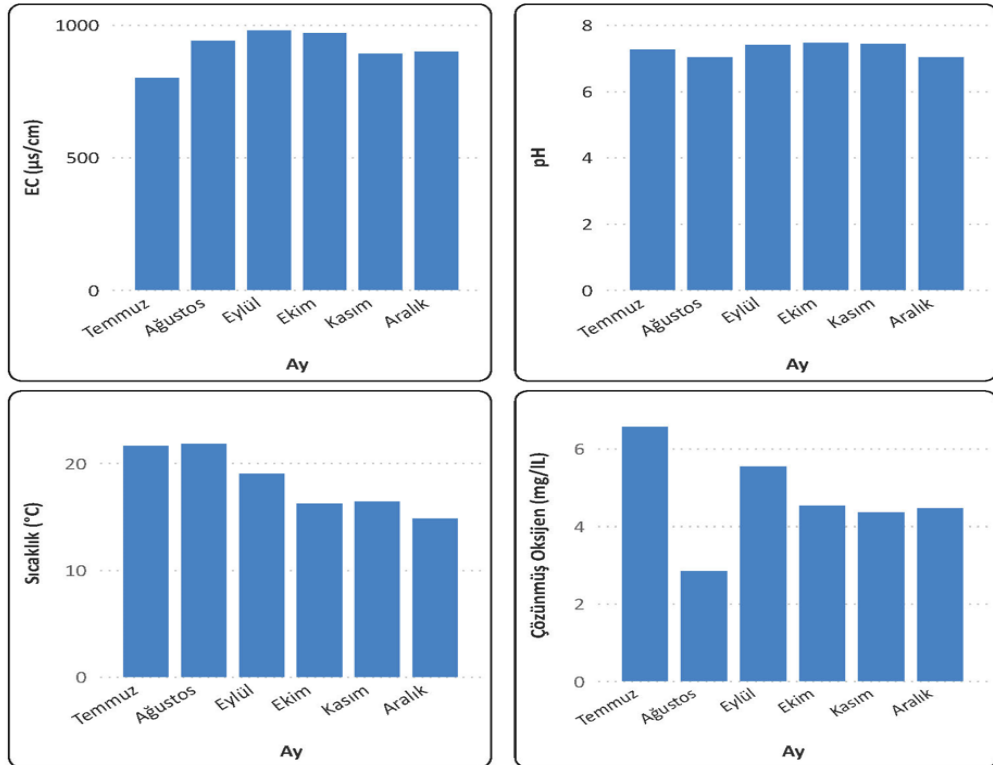
Şekil 4.24: Kuyu-6 SAR ve tuzluluk parametreleri aylık değişimi.

4.7. Kuyu-7

4.7.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri

Aylık EC konsantrasyonlarının değeri 800-979 $\mu\text{s/cm}$ arasında değişmektedir. En düşük EC konsantrasyon değeri 800 $\mu\text{s/cm}$ değeri ile Temmuz ayında, en yüksek EC Konsantrasyon değeri ise 979 $\mu\text{s/cm}$ ile Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 4.25). TS 266'a göre Kuyu-7 aylık EC konsantrasyon değerleri için II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

pH değerleri 7,02-7,46 arasında değişmektedir. En düşük pH değeri 7,02 ile Ağustos ayında, en yüksek pH değeri ise 7,46 ile Ekim ayında ölçülmüştür (Şekil 4.25). Kuyu-7 aylık ölçülen pH değerleri için yönetmelikler ve standartlarda belirlenen sınır değerler arasındadır.



Şekil 4.25: Kuyu-7 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.

Sıcaklık değişimi 14,8-21,8 $^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. En düşük sıcaklık değeri 14,8 $^{\circ}\text{C}$ ile Aralık ayında, en yüksek sıcaklık değeri ise 21,8 $^{\circ}\text{C}$ ile Ağustos ayında

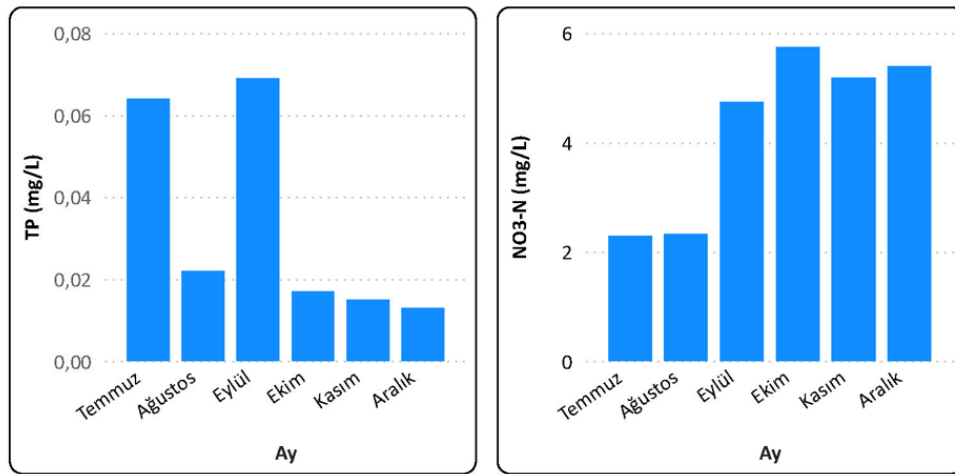
ölçülmüştür (Şekil 4.25). SKKY(2008)'e göre Kuyu-7 için aylık ölçülen sıcaklık değerleri I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

ÇO konsantrasyon değerleri ise 2,83-6,56 mg/L arasında değişmektedir. En düşük ÇO konsantrasyon değeri 2,83 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek ÇO konsantrasyon değeri ise 6,56 mg/L ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.25). SKKY (2008)'e göre Kuyu-7 Temmuz ayında I. Sınıf, Ağustos ayında IV.Sınıf, diğer aylarda II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.7.2. Nütrientler

Aylık TP konsantrasyon değerleri 0,013-0,069 mg/L arasında değişmektedir. En düşük TP konsantrasyon değeri 0,013 mg/L ile Aralık ayında, en yüksek TP konsantrasyon değeri ise 0,069 mg/L ile Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 4.26). Kuyu-7 için aylık ölçülen TP konsantrasyon değerleri SKKY(2008)'e göre Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında II. Sınıf, diğer aylarda I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

NO₃-N konsantrasyon değerleri 2,295-5,741 mg/L arasında değişmektedir. En düşük NO₃-N konsantrasyon değeri 2,295 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek NO₃-N konsantrasyon değeri ise 5,741 mg/L ile Ekim ayında ölçülmüştür (Şekil 4.26). Kuyu-7 için aylık ölçülen NO₃-N konsantrasyon değerleri SKKY(2008)'e göre Ekim, Kasım ve Aralık aylarında II. Sınıf, diğer aylarda I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır. Kuyu-7 için aylık ölçülen NO₃-N konsantrasyonları SKKY(2008) haricinde diğer yönetmelikler ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamıştır.

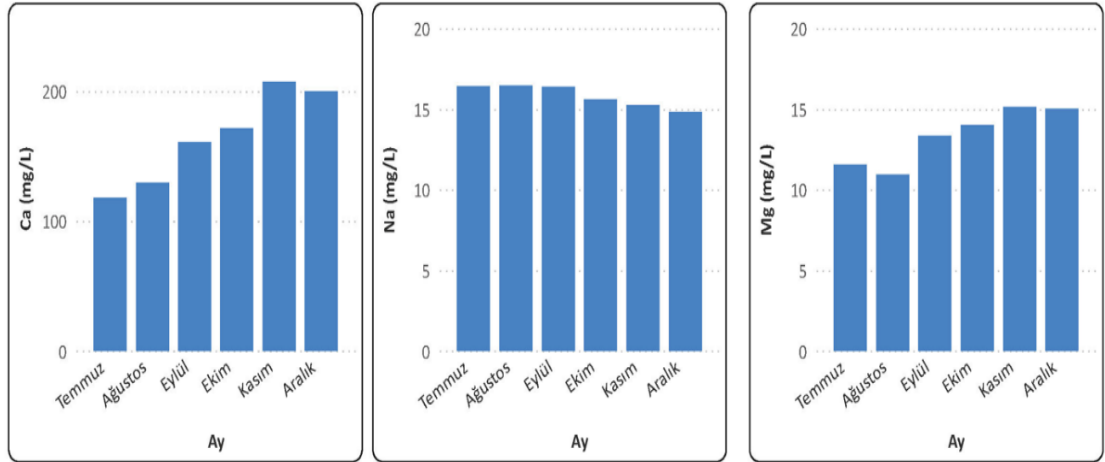


Şekil 4.26: Kuyu-7 nütrientlerin aylık değişimi.

4.7.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller

Kuyu-7 için aylık Ca konsantrasyon değerleri 117,9-217,0 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Ca konsantrasyon değeri 117,9 mg/L ile Temmuz ayında, en yüksek Ca konsantrasyon değeri ise 217,0 mg/L ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.27). TS 266'a göre Kuyu-7 aylık Ca konsantrasyon değeri için Kasım ayı hariç diğer aylarda II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır. Kuyu-7 Kasım ayında TS 266'da izin verilen maksimum sınır değerini aşmıştır. WHO standardına göre Ca konsantrasyon değeri sınır değeri aşmamıştır.

Mg konsantrasyon değerleri 10,94-15,14 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Mg konsantrasyon değeri 10,94 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek Mg konsantrasyon değeri ise 15,14 mg/L ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.27). TS 266'a göre Kuyu-7 aylık Mg konsantrasyon değerleri için I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.



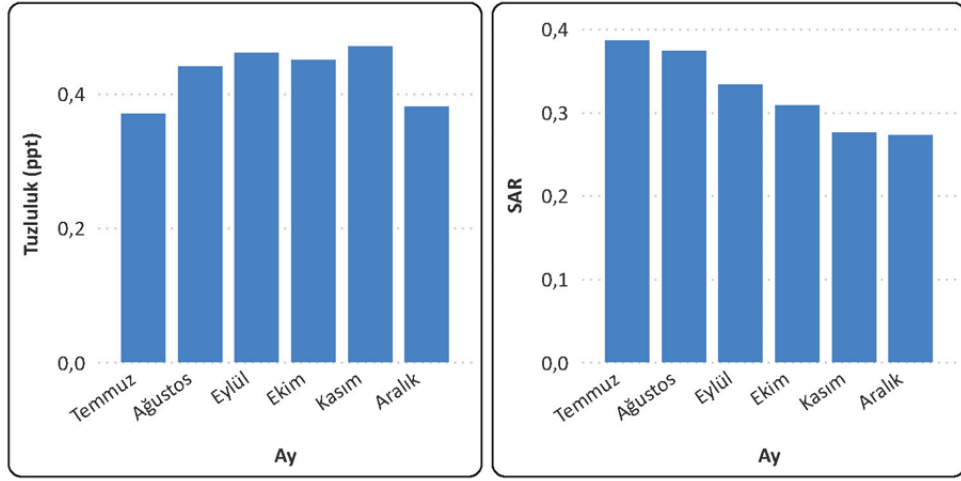
Şekil 4.27: Kuyu-7 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimi.

Na konsantrasyon değeri 14,83-16,46 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Na konsantrasyon değeri 14,83 mg/L ile Aralık ayında, en yüksek Na konsantrasyon değeri ise 16,46 mg/L ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.27). Kuyu-7 aylık ölçülen Na konsantrasyon değerleri için yönetmelikler ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamakta ve TS 266 ve SKKY (2008)'e göre ise I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.7.4. SAR ve Tuzluluk

Aylık hesaplanan SAR değerleri 0,27-0,39 arasında değişmektedir. En düşük SAR değeri 0,27 ile Aralık ayında, en yüksek SAR değeri ise 0,39 ile Temmuz ayında gözlenmiştir (Şekil 4.28). Kuyu-7 için aylık hesaplanan SAR değerleri TS 7739'a göre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Tuzluluk konsantrasyon değerleri 0,37-0,47 arasında değişmektedir. En düşük tuzluluk konsantrasyon değeri 0,37 ile Temmuz ayında, en yüksek tuzluluk konsantrasyon değeri ise 0,47 ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.28).



Şekil 4.28: Kuyu-7 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimi.

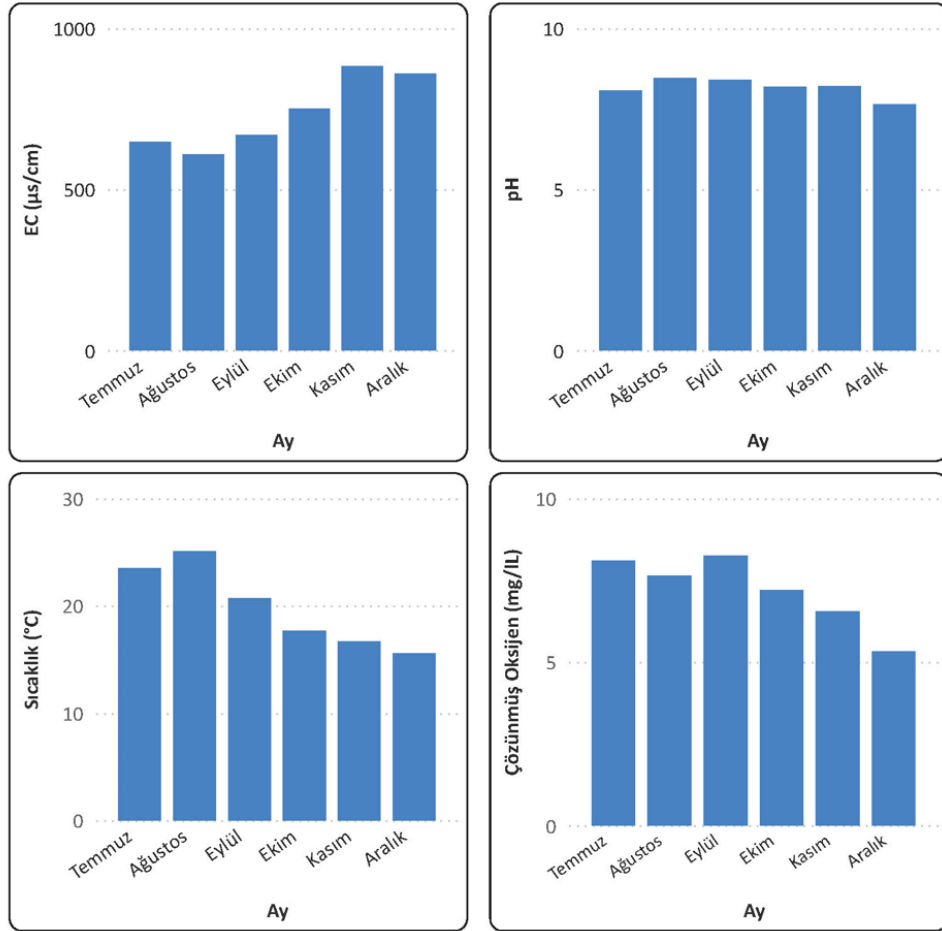
4.8. Kuyu-8

4.8.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri

Aylık EC konsantrasyonlarının değeri 609-884 $\mu\text{s}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. En düşük EC konsantrasyon değeri 609 $\mu\text{s}/\text{cm}$ değeri ile Ağustos ayında, en yüksek EC Konsantrasyon değeri ise 884 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.29). TS 266'a göre Kuyu-8 aylık EC konsantrasyon değerleri için Temmuz ve Ağustos aylarında I. Sınıf, diğer aylarda ise II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

pH değerleri 7,65-8,47 arasında değişmektedir. En düşük pH değeri 7,65 ile Aralık ayında, en yüksek pH değeri ise 8,47 ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.29). Kuyu-8 aylık ölçülen pH değerleri için yönetmelik ve standartlarda belirlenen sınır değerler arasındadır.

Sıcaklık değişimi 15,6-25,1 °C arasında değişmektedir. En düşük sıcaklık değeri 15,6 °C ile Aralık ayında, en yüksek sıcaklık değeri ise 25,1 °C ile Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.29). SKKY(2008)'e göre Kuyu-8 aylık ölçülen sıcaklık değerleri için Ağustos ayında III. Sınıf, diğer aylarda I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.



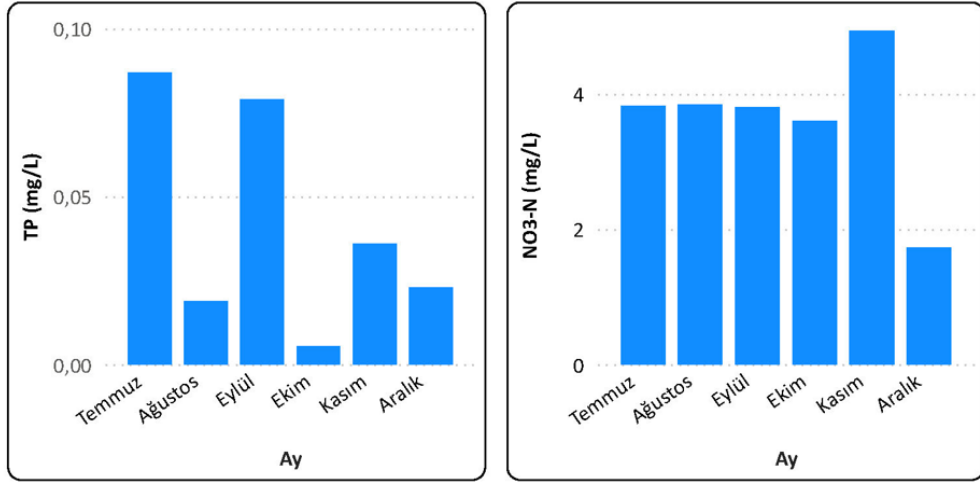
Şekil 4.29: Kuyu-8 yerinde ölçüm parametrelerinin aylık değişimi.

ÇO konsantrasyon değerleri ise 5,33-8,26 mg/L arasında değişmektedir. En düşük ÇO konsantrasyon değeri 5,33 mg/L ile Aralık ayında, en yüksek ÇO konsantrasyon değeri ise 8,26 mg/L ile Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 4.29). SKKY (2008)'e göre Kuyu-8 Aralık ayında II. Sınıf diğer aylarda I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

4.8.2. Nütrientler

Aylık TP konsantrasyon değerleri 0,019-0,087 mg/L arasında değişmektedir. En düşük TP konsantrasyon değeri 0,019 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek TP konsantrasyon değeri ise 0,087 mg/L ile Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.30). Ekim ayında TP konsantrasyon değeri cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır. Kuyu-8 için aylık ölçülen TP konsantrasyon değerleri SKKY(2008)'e göre Temmuz ayında I. Sınıf, diğer aylarda II. Sınıf su kalitesi sınıfındadır. Kuyu-8'de Ekim ayında TP konsantrasyon değerine rastlanılmamıştır.

NO₃-N konsantrasyon değerleri 1,726-4,937 mg/L arasında değişmektedir. En düşük NO₃-N konsantrasyon değeri 1,726 mg/L ile Aralık ayında, en yüksek NO₃-N konsantrasyon değeri ise 4,937 mg/L ile Kasım ayında ölçülmüştür (Şekil 4.30). Kuyu-8 için aylık ölçülen NO₃-N konsantrasyon değerleri yönetmelikler ve standartlarda belirlenen sınır değerleri aşmamıştır.



Şekil 4.30: Kuyu-8 nütrientlerin aylık değişimi.

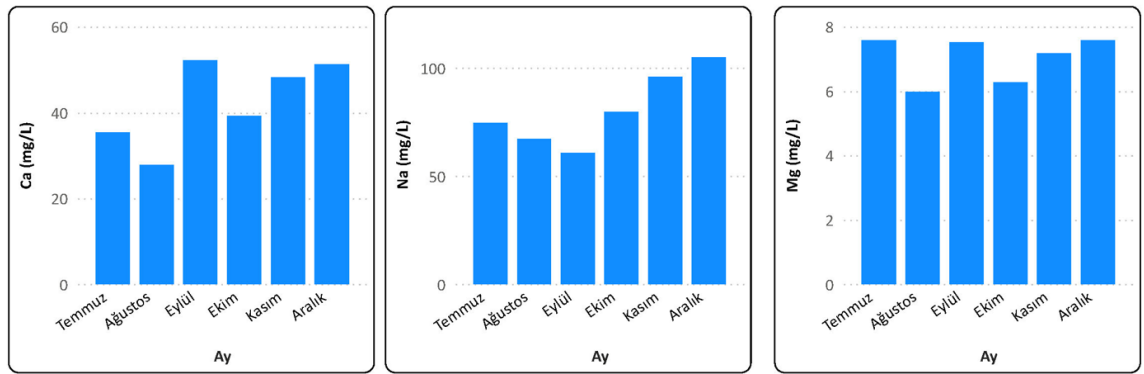
4.8.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller

Kuyu-8 için aylık Ca konsantrasyon değerleri 27,82-52,15 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Ca konsantrasyon değeri 27,82 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek Ca konsantrasyon değeri ise 52,15 mg/L ile Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 4.31). Kuyu-8 için aylık Ca konsantrasyon değerleri yönetmelik ve standartta

belirlenen sınır değerleri aşmamakta ve bu kuyu TS 266'a gre I.Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Mg konsantrasyon değerleri 5,980-7,589 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Mg konsantrasyon değeri 5,980 mg/L ile Ağustos ayında, en yüksek Mg konsantrasyon değeri ise 7,589 mg/L ile Temmuz ayında llmştr (şekil 4.31). TS 266'a gre Kuyu-8 aylık Mg konsantrasyon değerleri için I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Na konsantrasyon değerleri 60,75-105,0 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Na konsantrasyon değeri 60,75 mg/L ile Eylül ayında, en yüksek Na konsantrasyon değeri ise 105,0 mg/L ile Aralık ayında llmştr (şekil 4.31). Kuyu-8 aylık llen Na konsantrasyon değerleri için ynetmelikler ve standartta belirlenen sınır değerleri aşmamaktadır. Na parametresi bakımından Kuyu-8, SKKY(2008)'e gre ise I. Sınıf, TS 266'a gre Aralık ayında II. Sınıf diğer aylarda I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

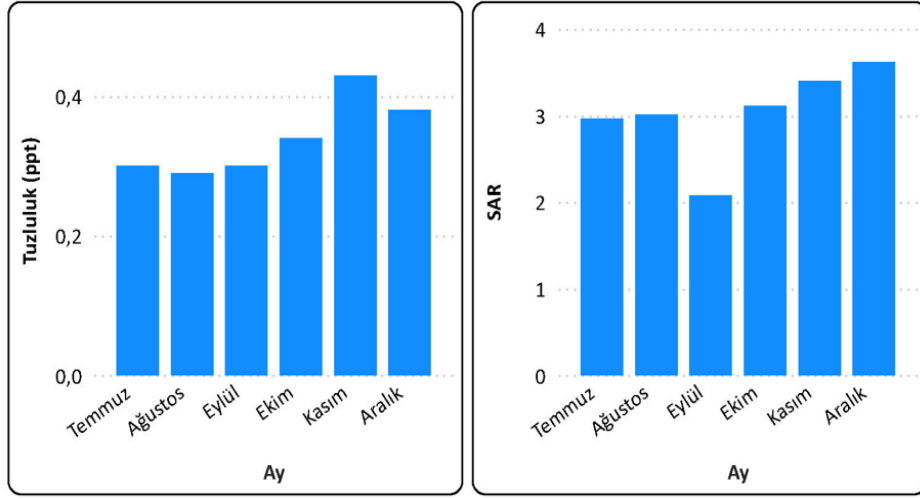


şekil 4.31: Kuyu-8 alkali ve toprak alkali metallerin aylık değişimleri.

4.8.4. SAR ve Tuzluluk

Kuyu-8 için aylık hesaplanan SAR değerleri 2,08-3,62 arasında değişmektedir. En düşük SAR değeri 2,08 ile Eylül ayında, en yüksek SAR değeri ise 3,62 ile Aralık ayında tespit edilmiştir (şekil 4.32). Kuyu-8 için aylık hesaplanan SAR değerleri TS 7739'a gre I. Sınıf su kalitesi sınıfındadır.

Aylık tuzluluk konsantrasyon değerleri ise 0,37-0,47 arasında değişmektedir. En düşük tuzluluk konsantrasyon değeri 0,37 ile Temmuz ayında, en yüksek tuzluluk konsantrasyon değeri ise 0,47 ile Kasım ayında llmştr (şekil 4.32).



Şekil 4.32: Kuyu-8 SAR ve tuzluluk parametrelerinin aylık değişimleri.

4.9. İz Elementler

Çalışma alanında 2021 yılının kuru (Temmuz-Ağustos-Eylül) ve yağışlı (Ekim-Kasım-Aralık) dönemlerini temsil eden toplam 6 ay boyunca 48 adet su numunesi aylık olarak örneklenmiştir. Laboratuvar analizleri sonucunda kuyulardaki iz element konsantrasyonlarının genellikle ICP-OES cihazı algılama limiti altında kaldığı gözlenmiştir. Bazı kuyularda ise iz elementler çok düşük konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Elde edilen bulgulara göre iz elementlerin tespit edildikleri aylarda I. Sınıf ya da II. Sınıf su kalitesi sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Kuyulara ilişkin aylık iz element analizlerine göre; Kuyu-1’de aylık ölçülen Cd konsantrasyon değerleri 1-3 µg/L, Fe konsantrasyonu 17-59 µg/L ve Cr konsantrasyon değerleri 2-7 µg/L arasındadır. Pb konsantrasyon değeri 10 µg/L olarak sadece Temmuz ayında, Ni konsantrasyon değerleri 5-6 µg/L olarak Ağustos ve Eylül aylarında ölçülmüştür Zn konsantrasyon değerleri çalışma süresince yapılan ölçümlerde cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır.

Kuyu-2’de Cd konsantrasyon değerleri 1-2 µg/L, Cr konsantrasyon değerleri 4-34 µg/L ve Pb konsantrasyon değerleri 2-6 µg/L arasında değişmektedir. Fe konsantrasyon değeri 18 µg/L olarak sadece Temmuz ayında, Zn konsantrasyon değeri 80 µg/L olarak Kasım ayında ölçülmüştür. Ni konsantrasyon değeri ise 8 µg/L olarak Kasım ayında ölçülmüş olup diğer aylarda Ni konsantrasyon değerleri cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır.

Kuyu-3'te aylık Cd konsantrasyon değerleri Aralık ayında 1, Kasım ayında 2 µg/L olarak ölçülmüştür. Fe konsantrasyon değerleri ise 3-292 µg/L, Cr konsantrasyon değerleri 2-40 µg/L ve Ni konsantrasyon değerleri ise 2-9 µg/L arasında değişmektedir. Kuyu-3 için aylık Zn değerleri cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır. Pb konsantrasyon değeri 131 µg/L olarak Temmuz ayında ölçülmüş, diğer aylarda Pb konsantrasyon değerleri cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır.

Kuyu-4 için aylık Cd konsantrasyon değerleri Kasım ve Aralık aylarında 1 µg/L olarak ölçülmüştür. Fe konsantrasyon değerleri 5-28 µg/L, Cr konsantrasyon değerleri 7-39 µg/L arasında değişmektedir. Zn konsantrasyon değerine 5 µg/L olarak Temmuz ayında, Ni konsantrasyon değerine 5 µg/L olarak Aralık ayında rastlanılmıştır. Pb konsantrasyon değerine 27 µg/L olarak Temmuz ayında rastlanılmış, diğer aylarda ölçümler cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır.

Kuyu-5 için aylık Cd konsantrasyon değeri Kasım ayında 1 µg/L, Fe konsantrasyon değeri ise Temmuz ayında 118 µg/L olarak ölçülmüştür. Zn konsantrasyon değerleri 106-2,845 µg/L arasında, Ni konsantrasyon değerleri ise 1-32 µg/L arasında ve Cr konsantrasyon değerleri ise 9-31 µg/L arasında değişmektedir. Pb konsantrasyon değerlerine 1 µg/L olarak Eylül ayında 127 µg/L olarak Temmuz ayında rastlanılmış, diğer aylarda ölçümler cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır.

Kuyu-6'da Fe konsantrasyon değerleri 3-56 µg/L arasında, Cr değerleri 2-17 µg/L arasında ve Ni konsantrasyon değerleri ise 2-8 µg/L arasında değişmektedir. Pb konsantrasyon değeri 1 µg/L olarak Temmuz ayında, Zn konsantrasyon değerleri Eylül ayında 21 µg/L, Kasım ayında 13 µg/L olarak ölçülmüştür. Pb konsantrasyon değeri 1 µg/L olarak Temmuz ayında ölçülmüş, diğer aylarda ölçümler cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır.

Kuyu-7'de aylık Cd konsantrasyon değeri Eylül ayında 1 µg/L, Fe konsantrasyon değeri de Temmuz ayında 1 µg/L olarak ölçülmüştür. Zn konsantrasyon değerleri Eylül ayında 9 µg/L, Ekim ayında 28 µg/L olarak, Pb konsantrasyon değeri ise 33 µg/L olarak Kasım ayında, 120 µg/L olarak Temmuz ayında ölçülmüştür. Cr konsantrasyon değerleri 5-48 µg/L arasında değişmektedir. Kuyu-7 için aylık Ni konsantrasyon değerleri cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır.

Kuyu-8 için aylık Cd konsantrasyon değeri µg/L olarak, Zn konsantrasyon değeri 3 µg/L olarak Kasım ayında ölçülmüştür. Fe konsantrasyon değerleri 1-20 µg/L, Ni konsantrasyon değerleri ise 1-3 µg/L ve Cr konsantrasyon değerleri 4-46 µg/L

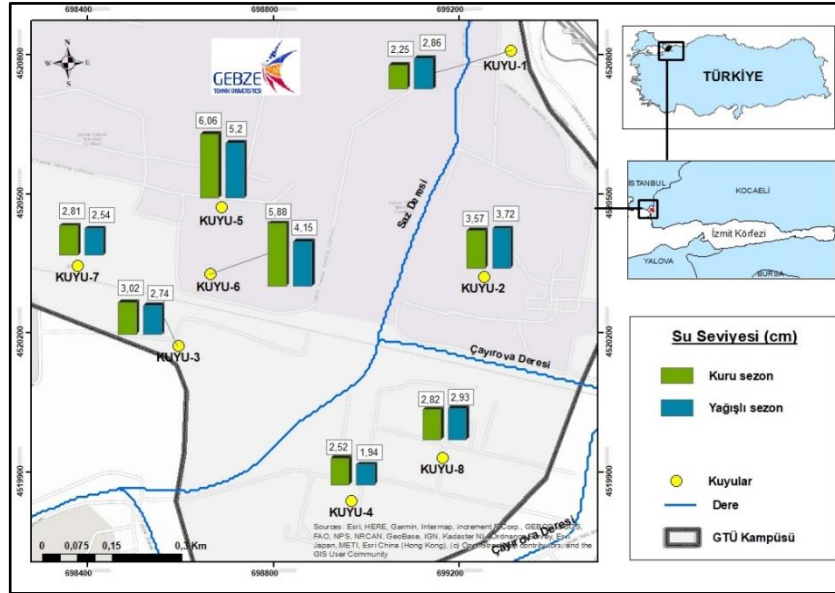
arasında değişmektedir. Pb konsantrasyon değeri 13 µg/L olarak Temmuz ayında ölçölmüş, diğer aylarda ölçömler cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır.

Bu sonuçlara göre kampüs içerisinde bulunan kuyularda iz elementler bakımından çevresel bir kirlilik olmadığı anlaşılmaktadır.

5. SU KALİTESİ PARAMETRELERİNİN ALANSAL DEĞİŞİMİ

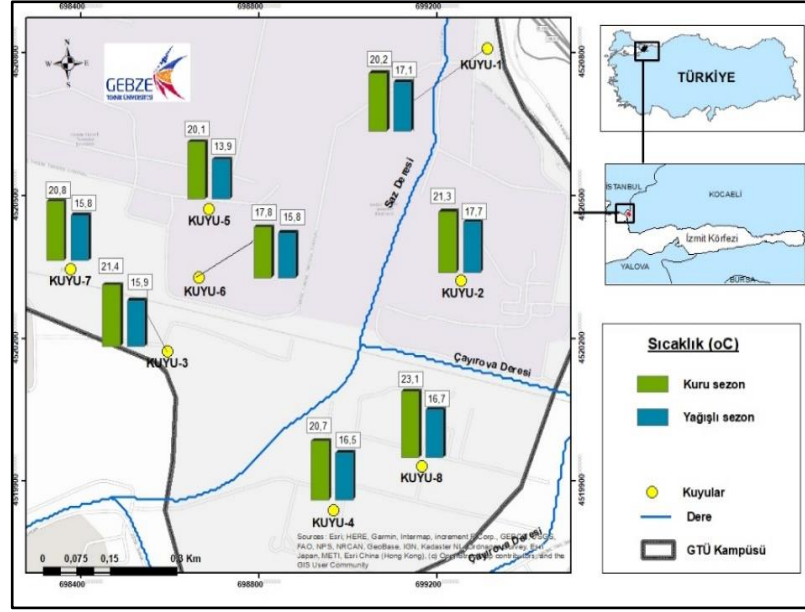
5.1. Yerde Ölçüm Parametreleri

Tez çalışması kapsamında izlenen kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama su seviyeleri 1,94-6,06 cm arasında değişmekte olup, en düşük su seviyesi ortalaması 1,94 cm ile yağışlı dönemde Kuyu-4'te, en yüksek su seviyesi ortalaması ise 6,06 cm ile kurak dönemde Kuyu-5'te ölçülmüştür (Şekil 5.1).



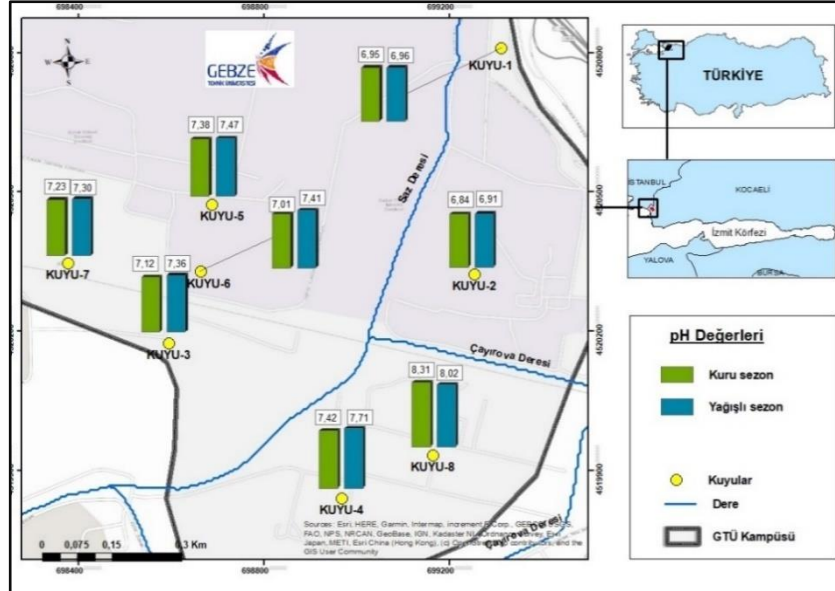
Şekil 5.1: Kurak ve yağışlı dönemlere ait su seviyelerinin alansal dağılımı.

Kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama sıcaklıkları 13,9-23,1 °C arasında değişmekte olup, en düşük sıcaklık ortalaması 13,9 °C ile yağışlı dönemde Kuyu-5'te, en yüksek sıcaklık ortalaması ise 23,1 °C ile kurak dönemde Kuyu-8'de ölçülmüştür (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Kurak ve yağışlı dönemlere ait sıcaklıkların alansal dağılımı.

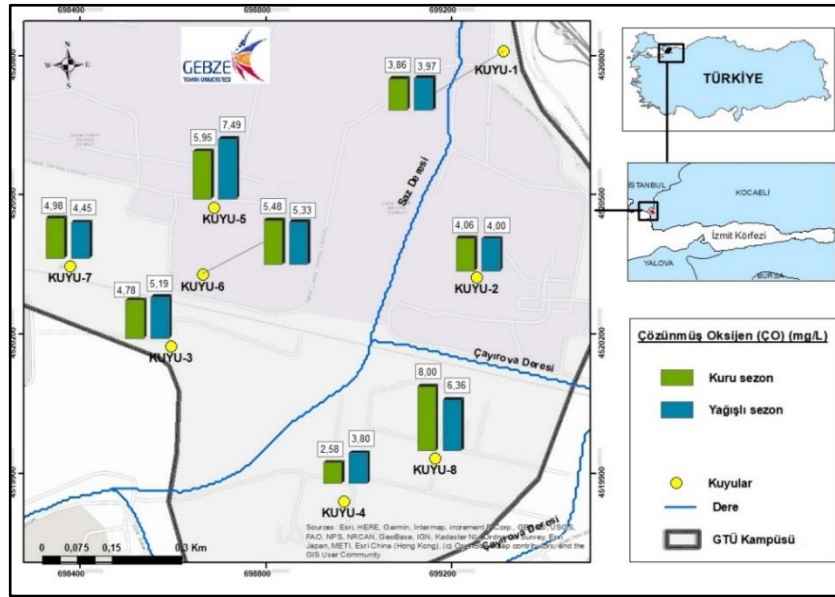
Şekil 5.3'te kuyuların kurak ve yağışlı dönemde ortalama pH değerleri 6,84-8,31 arasında değişmekte olup, en düşük pH ortalaması 6,84 ile Kuyu-2'de, en yüksek pH ortalaması ise 8,31 ile kurak dönemde Kuyu-8'de ölçülmüştür.



Şekil 5.3: Kurak ve yağışlı dönemlere ait pH değerlerinin alansal dağılımı.

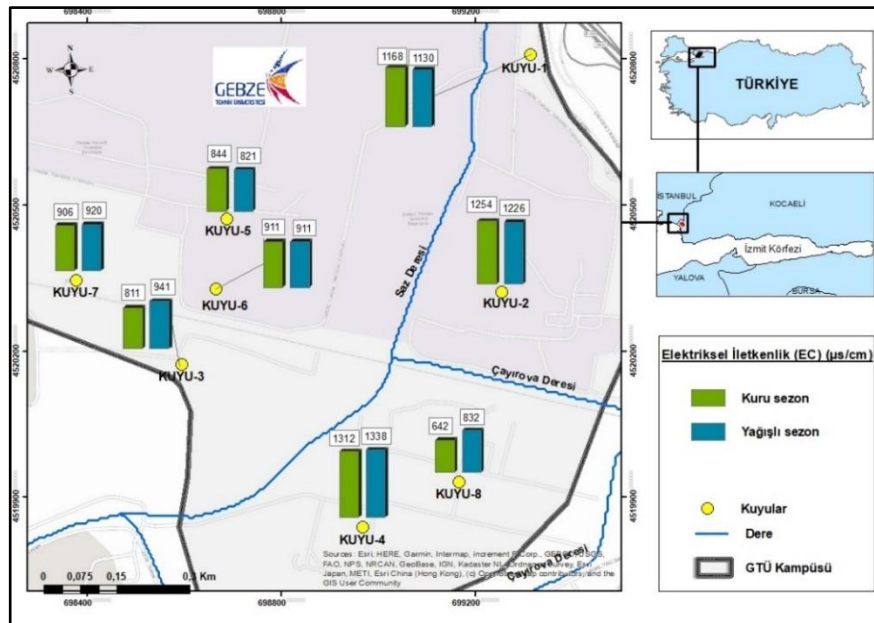
Şekil 5.4'te kuyuların kurak ve yağışlı dönemde ortalama ÇO konsantrasyon değerleri 2,58-8,00 mg/L arasında değişmekte olup, en düşük ÇO konsantrasyon

ortalaması 2,58 mg/L ile Kuyu-4'te, en yüksek ÇÖ konsantrasyon ortalaması ise 8,00 mg/L ile kurak dönemde Kuyu-8'de ölçülmüştür.



Şekil 5.4: Kurak ve yağışlı dönemlere ait ÇÖ konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

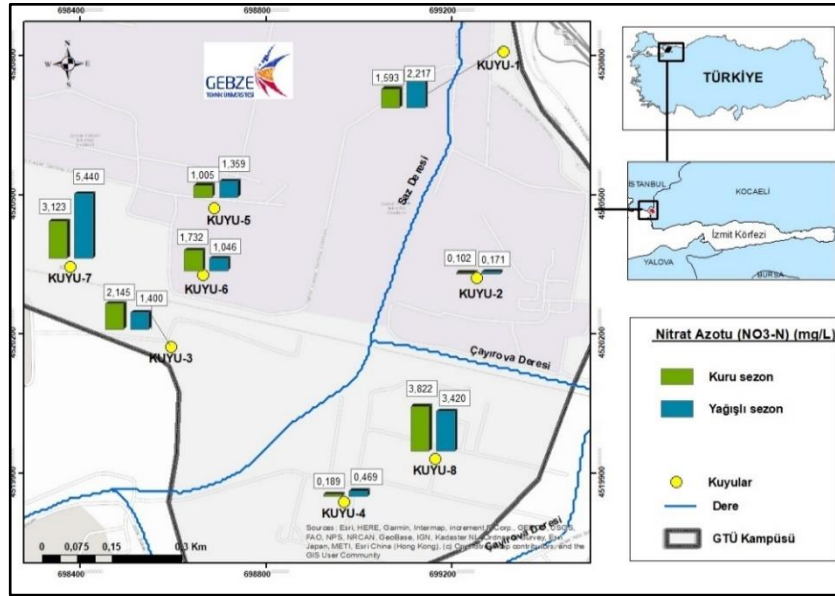
Şekil 5.5'te görüldüğü üzere kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama EC konsantrasyonlarının değerleri 642-1338 $\mu\text{s/cm}$ arasında değişmekte olup, en düşük EC konsantrasyonlarının ortalaması 642 $\mu\text{s/cm}$ ile kurak dönemde Kuyu-8'de, en yüksek EC konsantrasyonlarının ortalaması ise 1338 $\mu\text{s/cm}$ ile yağışlı dönemde Kuyu-4'te ölçülmüştür.



Şekil 5.5: Kurak ve yağışlı dönemlere ait EC konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

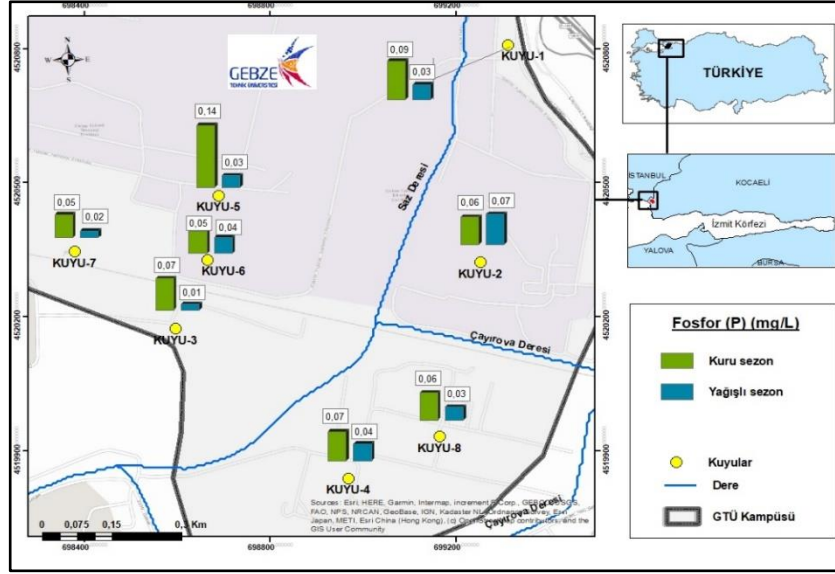
5.2. Nütrientler

Şekil 5.6’da kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının değerleri 0,102-5,440 mg/L arasında değişmekte olup, en düşük $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının ortalaması 0,102 mg/L ile kurak dönemde Kuyu-2’de, en yüksek $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının ortalaması ise 5,440 mg/L ile yağışlı dönemde Kuyu-7’de ölçülmüştür.



Şekil 5.6: Kurak ve yağışlı dönemlere ait $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

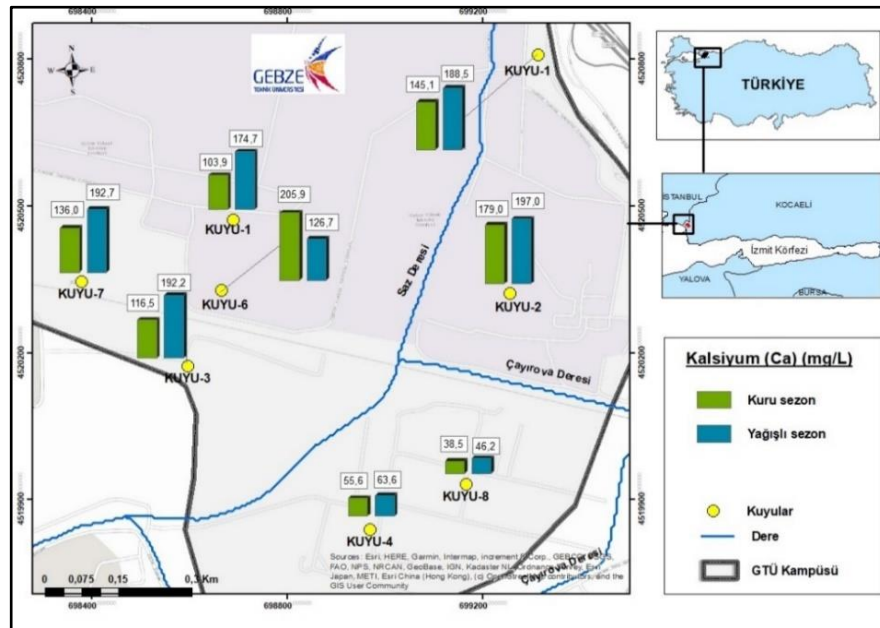
Şekil 5.7’de kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama TP konsantrasyon değerleri 0,014-0,140 mg/L arasında değişmekte olup, en düşük TP konsantrasyon değerleri ortalaması 0,014 mg/L ile yağışlı dönemde Kuyu-3’te ölçülürken, en yüksek TP konsantrasyon değerleri ortalaması ise 0,140 mg/L ile kurak dönemde Kuyu-5’te ölçülmüştür.



Şekil 5.7: Kurak ve yağışlı dönemlere ait TP konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

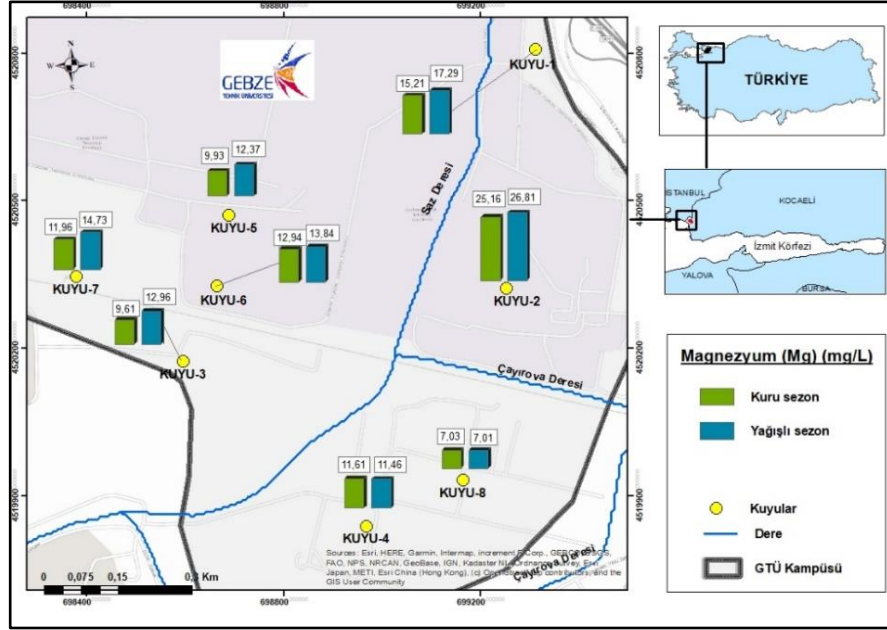
5.3. Alkali ve Toprak Alkali Metaller

Şekil 5.8’de kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama Ca konsantrasyon değerleri 38,5-205,9 mg/L arasında değişmekte olup, en düşük Ca konsantrasyon değerleri ortalaması 38,5 mg/L ile Kuyu-8’de, en yüksek Ca konsantrasyon değerleri ortalaması ise 205,9 mg/L ile kurak dönemde Kuyu-6’da ölçülmüştür.



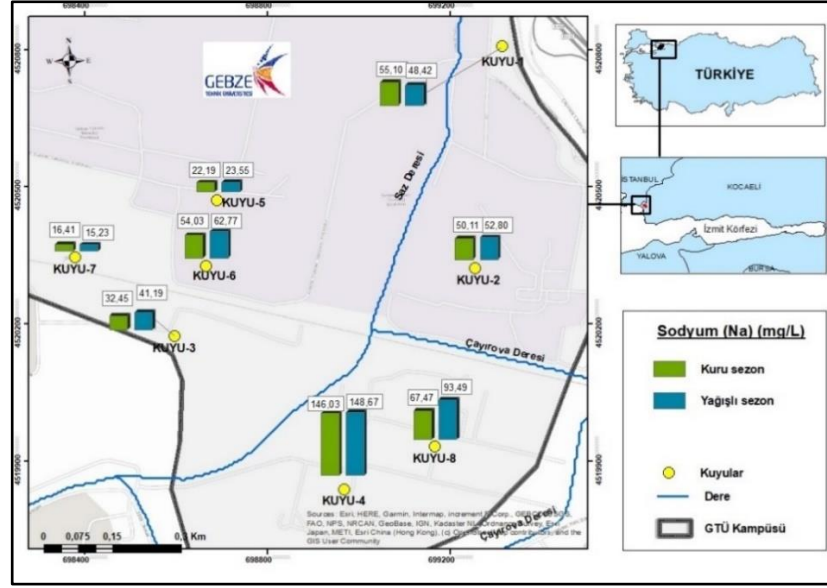
Şekil 5.8: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Ca konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

Kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama Mg konsantrasyon değerleri 7,01-26,81 mg/L arasında değişmekte olup, en düşük Mg konsantrasyon değerleri ortalaması 7,01 mg/L ile Kuyu-8’de, en yüksek Mg konsantrasyon değerleri ortalaması ise 26,81 mg/L ile yağışlı dönemde Kuyu-2’de ölçülmüştür (Şekil 5.9).



Şekil 5.9:Kurak ve yağışlı dönemlere ait Mg konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

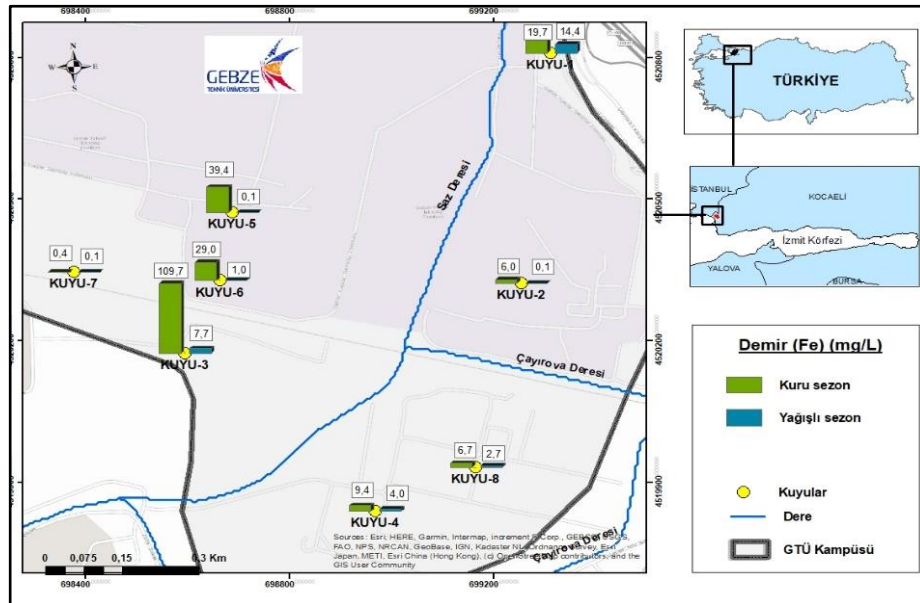
Şekil 5.10’da kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama Na konsantrasyon değerleri 15,23-148,67 mg/L arasında değişmekte olup, en düşük Na konsantrasyon değerleri ortalaması 15,23 mg/L ile Kuyu-7’de, en yüksek Na konsantrasyon değerleri ortalaması ise 148,67 mg/L ile yağışlı dönemde Kuyu-4’te ölçülmüştür.



Şekil 5.10:Kurak ve yağışlı dönemlere ait Na konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

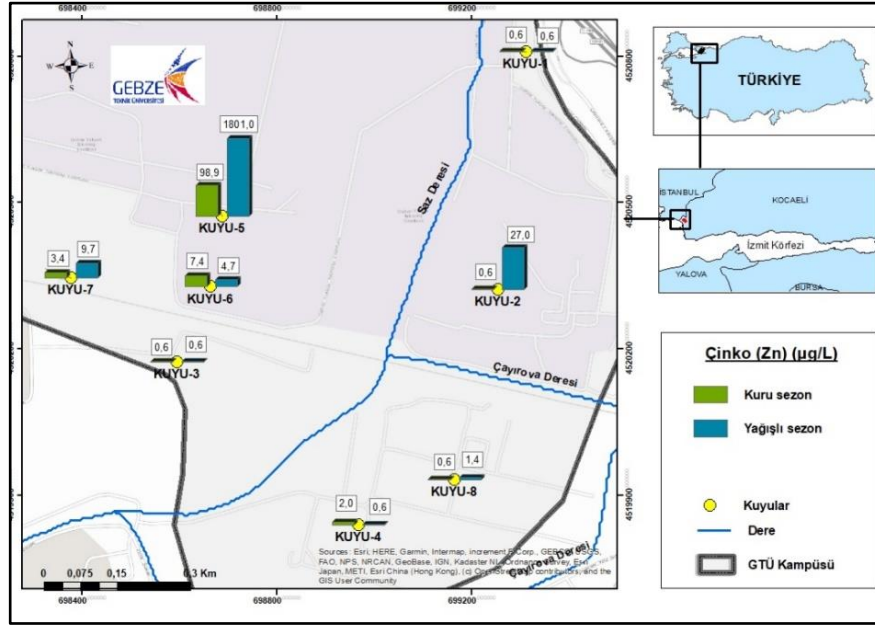
5.4. İz Elementler

Kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama Fe konsantrasyon değerleri 0,0001-0,1097 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Fe konsantrasyon değerleri ortalaması 0,0001 mg/L ile Kuyu-2’de yağışlı dönemde, en yüksek Fe konsantrasyon değerleri ortalaması ise 0,1097 mg/L ile kurak dönemde Kuyu-3’te ölçülmüştür (Şekil 5.11).



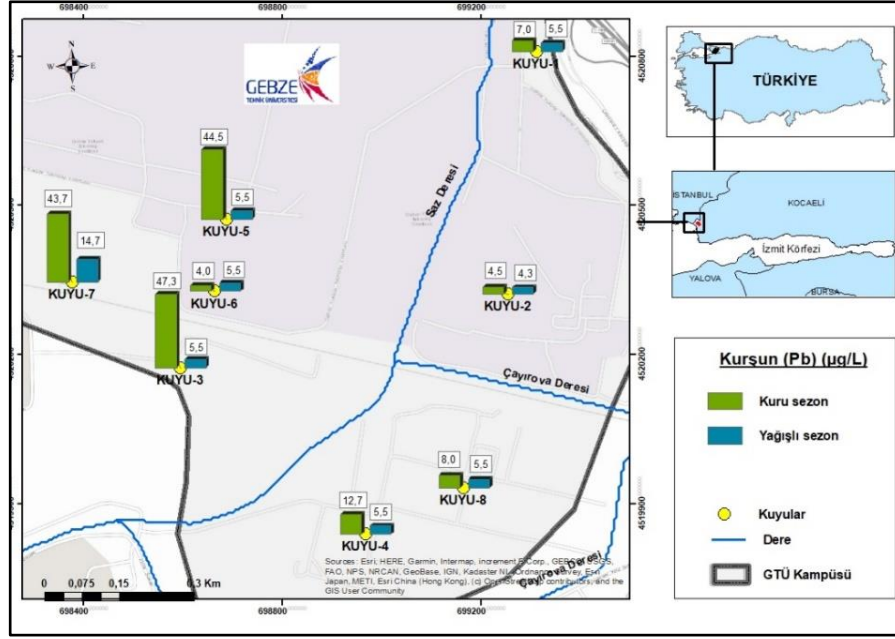
Şekil 5.11:Kurak ve yağışlı dönemlere ait Fe konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

Şekil 5.12’de kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama Zn konsantrasyon değerleri 0,001-1,801 mg/L arasında değişmektedir. En düşük Zn konsantrasyon değerleri ortalaması 0,001 mg/L ile kurak ve yağışlı dönemde, birçok kuyuda ölçülürken, en yüksek Zn konsantrasyon değerleri ortalaması ise 1,801 mg/L ile yağışlı dönemde Kuyu-5’te ölçülmüştür.



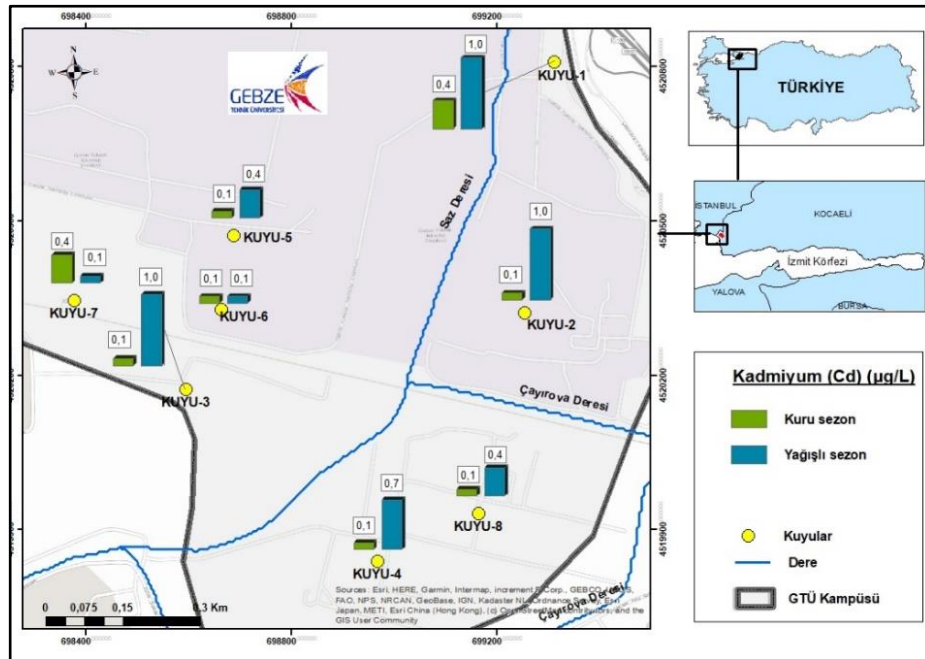
Şekil 5.12: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Zn konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

Kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama Pb konsantrasyon değerleri 0,004-0,047 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 5.13). en düşük Pb konsantrasyon değerleri ortalaması 0,004 mg/L ile kurak ve yağışlı dönemde Kuyu-6 ve Kuyu-2’de ölçülürken, en yüksek Pb konsantrasyon değerleri ortalaması ise 0,047 mg/L ile kurak dönemde Kuyu-3’te ölçülmüştür.



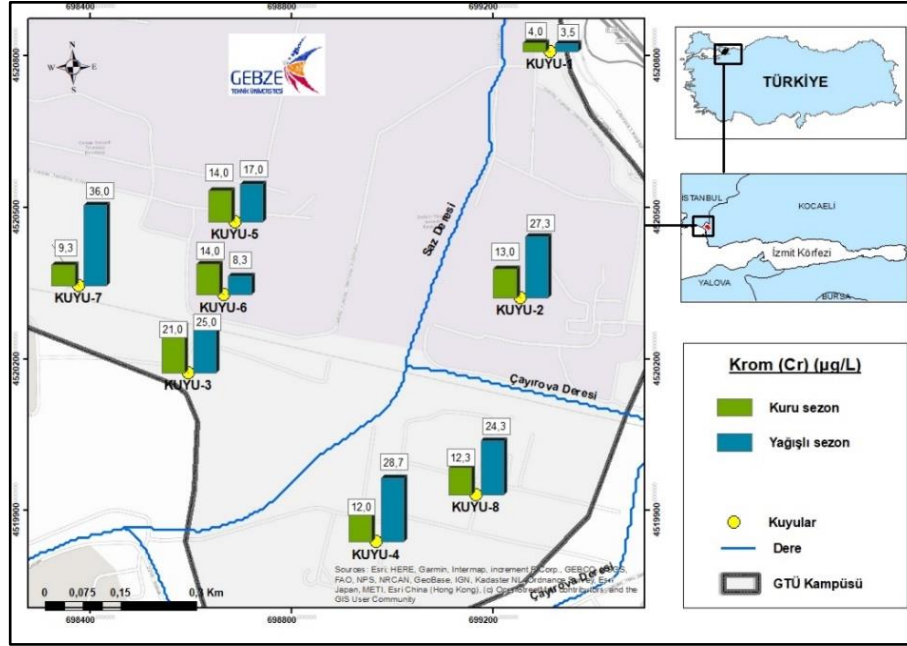
Şekil 5.13: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Pb konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

Kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama Cd konsantrasyon değerleri 0,0001-0,0010 mg/L arasında değişmekte olup, en düşük Cd konsantrasyon değerleri ortalaması 0,0001 mg/L ile kurak ve yağışlı dönemde birçok kuyuda ölçülürken, en yüksek Cd konsantrasyon değerleri ortalaması ise 0,010 mg/L ile yağışlı dönemde Kuyu-1-2-3'te ölçülmüştür (Şekil 5.15).



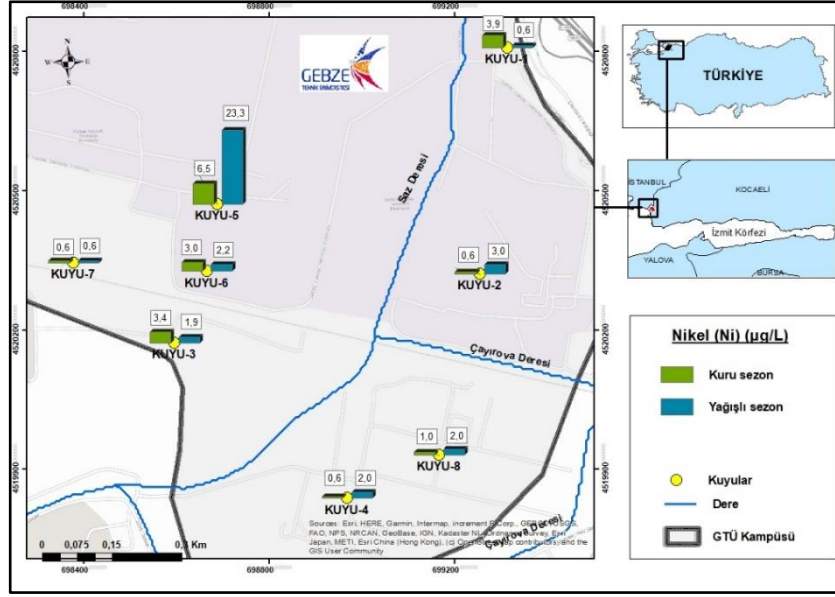
Şekil 5.14: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Cd konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

Şekil 5.16’da kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama Cr konsantrasyon değerleri 0,004-0,036 mg/L arasında değişmekte olup, en düşük Cr konsantrasyon değerleri ortalaması 0,004 mg/L ile hem kurak hem de yağışlı dönemde Kuyu-1’de ölçülürken, en yüksek Cr konsantrasyon değerleri ortalaması ise 0,036 mg/L ile yağışlı dönemde Kuyu-7’de ölçülmüştür .



Şekil 5.15: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Cr konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

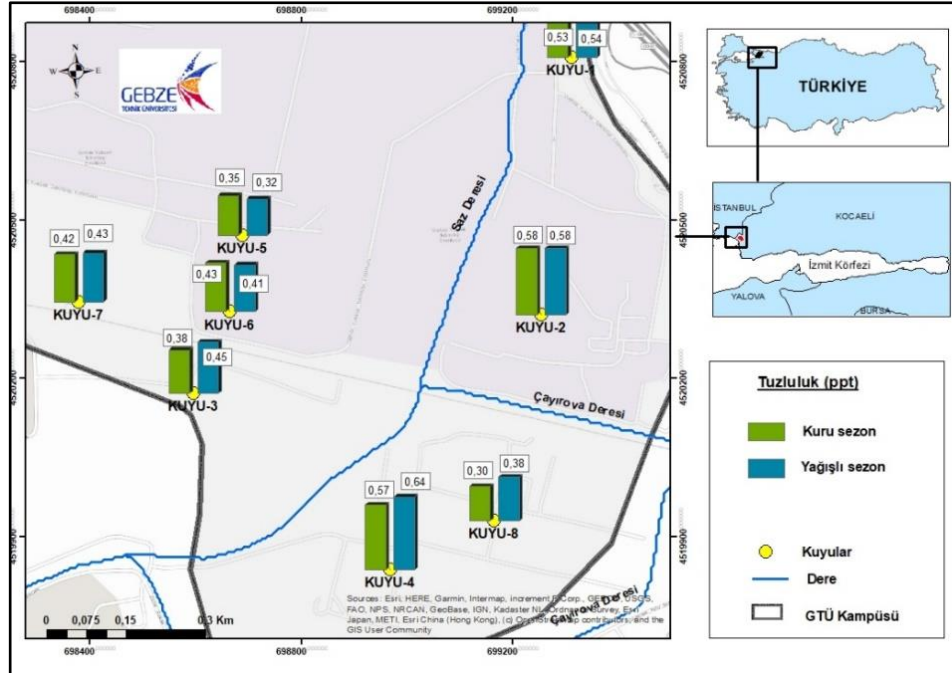
Kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama Ni konsantrasyon değerleri 0,001-0,023 mg/L arasında değişmekte olup, en düşük Ni konsantrasyon değerleri ortalaması 0,001 mg/L ile hem kurak hem de yağışlı dönemde birçok kuyuda cihaz ölçüm limiti altında ölçülürken, en yüksek Ni konsantrasyon değerleri ortalaması ise 0,023 mg/L ile yağışlı dönemde Kuyu-5’te ölçülmüştür (Şekil 5.17).



Şekil 5.16: Kurak ve yağışlı dönemlere ait Ni konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

5.5. SAR ve Tuzluluk

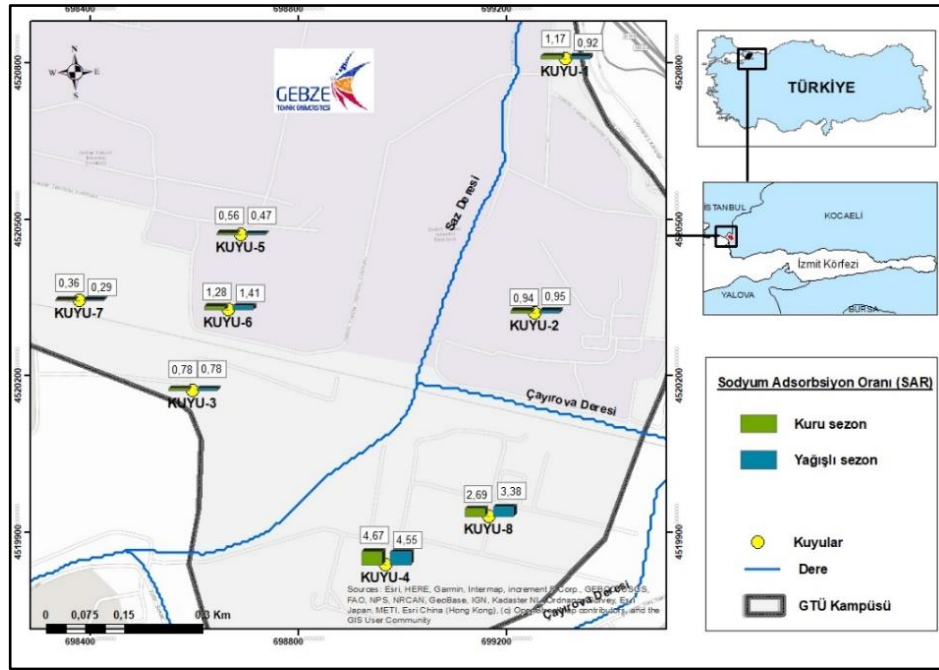
Kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama tuzluluk konsantrasyon değerleri 0,30-0,64 ppt arasında değişmektedir (Şekil 5.17).



Şekil 5.117: Kurak ve yağışlı dönemlere ait tuzluluk konsantrasyonlarının alansal dağılımı.

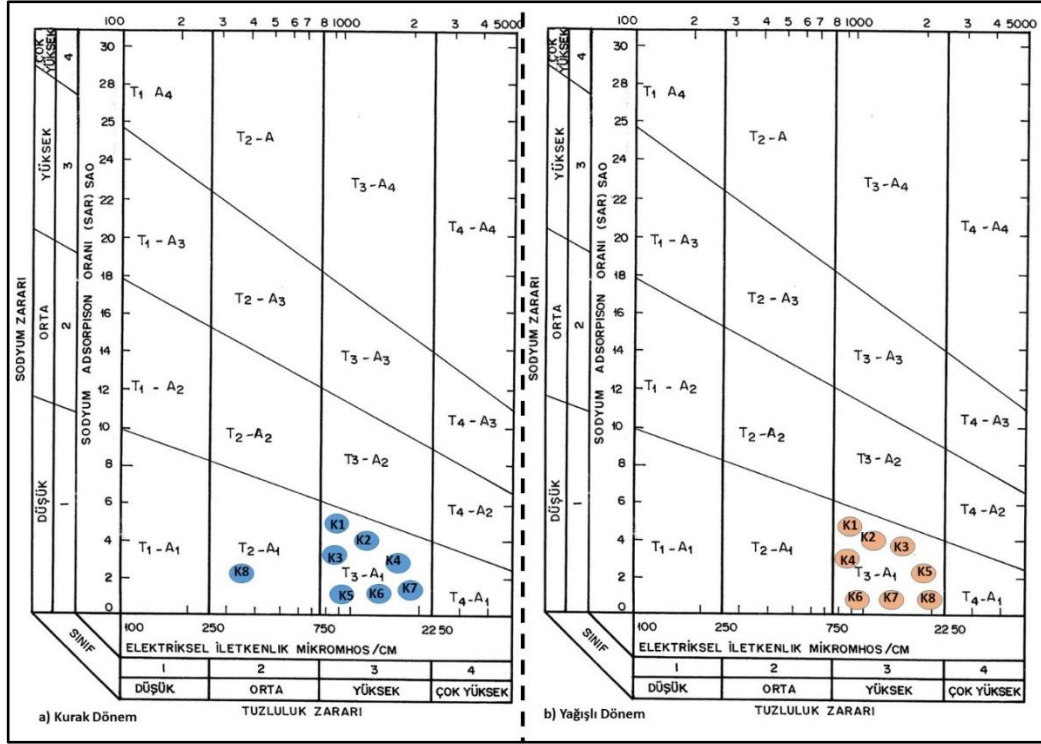
En düşük tuzluluk değeri ortalama 0,30 ppt ile kurak dönemde Kuyu-8’de, en yüksek ortalama tuzluluk konsantrasyon değerleri ise 0,64 ppt ile yağışlı dönemde Kuyu-4’te ölçülmüştür

Kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama SAR değerleri 0,29-4,67 arasında değişmekte olup, en düşük SAR değerleri ortalaması 0,29 ile yağışlı dönemde Kuyu-7’de ölçülürken, en yüksek SAR değerleri ortalaması ise 4,67 ile kurak dönemde Kuyu-4’te ölçülmüştür (Şekil 5.19).



Şekil 5.18:Kurak ve yağışlı dönemlere ait SAR Alansal Dağılımı

TS 7739 sulama suyu standardında yer alan sulama suyu sınıflandırma tablosu kullanılarak, kuyuların kurak ve yağışlı dönem ortalama EC ve SAR değerlerine göre sulama suyu sınıfları belirlenmiştir (Şekil 5.20). Kurak dönemde Kuyu-8 , T₂-A₁ orta tuzlu-düşük sodyumlu sulama suyu sınıfında yer almaktadır. Kurak dönemde diğer kuyular ise T₃-A₁ yüksek tuzlu-düşük sodyumlu sulama suyu sınıfında yer almaktadır. Yağışlı dönemde ise tüm kuyular T₃-A₁ yüksek tuzlu-düşük sodyumlu sulama suyu sınıfında yer almaktadır.



Şekil 5.19: Kurak ve yağışlı dönem sulama suyu sınıfları.

Bu çalışmada, Gebze Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde yer alan 8 adet kuyuya ilişkin YAS kalite parametrelerinin kirlilik düzeyleri 2021 yılı Temmuz-Aralık ayları boyunca kimyasal analiz yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır.

Elde edilen analiz sonuç verilerine göre;

- Kurak ve yağışlı dönemlerin ortalama su seviyelerinde kuyu bazında büyük farklar gözlenmemiştir. En yüksek su seviyesi Eylül ayında Kuyu-5'te ölçülmüştür.
- Kurak ve yağışlı dönemlerin ortalama sıcaklıklarında kuyu bazında yağışlı dönemde hava durumunun etkisi ile ciddi sıcaklık düşüşleri yaşandığı gözlemlenmiştir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerin ortalama pH değerlerinde kuyu bazında büyük farklar gözlenmemiştir. Çalışma alanındaki kuyuların küçük bir kısmı asidik özellik gösterirken büyük bölümü ise bazik özellik göstermektedir. Kuyuların bir kısmının özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında asidik özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Kurak ve yağışlı dönemlerde pH değerleri ortalaması incelendiğinde Kuyu-1 ve Kuyu-2 dışındaki kuyuların bazik özellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Buna sebep unsurlardan birinin yeraltı sularının yağmur suları ile beslenmesi olarak düşünülebilir.

- Kurak ve yağışlı dönemlerin ortalama CO konsantrasyon değerlerinde Kuyu-4 ve Kuyu-5'te yağışlı dönem ortalamalarının ani yükselişe geçtiği, Kuyu-8'de ise yağışlı dönem ortalamasının tuzluluk ve Na değerlerinin yükselişi sebebi ile ani düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir. CO , sıcaklık ve tuzlulukla ters orantılıdır, sıcaklık değerlerinin düştüğü yağışlı dönemde CO konsantrasyonun yükselmesi olağandır. Nitekim çalışma alanında sıcaklığın en düşük ölçümünün gerçekleştirildiği Aralık ayında Kuyu-5'te, en yüksek CO konsantrasyonu ölçülmüştür.
- Kurak ve yağışlı dönemlerin ortalama EC konsantrasyonlarının değerlerinde kuyu bazında büyük farklar gözlenmemiş olup, yağışlı dönemde EC konsantrasyon değerinde genel bir düşüş gözlenmiştir. Buna sebep olarak yağışlı dönemde yağmur sularının yeraltı sularındaki tuzluluk oranını seyrelttiği düşünülebilir. EC konsantrasyonu sıcaklıkla paraleldir, sıcaklık yükseldikçe EC konsantrasyon değerinin kurak dönemde yükseldiği görülmüştür.
- Kurak ve yağışlı dönemlerin ortalama $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının değerleri genel olarak yağışlı sezonda yükselirken kurak sezonda daha düşük olduğu ancak Kuyu-3, Kuyu-6 ve Kuyu-8'de ise tam tersi durum tespit edilmiştir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerin ortalama tuzluluk konsantrasyon değerlerinde kuyu bazında büyük farklar gözlenmemiştir .
- Kurak ve yağışlı dönemlerde Ca konsantrasyon değerlerinin ortalamalarının Kuyu-6 haricinde kuyu bazında yağışlı dönemlerde artış gösterdiği gözlenmiştir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerde Mg konsantrasyon değerlerinin ortalamalarının Kuyu-4 ve Kuyu-8 haricinde kuyu bazında yağışlı dönemlerde artış gösterdiği gözlenmiştir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerde Na konsantrasyon değerlerinin ortalamalarının genel olarak kuyu bazında yağışlı dönemlerde artış gösterdiği gözlenmiştir. Çalışma alanında Na konsantrasyon değerinin artmasına ilişkin olarak denize yakın noktadaki kuyularda deniz suyu girişi, evsel ve endüstriyel kirlenme yaşayan Saz ve Çayırova iki dere kolu arasında kalmalarının sebep olduğu düşünülebilir.

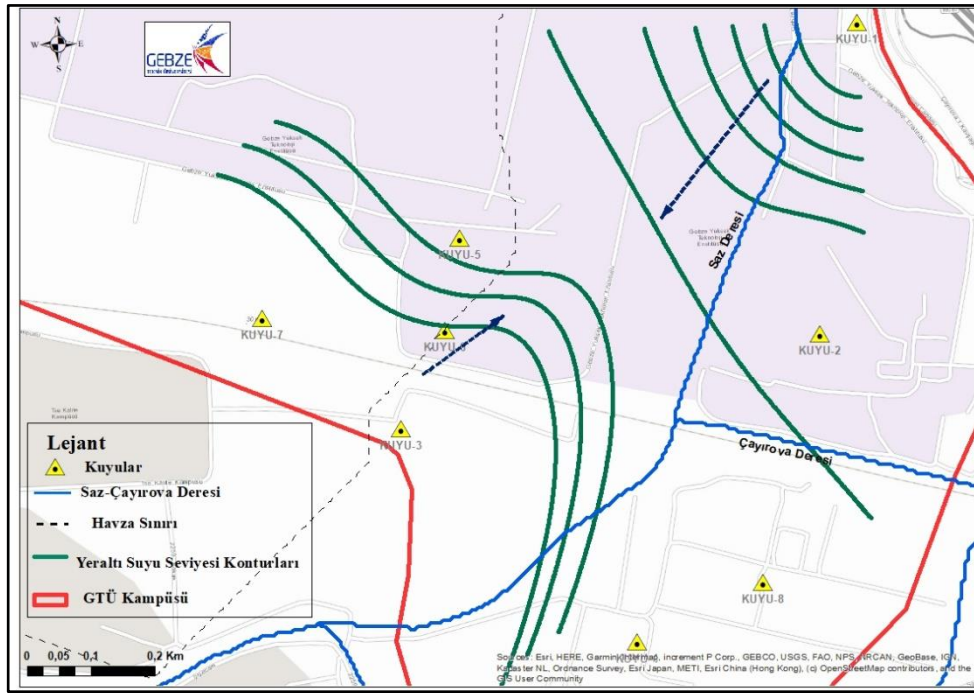
- Kurak ve yağışlı dönemlerde Fe konsantrasyon değerlerinin ortalamalarının kuyu bazında yağışlı dönemlerde düşüş gösterdiği ancak ortalamalar arasında büyük farklar oluşmadığı tespit edilmiştir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerde Zn konsantrasyon değerlerinin ortalamalarının Kuyu-5 dışında kuyu bazında büyük farklar oluşmadığı tespit edilmiştir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerde Pb konsantrasyon değerlerinin ortalamalarında Kuyu-3-5-7'de yağışlı dönemde ani düşüş yaşandığı, birçok kuyuda Pb konsantrasyon değerlerinin cihaz ölçüm limiti altında kaldığı tespit edilmiştir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerde Cd konsantrasyon değerlerinin ortalamalarının Kuyu-6'da stabil olduğu, Kuyu-7'de kurak dönemde daha yüksek olduğu, diğer kuyularda ise ortalamaların yağışlı dönemde yükseldiği gözlenmiştir. Yeraltı sularında Cd konsantrasyon değerinin artması tarımsal bitki ilaçlama ya da çimento sanayisi faaliyetlerinden kaynaklanabilir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerde Cr konsantrasyon değerlerinin ortalamalarının Kuyu-1'de stabil olduğu ve Kuyu-6'da kurak dönemde daha yüksek olduğu, diğer kuyularda ise ortalamaların yağışlı dönemde yükseldiği gözlenmiştir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerde Ni konsantrasyon değerlerinin ortalamalarının kuyu bazında kurak ve yağışlı dönemlerde ufak düşüş ve yükselişler yaşadığı ancak Kuyu-5'te Ni konsantrasyon değerleri ortalamasının yağışlı dönemde ani bir yükselişe geçtiği gözlemlenmiştir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerde TP konsantrasyon değerlerinin ortalamalarının Kuyu-2 hariç diğer kuyularda kurak dönemde daha yüksek olduğu, kuyu bazında TP konsantrasyon değerlerinin ortalamalarının dönemler arası geniş aralıkta seyrettiği gözlemlenmiştir.
- Kurak ve yağışlı dönemlerde SAR değerlerinin ortalamalarının Kuyu-3'te stabil olduğu diğer kuyularda ise kuyu bazında ortalamaların yağışlı ve kurak dönemlerde küçük aralıkta inişli çıkışlı bir profil çizdiği tespit edilmiştir. TS 7739 sulama suyu sınıflandırması kullanılarak kuyuların kurak ve yağışlı dönemdeki sulama sınıfları belirlenmiştir.
- Suyun asidik olması durumunda sedimentte ve suda parçacıklara bağlı şekilde asılı halde bulunan metaller çözünerek yeraltı suyuna karışır [43]. Bu sebeple pH'ın bazik olduğu durumlarda metallerin yeraltı suyunda çözünürlüğü azalır. Örnekleme yapılan kuyuların analizleri sonucunda Ph ölçümleri sonucu en

yüksek 10 bazik deęer incelenmiř ve Cd, Fe, Ni, Pb ve Zn konsantrasyon deęerleri ya limit deęer altında kalmıřtır ya da çok dūřuk seviyede ölçülmüřtür.

- Çalışma alanındaki kuyulardan 6 ay boyunca aylık periyotta örnek su numuneleri alınmıştır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen iz elementlerin analizleri sonucu, çalışmaya konu olan iz elementlerin (Fe, Zn, Cd, Cr, Ni, Pb) aylık ölçümlerde çoğunlukla cihaz (ICP-OES) lm limiti altında kaldıkları gözlenmiştir.

6. YERALTI SUYU TABAN AKIŞI

Yeraltı sularının akışı piyezometrik yüzeyin eğimi doğrultusunda meydana gelmektedir. Çalışma alanında 2021 yılında bölgeye düşen toplam yağış miktarı 509,6 mm, ortalama sıcaklığı ise 15,7 °C'tır. Çalışma alanında yeraltı suyu beslenimini kampüs içerisinden geçen Saz-Çayırova derelerinin yüzey suları ve yağışlar oluşturmaktadır. Yeraltı suyu seviyesinin belirlenmesi ile ilgili çalışmanın sonucunda Kuyu-3-5-6-7'nin aynı akış yönüne sahip olduğu görülmüştür (Şekil 6.1). Kuyu-1-2-4-8'in akış yönü ise kuzey doğudan olacak şekilde belirlenmiştir. Saz deresi havza sınırının Kuyu-3-5-6-7'yi diğer kuyulardan ayıracak şekilde konumlanmış olmasının da bu durumu etkileyeceği düşünülmektedir. Kampüs içerisindeki yeraltı su tablasının eş yükselti eğrileri ve raster verisi oluşturularak kuru dönemdeki (Temmuz ayı) akış yönü şekil 6.1'de gösterilmiştir.

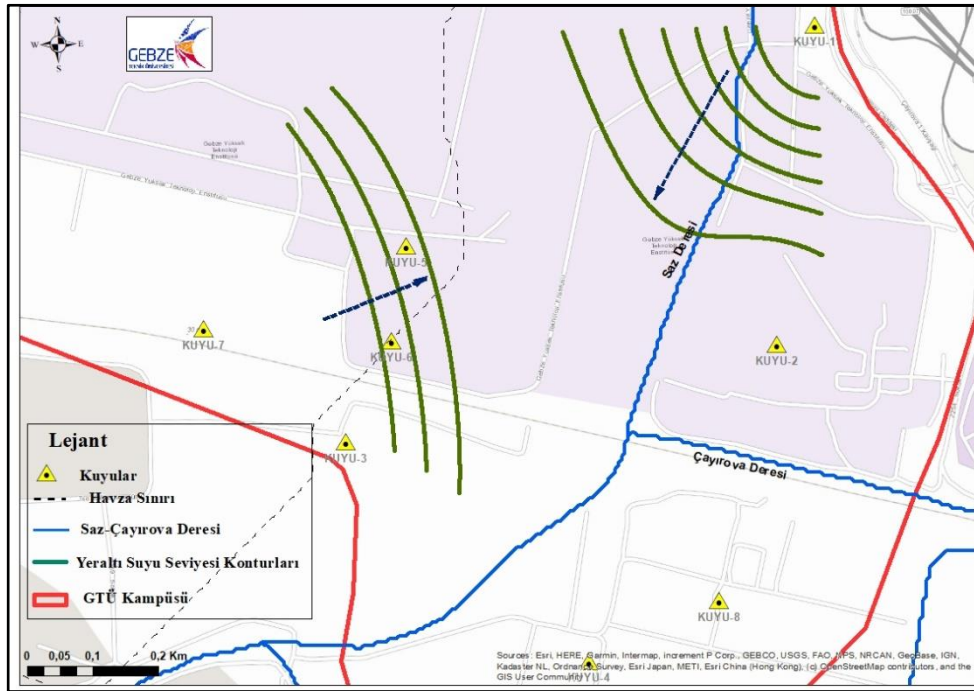


Şekil 6.1: Çalışma alanı Temmuz ayı (kuru dönem) yeraltı suyu akış haritası.

Bu eş yükselti eğrilerine göre kampüsün kuzeydoğusunda yer alan Kuyu-1 çevresinden güneybatıya doğru yoğun eş yükselti eğrileri oluşmuştur. Çalışma alanı için yeraltı suyu akış yönü kuzeydoğudan güneybatıya doğrudur.

Kuyulardaki yeraltı sularının bazı karakteristik özelliklerinin yeraltı suyunun akış yönü boyunca azaldığı gözlenmiştir. Akış yönü doğrultusunda birbirinden uzak olan kuyular arası değerlerin azaldığı gözlenmiştir. Temmuz ayına ilişkin hazırlanan kuru dönem yeraltı suyu akış haritasına göre akış yönü doğrultusunda kuyular arası aşağıdaki gibi değişiklikler gözlenmiştir:

- Kuyu-1’de ölçülen elektriksel iletkenlik, tuzluluk, Mg, Na, Ca, P ve SAR değerleri Kuyu-7’de azaldığı gözlenmiştir.
- Kuyu-2’de ölçülen elektriksel iletkenlik, tuzluluk, Mg, Na, Ca ve SAR değerlerinin Kuyu-3’te azaldığı gözlenmiştir.
- Kuyu-4’te ölçülen elektriksel iletkenlik, tuzluluk, Mg, Na, P ve SAR değerlerinin Kuyu-6’da azaldığı gözlenmiştir.
- Kuyu-1’de ölçülen elektriksel iletkenlik, tuzluluk, Ca, Na, Mg ve SAR değerlerinin Kuyu-5’te azaldığı gözlenmiştir.
- Kuyu-2’de ölçülen elektriksel iletkenlik, tuzluluk, Ca ve Mg değerlerinin Kuyu-8’de azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 6.2: Çalışma alanı Aralık ayı (yağışlı dönem) yeraltı suyu akış haritası.

Çalışma alanındaki yeraltı su tablasının yağışlı dönem (Aralık ayı) eş yükselti eğrileri ve raster verisi oluşturularak yağışlı dönemdeki akış yönü şekil 6.2’de

gösterilmiştir. Aralık ayına ilişkin hazırlanan yağışlı dönem yeraltı suyu akış haritasına göre akış yönü doğrultusunda kuyular arası aşağıdaki gibi değişiklikler gözlenmiştir:

- Kuyu-1’de ölçülen elektriksel iletkenlik, tuzluluk, Mg, Ca ve P değerleri Kuyu-8’de azaldığı gözlenmiştir.
- Kuyu-2’de ölçülen Mg, Ca ve P değerlerinin Kuyu-4’te azaldığı gözlenmiştir.
- Kuyu-1’de ölçülen elektriksel iletkenlik, tuzluluk, Mg, Ca ve P değerlerinin Kuyu-6’da azaldığı gözlenmiştir.
- Kuyu-2’de ölçülen elektriksel iletkenlik, tuzluluk, Mg, Na, Ca, P ve SAR değerlerinin Kuyu-5’te azaldığı gözlenmiştir.
- Kuyu-6’da ölçülen elektriksel iletkenlik, Mg ve Ca değerlerinin Kuyu-8’de azaldığı gözlenmiştir.

7. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİ

7.1. Değerlendirme

Küresel ısınma ve iklim krizi konularının gündemden düşmediği günümüzde yeraltı sularının önemine dikkat çekerek, içme veya sulama amaçlı kullanımına ilişkin birçok akademik çalışma faaliyeti gerçekleştirilmiştir.

Fırat Üniversitesi'nin (Elazığ) kampüs alanındaki yeraltı sularının kimyasının ve kalitesinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada Özulukale (2010), kampüs alanındaki 7 istasyondaki yeraltı sularından alınan örnek numunelerin hidrojeokimyasal özelliklerini ve bazı kirletici parametrelerini inceleyerek, yeraltı sularının içme suyu ve sulama suyu olarak kullanılabilirliğini ulusal ve uluslararası ilgili yönetmelik ve standartlar doğrultusunda değerlendirmiştir [29]. Çalışmada Kasım ayındaki Ca^{+2} miktarının Temmuz ayına göre arttığı gözlenmiş, buna sebep olarak yağış sularının daha fazla Ca' yı çözdüğü söylenmiştir. Tez çalışmasında da buna benzer şekilde yağışlı dönemde Ca konsantrasyon değerleri genel olarak kuyularda artış göstermiştir.

Acar vd. (2012), çalışmalarında Kütahya ili Emet ve Hisarcık ilçeleri bölgesindeki yeraltı suyu kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla 10 istasyon üzerinde fizikokimyasal (sıcaklık, pH, EC, tuzluluk, ÇO gibi), mikrobiyolojik (toplam koliform) ve inorganik (Al, B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr, Pb, Ca, Na, Mg gibi) analizler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada bazı istasyonların sıcaklıklarının çok yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak kaplıca sularından da örnekler alındığından söz edilmiştir ancak bu tez çalışmasında bölgede herhangi bir kaplıca olmaması sebebi ile yeraltı su kalite sıcaklıkları limit değerler arasında değişim göstermiştir. Çalışmada bir diğer konu nitrat konsantrasyonlarının çok değişken olduğudur. Buna sebep olarak bölgedeki tarımsal faaliyetler, zirai mücadelede kullanılan pestisitler ve evsel atıkların toprak aracılığıyla yeraltı suyuna geçtiği öngörülmüştür. Tez çalışmasında nitrat konsantrasyon değerleri arasında çok büyük değişkenlikler olmamakla birlikte, ilgili limit değerlerinin çok çok altında kaldığı ve kuyulardaki yeraltı sularının büyük ölçüde doğal yollarla kirlendiği düşünülmüştür.

Çalışma da Al, Ni, Cr gibi parametrelerin pH'ın bazikliğe daha yakın olması sebebi ile metallere bazılarının tam çözünememesi gösterilmiştir. Benzer duruma bu tez çalışması kapsamında da rastlanılmış olup pH değerinin bazikliğe yakın olduğu ve bazik değerlerin yükseldiği durumlarda kuyulardaki bazı ağır metallerin (Cd, Cr, Fe, Pb, Zn, Ni) değerleri cihaz (ICP – OES) ölçüm limiti altında kalmıştır[43].

Güneş (2018) tarafından Bartın ilinde gerçekleştirilen bir başka akademik çalışmada, 5 ayrı noktadaki kuyulardan örnek su numuneleri alınmış ve YAS kalitesinin fizikokimyasal parametrelerinin içme suyu ya da sulama suyu amacıyla kullanılabilirliği araştırılmıştır [44]. Çalışma sonucunda kimyasal parametre analiz sonuçlarının limit değerleri aşmadığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında da birkaç kimyasal parametrenin kuyu bazında aylık limit değer aşımaları dışında genel itibariyle limit değerlerinin altında kaldığı gözlenmiştir.

İnceleme alanındaki kuyuların aynı jeolojik yapıda olması sebebi ile kuyular arası YAS kalite parametrelerinin analiz sonuçlarında büyük değişimler gözlenmemiştir.

Çalışma alanından örneklenen numunelerin analiz sonuçları TS-266, WHO ve EPA gibi ulusal ve uluslararası içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında elde edilen verilere göre; inceleme alanındaki yer altı sularının içme suyu amacıyla doğrudan kullanımının insan sağlığı bakımından uygun olmadığı tespit edilmiştir.

İnceleme alanından örneklenen numunelerin analiz sonuçları SKKY, Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Yönetmeliği, Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği ve TS 7739'da yer alan ulusal yönetmelik ve standartlara ilişkin limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda elde edilen verilere göre; çalışma bölgesindeki yeraltı sularının sulama amacıyla kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Gebze Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde yer alan 8 adet kuyudan yalnızca 2 tanesinin kurak dönemde aktif olarak kullanıldığı bilgisi üniversite yapı denetim biriminden alınmıştır. Kuyu-1'den tanker ile alınan yeraltı suyu kampüs içerisinde yer alan süs havuzunda kullanılmaktadır. Kuyu-5 ise otomatik sulama sistemine bağlıdır. Üniversite bünyesinde kullanılmak üzere yangın tankeri dolumu, yeşil alan sulaması ve ağaç dikme gibi faaliyetlerde özellikle Kuyu-5'ten kurak dönemde fayda sağlandığı bilgisine ulaşılmıştır. Üniversite yapı denetim biriminin ifadesiyle; kurak dönemde Kuyu-5'ten sulama amacıyla otomatik olarak çekilen su, sulama suyunun %16,67' sini oluşturmaktadır.

Çalışma alanı içerisinde yer alan tüm kuyuların içme suyu amacıyla kullanılabilmesi için üniversite bünyesinde uygun arıtma sisteminin kurulması ve uygun yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

İnceleme alanındaki kuyuların mevcutta Kuyu-1 ve Kuyu-5 dışında kullanımının olmadığı tespit edilmiştir. Uygun su çekme yöntemleri ile çalışma alanındaki tüm kuyulardan sulama suyu ve yangın tanker dolumu konusunda yararlanılabileceği gibi, süs havuzlarının dolumu, kampüs içi servis araçlarının yıkanması, fakültelerde temizlik amaçlı kullanımı gibi alanlarda da fayda sağlanabilir. Ayrıca uygun bir yeraltı suyu depolama alanı yapılması durumunda kampüs içerisinde yer alan havuzda da kuyu sularının kullanımı gerçekleştirilebilir. Tüm kuyuların aktif olarak sisteme dahil edilmesi ile üniversite bünyesinde su kullanımı konusunda sürdürülebilirlik faaliyetlerinin artırılması sağlanabilir.

7.2. Öneri

İnsanlığın su ihtiyacının karşılanması noktasında yeraltı suları önemli bir kaynaktır ve YAS kalitesinin gelecek nesiller için kullanılabilirliği açısından korunması son derece önemlidir.

Bu çalışma GTÜ kampüsü içerisinde bulunan mevcut kuyulardaki YAS kalite parametrelerinin analizi gerçekleştirilerek, içme ve sulama suyu olarak kampüs içerisinde kullanımına yönelik kuyu sularının kalite seviyelerinin araştırılması kapsamında ilk akademik çalışma olma özelliği taşımaktadır. Gelecekte YAS kirleticilerin önlenmesi ve kampüs içerisinde mevcut yeraltı suyu kaynaklarının en verimli şekilde kullanımı konusunda Üniversite yönetimince temel bilgi kaynağı olarak kullanılabilir.

Mevcut çalışmanın pandemi dönemine denk gelmesi nedeniyle kuyularda kısa süreli aylık YAS kalite parametrelerini izleme çalışması yapılabilmektedir ancak bu tez çalışmasının öncü olacağı gelecekteki akademik çalışmalarda analiz edilecek YAS kalite parametrelerinin sayılarının artırılması (K, %NA, TDS, NH_4^+ , K, Cl^- , RSC, SO_4^{2-} , Sertlik gibi), numune alma sıklığı ve süresinin daha uzun bir döneme yayılması, uluslararası farklı standart, diyagram ve sınıflandırmaların kullanımı ve coğrafi bilgi sistemlerinin çalışmalara daha yoğun bir şekilde dahil edilmesi ile YAS kalite parametrelerinin kampüs alanındaki mekânsal dağılım haritalarının oluşturulması

sonucunda kampüsteki kuyuların daha detaylı değerlendirilmesi kampüs içerisindeki yeraltı sularının önemine ve kullanımına daha fazla dikkat çekecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Demir H. K., (2020), “Yeraltı Su Kalitesinin Tahmin Modelleri Kullanılarak Değerlendirilmesi; Gediz Havzası Örneği,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [2] Web 1, (2022), <https://afam.org.tr/dakarda-9-dunya-su-forum>, (Erişim Tarihi:10.12.2022).
- [3] Web 2, (2021), <https://suen.gov.tr/Suen/catdty.aspx?val=1496>, (Erişim Tarihi:14.12.2021).
- [4] Davraz A., Ünver Ö., (2014), “İnegöl Havzası (Bursa) Hidrojeolojisi ve Yeraltısularının Kalite Değerlendirilmesi,” Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi, 18(2), 7-21.
- [5] Babiker I. S., Mohamed A. A. M., Hiyama T., (2007), “Assessing Groundwater Quality Using GIS,” Water Resour. Manag. 21, 699-715.
- [6] Nas B., Berkay A., (2010), “Groundwater Quality Mapping in Urban Groundwater Using GIS,” Env. Monit Assess, 160, 215-227.
- [7] Jamshidzadeh Z., Mirbagheri S. A., (2011), “Evaluation of Groundwater Quantity and Quality in the Kashan Basin, Central Iran,” Elsevier, 270, 23–30 .
- [8] Uğurluoğlu A., (2013), “Seydisuyu Havzası Yeraltı Su Kalitesinin Ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi.
- [9] Özşahin E., (2013), “CBS Kullanılarak Su Kalitesinin Dağılışı ve Değerlendirilmesi: Cevizli Dere Havzası (Tekirdağ) Örneği,” Turkish Stud. 8(12), 1067-1082.
- [10] Sethy S. N., Syed T. H., Kumar A., (2017), “Evaluation of Groundwater Quality in Parts of the Southern Gangetic Plain Using Water Quality Indices,” Environ. Earth Sci. 76, 116.
- [11] Kawo N. S., Karuppattan S., (2018), “Groundwater Quality Assessment Using Water Quality Index and GIS Technique in Modjo River Basin, Central Ethiopia,” J. African Earth Sci. 147, 300-311.
- [12] Salman G. İ., (2019), “Kaman (Kırşehir) Bölgesi Yeraltı Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Kullanılarak Değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi.
- [13] Topçu E., Taş İ., (2020), “Sulama Suyu Kalitesi Açısından Çanakkale–Biga Ovası Yeraltı Sularının Durumu,” ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 8(1), 251-260.

- [14] Yuka F., (2021), "Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Su Kalitesi İndisleri Kullanılarak Tarsus Kıyı Akiferi (Mersin) Yeraltı Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi.
- [15] Çolak M. G., (2021), "Yeraltı Sularının Sulamaya Uygunluklarının Matematiksel Eşitlikler ve Grafikselleştirme Yöntemleriyle Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi., 2021.
- [16] Aragaw T. T., Gnanachandrasamy G., (2021), "Evaluation of Groundwater Quality for Drinking and Irrigation Purposes Using GIS-Based Water Quality Index in Urban Area of Abaya-Chemo Sub-Basin of Great Rift Valley, Ethiopia," Appl. Water Sci. 11, 148.
- [17] Şener Ş., Varol S., Şener E., (2022), "Akşehir (Konya) Ovası Yeraltısuyu Kalitesi ve Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi," J. Limnol. Freshw. Fish. Res. 8(1), 80-91.
- [18] Alemdar S., Kahraman T., Ağaoğlu S., Alisharlı M., (2009), "Bitlis İli İçme Sularının Bazı Mikrobiyolojik ve Fizikokimyasal Özellikleri," Ekoloji, 19, 29-38.
- [19] Demir S., Kılıç K., (2012), "Erbaa Ovası Yeraltı Suyunun Tuzluluğunun Değerlendirilmesi," Iğdır Üni. Fen Bilim. Enst. Der., 2(4), 79-86.
- [20] Eroğlu M., (2012), "Aksaray İli Merkez İlçesinin Yüzey Ve Yeraltı Su Potansiyelinin Ve Su Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi.
- [21] Bakış R., Koyuncu H., Özkan A., Banar M., Yılmaz G., Yörükoğulları E., (2011), "Porsuk Havzası Yüzeysel ve Yeraltı Suyu Kirlilik Düzeyinin Araştırılması," Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknol. Dergisi, 12(2), 75-89.
- [22] Özel U. H., Gemici B. T., (2016), "Bartın Irmağı Kirlilik Profiline Fiziksel Parametrelerle Belirlenmesi," Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi, 7(1), 52-58.
- [23] Karadeniz Ö., (2021), "Palas Ovası'nda Yeraltı Suyu Seviye ve Kalitesinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.
- [24] Demer S., Hepdeniz K., (2018), "Isparta Ovasında (GB-Türkiye) Sulama Suyu Kalitesinin İstatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi," Türk Coğrafya Dergisi, 70, 109-122.
- [25] Çalışkan L., (2018), "Kurtboğazı Havzası ve Onu Besleyen Havzaların Kalite Parametrelerinin İzlenmesi ve Planlanması," Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi.
- [26] Sünal S., Erşahin S., (2012), "Türkiye'de Tarımsal Kaynaklı Yeraltı Suyu Nitrat Kirliliği," Türk Bilim. Derlemeler Dergisi, 5(2), 116-118.

- [27] Morkoyunlu Y. A., Özel İ., Aktaş M., (2018), "Sürdürülebilir Su Yönetimi için Su Kuyularında Nitrat Değerlerinin Belirlenmesi (Kocaeli/Türkiye)," Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 14(1), 49-58.
- [28] Korkut R. N., (2009), "Deliçay-Tarsus Çayı (Mersin) Arasındaki Bölgedeki Yeraltısularında Nitrat Ve Nitrit Kirliliğinin Araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi.
- [29] Özulukale S., (2010), "Fırat Üniversitesi (Elazığ) Kampüs Alanındaki Yeraltı Suyu Kimyası Ve Kalitesi," Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.
- [30] Kul R. B., (2021), "Bitlis İli ve İlçelerinde Yeraltı Suyu Kaynaklarının Su Kalite Parametreleri Bakımından Değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi.
- [31] Demer A. S., (2008), "Isparta ve Yakın Çevresi Yeraltısularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal İncelenmesi ve İçme Suyu Kalitesinin İzlenmesi," Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi., 2008.
- [32] Yiğit E., (2016), "Gezin (Elazığ) Beldesi Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal İncelemesi," Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.
- [33] Ece F., (2021), "Erdemli (Mersin) Kıyı Akiferi Su Kalitesinin Araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi.
- [34] Yetiş D. A., (2013), "Ceylanpınar Ovası Yeraltı Suyu Kalitesinin Ve Kirlenme Potansiyelinin Belirlenmesi," Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- [35] Barış N., (2008), "Tahtalı Baraj Havzasının Hidrojeolojik İncelenmesi ve Yeraltı Suyu Kirlenebilirliğini AHS-Drastic Yöntemi İle Değerlendirilmesi," Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi., 2008.
- [36] Bassiony E., Tawfik A., Amin, Wallaa F., Ahmed, Ebtsam O., (2016), "Impact of Heavy Metal Contamination on Milk And Underground Water of the New Valley, Egypt," IOSR J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol. 10(8), 23-29.
- [37] Konare M., (2021), "Amasya İli Yüzey ve Yeraltısuyu Kalite Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi," Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- [38] Web-3,(2009),
<https://scdhec.gov/sites/default/files/docs/HomeAndEnvironment/Docs/Zinc.pdf>, (Erişim Tarihi: 18.09.2022). .
- [39] Arslan H., Güler M., Cemek B., Demir Y., (2007), "Bafra Ovası Yeraltı Suyu Kalitesinin Sulama Açısından Değerlendirilmesi," Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4(2), 219-226.
- [40] Yanık T., Aras N. M., Çiltaş A. K., (2001), "Su Kalitesine Giriş Ders Notları,"

Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi.

- [41] Demir E., (2019), “Cip Barajı (Elazığ) Sularının Sulama Dönemi Fizikokimyasal Özelliklerinin Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Munzur ve Atatürk Üniversitesi.
- [42] Mutlu E., Yanık T., Demir T., (2013), “Horohon Deresi (Hafik- Sivas) Su Kalitesi Özelliklerinin Aylık Değişimleri,” Alınteri, 25(B), 45-57.
- [43] Acar G., Tokatlı C., Köse E., Çiçek A., Dayıoğlu H., (2012), “Emet ve Hisarcık Bölgesi (Kütahya) Yeraltı Suyu Kalitesinin İncelenmesi,” Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi, 27, 1302-3055.
- [44] Güneş G. (2018), “Yeraltı Suyu Kalitesinin Fizikokimyasal Parametrelerle Belirlenmesi: Bartın İli Örneği,” Int. Symp. Urban Water Wastewater Manag. October, 25-27.

ÖZGEÇMİŞ

Ayşe ARSLAN ÇANAKÇI, 2007 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü 2012 yılında başarıyla tamamladı. 2016-2017 yıllarında İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsünde İş Sağlığı ve Güvenliği bölümünde yüksek lisans eğitimini aldı. 2012-2017 yılları arasında özel sektörde Entegre Atık Yönetimi Uzman Yardımcısı, Çevre ve ISG Uzmanı pozisyonlarında çalıştı. 2020 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Anabilim Dalında başladı.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Arslan Çanakçı A., Çelen M, Öncel M. S., Oruç H. N., Vural Vatansever S., “Yeraltı Suyu Kalite Parametrelerinin Deterministik ve Stokastik Yöntemler ile Dağılım Haritalarının Oluşturulması”, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, 6. Yüksek Lisans Bitirme Projeleri Sergisi, 01-02 Haziran 2022, Kocaeli