

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANA BİLİM DALI**



**MERSİN İLİ ANAMUR VE AYDINCIK İLÇELERİNİN YER
ALTISUYU KALİTESİNİN SULAMA AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Demet SEZER

Danışman

Prof. Dr. Hakan ARSLAN

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Demet SEZER tarafından, **Prof. Dr. Hakan ARSLAN** danışmanlığında hazırlanan “**MERSİN İLİ ANAMUR VE AYDINCIK İLÇELERİNİN YERALTI SUYU KALİTESİNİN SULAMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 28.2.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Hakan ARSLAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Kadir Ersin TEMİZEL Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Sultan KIYMAZ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

04 /01/ 2023
Demet SEZER

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : MERSİN İLİ ANAMUR VE AYDINCIK İLÇELERİNİN YERALTI SUYU KALİTESİNİN SULAMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 04/01/2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 17

Tek kaynak oranı : % 5 çıkmıştır.

04/01/2023
Prof. Dr. Hakan ARSLAN

ÖZET

MERSİN İLİ ANAMUR VE AYDINCIK İLÇELERİNİN YERALTI SUYU KALİTESİNİN SULAMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Demet SEZER

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Şubat/2023

Danışman: Prof. Dr. Hakan ARSLAN

Sulama suyunun miktarı kadar kalitesi de bitki verimini önemli derecede etkilemektedir. Özellikle kıyı bölgelerindeki yeraltı suları deniz suyu girişimine maruz kalabilmektedir. Kıyı bölgeleri olmak üzere tüm yeraltı sularının kalitelerinin alansal ve zamansal değişimlerinin sürekli takip edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Mersin ili Anamur ilçesinin özellikle seralarda sulama amacıyla kullanılan yeraltı sularının kalitesini belirlemek amacıyla Ağustos 2021 tarihinde 51 adet yeraltı su kuyusundan örnek alınmıştır. Yeraltı sularının hidrokimyasal özelliklerinden pH, EC, Na^+ , Mg^{+2} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{+2} değerleri tespit edilmiştir. Yeraltı sularının sulamada kullanılabilirliğini incelemek amacıyla yüzde sodyum değeri (%Na), PI, RSC, PS, MR, KI, SAR değerleri hesaplanmıştır. Hidrokimyasal özellikler ve sulama suyu kalite indekslerinin alansal dağılımları haritaları Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak hazırlanmış ve kalite parametreleri arasındaki ilişkiler korelasyon analizi ile ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda alandaki yeraltı sularının EC değerlerinin 0.475 dS/m ile 1.13 dS/m arasında değişim gösterdiği ve alanının % 92.03 ünün sulama açısından 3. Sınıf olduğu belirlenmiştir. Mg değerleri 7.293 mg/l ile 99.54 mg/l arasında değişim göstermiş ve alanının %9.71 indeki suların Mg açısından sulamaya uygun olmadığı tespit edilmiştir. Potansiyel tuzluluk (PS) değerleri 1.375 ile 7.295 arasında değişim göstermiş ve alanının %84.91 sulama açısından orta sınıfta yer almaktadır. Yeraltı sularından K değerleri 0.391 mg/l ile 10.557 mg/l arasında değişim göstermiş ve alanın %68.3 ündeki yeraltı suyunun sulamaya uygun olmadığı belirlenmiştir. Alandaki yeraltı suyu kalitesinin sulama açısından çok büyük problemler oluşturacak seviyelerde olmadığı belirlenmiştir. Mersin ili Anamur ve Aydınıcık ilçelerinin kıyı bölgesi olması sebebi ile yeraltı sularının sulamada kontrollü bir şekilde kullanılması gerektiği bunun dışındaki durumlarda deniz suyu girişi olabileceği öngörülerek sulama suyunda kullanılmasında ve yetiştirilen tarım ürünlerinin verimlerinde sorunlar çıkabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Mersin, Su kaynakları, Sulama suyu kalitesi, Yeraltı suyu.

ABSTRACT

EVALUATION OF GROUNDWATER QUALITY OF MERSIN PROVINCE ANAMUR AND AYDINCIK DISTRICTS IN TERMS OF IRRIGATION

Demet Sezer

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Agricultural Structures and Irrigation

Master, February/2023

Supervisor: Prof. Dr. Hakan ARSLAN

The quality of irrigation water as well as the amount, significantly affects plant yield. Especially in coastal areas, groundwater may be subject to seawater intrusion. Spatial and temporal changes in the quality of all groundwaters, especially in coastal areas, should be constantly monitored. In this study, samples were collected from 51 groundwater wells in Mersin province, Anamur district, in August 2021 to determine the quality of groundwater used for irrigation, especially in greenhouses. To determine the hydrochemical properties of groundwater, the values of pH, EC, pH, EC, Na^+ , Mg^{+2} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{+2} were determined. To investigate the usability of groundwater for irrigation, the values of percent sodium (%Na), PI, RSC, PS, MR, KI, SAR were calculated. Spatial distribution maps of hydrochemical properties and indices of irrigation water quality were prepared using geographic information systems, and correlation analyses were performed to study the relationships among quality parameters. As a result of the study, it was found that EC values of groundwater in the area vary between 0.475 dS/m and 1.13 dS/m, and 92.03% of the area belongs to class 3 in terms of irrigation. The Mg values vary from 7.293 mg/l to 99.54 mg/l, and it was found that the water in 9.71% of the area is not suitable for irrigation in terms of Mg content. The values of potential salinity (PS) vary from 1.375 to 7.295 and 84.91% of the area is in the medium class in terms of irrigation. The K values of groundwater varied from 0.391 mg/l to 10.557 mg/l and it was found that groundwater in 68.3% of the area is not suitable for irrigation. Groundwater quality in the area was not considered high enough to cause major irrigation problems. However, since it is a coastal region, it is proposed that the groundwater in these regions be used in a controlled manner. Since the Anamur and Aydıncık districts of Mersin are coastal regions, it is foreseen that groundwater should be used in irrigation in a controlled manner, and in other cases, seawater intrusion may occur, and it is predicted that problems may arise in the use of irrigation water and the yield of agricultural products.

Keywords: Mersin, WaterResources, Irrigation water quality, Groundwater.

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans projem süresince bana kaynak desteği sağlayan okul kütüphaneme ve danışman hocam Prof. Dr. Hakan ARSLAN'a daha sonra tüm eğitim hayatım boyunca bana destek olan annem Sakine AYDENİZ'e, kardeşim Burcu SEZER'e ve dostlarım Nursena GÜNDOĞDU, Kardelen ATASEVER TOLAY ve çok değerli Özgür KÖSEOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Demet SEZER



İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLOLAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Materyal.....	15
3.1.1. Coğrafi Konum	15
3.1.2. Meteorolojik Özellikler	16
3.1.3. Su Kaynakları	16
3.1.4. Tarım Potansiyeli.....	17
3.2. Yöntem	18
3.2.1. Yeraltı Suyu Örneklerinin Alınması.....	18
3.2.2. Su Kalitesinin Belirlenmesi İçin Yapılan Analizler	19
3.2.3. Suların Sulamaya Uygunluklarının Belirlenmesi	19
3.2.4. Alansal Dağılım Haritaları.....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	22
4.1. Yeraltı Sularının Hidrokimyasal Özellikleri.....	22
4.2. Yeraltı Sularının Sulamaya Uygunluklarının Değerlendirilmesi	32
4.3. Korelasyon Analizi	39
4.4. Suların Özelliklerinin Grafikselleştirme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi.....	43
5. SONUÇ	41
KAYNAKÇA.....	43
ÖZ GEÇMİŞ	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

dSm^{-1}	: Desisiemens/metre
mg/l	: Miligram/litre
Br	: Brom
Ca^{2+}	: Kalsiyum
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
Cl	: Klorür
CO ₃	: Karbon
EC	: Elektriksel Kondüktivite
Fe^{2+}	: Demir
Fl-	: Florür
GPI	: Yeraltı Suyu Kirlilik İndeksi
HCO_3^-	: Bikarbonat
H ₂ O	: Su
IWQI	: Yeraltı su kaynağı Kalite İndeksi
K	: Potasyum
KR	: Kelly Oran İndeksi
LSI	: Langelier Doygunluk İndeksi
Mg^{2+}	: Magnezyum
Na	: Sodyum
NO_3^-	: Nitrat
O	: Oksijen
pH	: Hidrojen İyon Konsantrasyonu
PI	: Geçirgenlik İndeksi
PS	: Potansiyel Tuzluluk
RSC	: Artık Sodyum Karbonat
SAR	: Sodyum Absorpsiyon Oranı
SO_4^{2-}	: Sülfat
SSP	: Çözünür Sodyum Yüzdesi
TDS	: Toplam Çözünmüş Katılar
TK	: Toplam Sertlik
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
WQI	: Su Kalite İndeksleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Mersin İli Çalışma alanı	18
Şekil 4.1. EC(dS/m) değerinin alansal dağılımı	24
Şekil 4.2. pH değerinin alansal dağılımı.....	25
Şekil 4.3. K ⁺¹ (mg/l) değerinin alansal dağılımı	26
Şekil 4.4. Ca ⁺² (mg/l) değerinin alansal dağılımı	27
Şekil 4.5. Mg ⁺² (mg/l) değerinin alansal dağılımı.....	28
Şekil 4.6. HCO ₃ ⁻ (mg/l) değerinin alansal dağılımı	29
Şekil 4.7. Cl ⁻ (mg/l) değerinin alansal dağılımı	30
Şekil 4.8. SO ₄ ²⁻ (mg/l) değerinin alansal dağılımı	31
Şekil 4.9. Na (%) değerinin alansal dağılımı.....	33
Şekil 4.10. SAR değerinin alansal dağılımı.....	34
Şekil 4.11. KI değerinin alansal dağılımı	35
Şekil 4.12. MR değerinin alansal dağılımı	36
Şekil 4.13. PS değerinin alansal dağılımı	37
Şekil 4.14. RSC değerinin alansal dağılımı	38
Şekil 4.15. PI değerinin alansal dağılımı	39

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Anamur İlçesi uzun yıllık İklim değerleri.	16
Tablo 3.2. Mersin İli Tarımsal Verileri..	17
Tablo 3.3. Mersin İli Örtü Altı Tarımının Dağılımı (2013).....	17
Tablo 3.4. Yeraltı suyu numunelerinde yapılacak analizler	19
Tablo 4.1. Yeraltı suyu örneklerine ait temel tanımlayıcı özellikler..	22
Tablo 4.2. Yeraltı suyu örneklerine ait aralık değerleri ve alan özellikleri	23
Tablo 4.3. Suların elektriksel iletkenlik değerine göre sınıflandırılması.....	24
Tablo 4.4. Suların pH değerine göre sınıflandırılması	25
Tablo 4.5. Suların potasyum değerine göre sınıflandırılması.....	26
Tablo 4.6. Suların kalsiyum değerine göre sınıflandırılması.....	27
Tablo 4.7. Suların magnezyum değerine göre sınıflandırılması.....	28
Tablo 4.8. Suların bikarbonat değerine göre sınıflandırılması	29
Tablo 4.9. Suların clor değerine göre sınıflandırılması	30
Tablo 4.10. Suların sülfat değerine göre sınıflandırılması	31
Tablo 4.11. Yeraltı suyu örneklerine ait uygunluk değerleri.....	32
Tablo 4.12. Sulama sularının %Na sınıflandırması	32
Tablo 4.13. Suların çalışma alanı ve yüzdelik alansal dağılımları	33
Tablo 4.14. Suların sodyum adsorbsiyon oranına(SAR) göre sınıflandırılması.....	34
Tablo 4.15. Suların kelly indeksine (KI) göre sınıflandırılması	35
Tablo 4.16. Suların magnezyum oranına (MR) göre sınıflandırılması.....	36
Tablo 4.17. Suların potansiyel tuzluluk (PS) göre sınıflandırılması	37
Tablo 4.18. Suların kalıcı sodyum karbonat (RSC) göre sınıflandırılması	37
Tablo 4.19. Suların permeabilite indeksine (PI) göre sınıflandırılması	38
Tablo 4.20. Su kalite verilerinin korelasyon analizi	39

1. GİRİŞ

Su canlıların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için elzem bir madde olup deniz, akarsu ve göl gibi yerüstü kaynaklarından, kayaçların çatlak ya da boşluklarında birikmesiyle çeşitli biçimlerde insan topluluklarına ulaştırılmaktadır. Bununla birlikte deniz, akarsu ve göl gibi kaynaklar, her yerde bulunmadığından dolayı yeraltı sularından yararlanma gereksinimi açığa çıkmaktadır. Dolayısı ile çok eski zamanlardan beri insanlar bilhassa kurak ve yarı kurak bölgede yeraltı sularını arayıp bulmakta ve su gereksinimlerini karşılamaktadırlar (Sönmez, 2004).

Dünya genelinde “1.386 milyon km^3 suyun %97’lik bölümü tuzlu sular, %3’lük bölümüyse tatlı sulardan meydana gelmektedir. Tatlı su kaynaklarının tamamının %68’inden fazlası buz ve buzulların içinde %30’u ise yeraltında bulunmakta; nehirler, göller yüzeysel tatlı su kaynakları, yeryüzündeki toplam su kaynaklarının yaklaşık olarak %0.0142’sini meydana getirmektedir” şeklinde tespit edilmiştir. İnsanların gündelik yaşamda tüketmiş oldukları su kaynağının çoğunu göller ve nehirlerden oluşturmaktadır (Arslan ve Demir, 2011).

Türkiye’de toplam tarım alanının yaklaşık %30 u ekonomik değere sahip olup sulanabilir durumu bulunmaktadır. Ülkemizde tarım arazilerinin hali hazırda yarısının sulamaya açılmış ve sulama oranları da dikkate alındığında ise sulanabilir durumdaki alanların ancak yaklaşık %65’inin fiilen sulanabilmektedir. Buna karşın, “Türkiye’nin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su kapasitesi toplamda yılda 112 milyar m^3 ’tür. Türkiye’de suyun %74’ü (40 milyar m^3) sulama, %13’ü (7 milyar m^3) içme-kullanma, %13’ü (7 milyar m^3) ise sanayi sektöründe” kullanılmaktadır. Ülkemizde sektörlere göre en fazla payı tarım sektörü almaktadır. Su kaynaklarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesinden sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşlarının geliştirmiş oldukları projeler neticesinde birçok amaca ilişkin “yıllık su tüketimi, potansiyelin %52’sine yani 57,44 milyar m^3 ’e ulaşmış ve bu suyun; 44,25 milyar m^3 ’ü (% 77) sulama, 13,1 milyar m^3 ’ü (%23) içme, kullanma ve sanayi alanındaki gereksinimlerinin giderilmesinde kullanılmakta, harcanan suyun 17.03 milyar m^3 ’ü (%30) yeraltı sularından, 40.68 milyar m^3 ’ü (%70) yerüstü sularından” elde edilmektedir (Anonim, 2021).

Türkiye için geliştirilen iklim modellerine göre küresel ısınmanın neticesinde ortaya çıkması beklenen en önemli problem su sorunudur. İklim değişikliğinden

olumsuz etkilenmesi beklenen yeraltı ve yerüstü kaynaklarının yan sıra; bu kaynaklarda ortaya çıkacak olan azalmanın enerji problemleri ile orman ve tarım ürünlerinde azalmaya neden olacağı düşünülmektedir (Zaimoğlu, 2011).

Yeraltı sularının su kalitesi sulama açısından önemli bir faktördür. Bu yüzden suyun en iyi şekilde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma yapılması değerlidir. Ülkemizde seracılığın en yoğun olduğu bölgerden bir tanesi Anamur olup, bu bölgede büyük ölçüde muz yetiştiriciliği yapılmaktadır. Kıyı bölgelerinde aşırı yeraltısuyu çekimi yapılması deniz suyu girişimine neden olabilmektedir. Bugüne kadar Mersin ili Anamur ve Aydıncık ilçelerinin yeraltısuyu kalitesi ile ilgili olarak geniş kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Dünyada su kaynaklarının giderek azalması ve iklim değişikliği ile birlikte suyun önemi daha fazla artış göstermektedir. Bu nedenle su kaynaklarının kalitesinin sürekli olarak incelenmesi ve takip edilmesi gerekmektedir.

Su, yaşam ve insan için vazgeçilmez bir kaynak olup sağlık, ekonomik kalkınma için vazgeçilmezdir. Gıda güvenliği, yoksulluğun azaltılması ve sürdürülebilir ekolojik işlevler için su kaynaklarının ve havza yönetiminin iyileştirilmesine ilişkin stratejilerin geliştirilmesi ile su kütlelerinin kalite değerlendirmesinin yapılması önemlidir. Dünyadaki ekosistem üzerindeki en önemli problemler su kalitesi ve kuraklıkla ilgili olup, tatlı su kaynakları büyük büyük risk altındadır (Tokatlı et al.,2013). Doğal süreçler ve antropojenik faaliyetler suyun kalitesini etkilemektedir. Dolayısıyla bozulan yüzey ve yeraltı su kaynakları, insan ve hayvan tüketimi, tarım, eğlence ve sanayi için potansiyel kullanımların kısıtlanmasına ya da yok olmasına yol açmaktadır (Karakuş ve Yıldız, 2020).

Suların kirlenmesinde en önemli etkenlerin başında olan atık sular ev, okul ve hastane gibi küçük işletmelerden kaynaklanmaktadır. Konutsal özellikteki atık sular biyolojik, fiziksel ve kimyasal arıtma işlemlerinden geçirildikten sonra bahçe sulaması gibi yerlerde değerlendirilebilmektedir (Kutlu, 2017; Sınmaz, 2007).

Evlerden, okullardan, hastanelerden ve benzeri yerlerden kaynaklanan insanların sıradan hayat etkinlikleri dolayısıyla meydana gelen atık sular, konutsal özellikli atık sular olarak tanımlanır. Konutsal nitelikli sular, gri su ve siyah su olarak iki bölümde incelenmektedir. Genellikle duştan, küvetten, lavabodan, çamaşır ve bulaşık makinelerinden gelen sular gri suyu oluşturmaktadır. Diğer sularsa siyah su olarak nitelendirilmektedir. Gri sular kendi içinde, az kirli ve çok kirli su olarak iki kısma ayrılır (Kutlu, 2017). Gri sulardan duş, küvet ve lavabodan gelenler az kirli iken çamaşır ve bulaşık makinelerinden gelen sular çok kirlidir. Yukarıda sözü edilen saf su, evsel sular ve atık sular uygun yöntemler kullanılarak değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra toplumların daha fazla su gereksinimleri için yeraltı ve yerüstü sularından yararlanılmakta ve hatta bu kaynaklar için gelecekte yetersizlikler olacağı ve su sıkıntılarının su kıtlığına döneceğine işaret eden varsayımlar bulunmaktadır. Bu bağlamda sulama sularını elde etmenin farklı şekilleri bulunduğunu ifade etmek mümkündür.

Sulama suları genellikle göl, gölet, akarsu, baraj ve yeraltısuları gibi kaynaklardan elde edilebilmektedir. Suların elde edildikleri kaynaklardan daha önemlisi, içlerinde bulunan erimiş madde miktarlarıdır. Suların içlerindeki madde miktarları temas halinde oldukları kayalardan veya insan faktörlü etkenlere bağlıdır. Öte yandan nüfusun hızlı artışı, globalleşme, göçler ve iklim değişiklikleri su ve toprak kaynaklarını yetersiz ve kısıtlı duruma getirmektedir (Karadavut, 2009).

Türkiye’de bölgeler arasında iklim özellikleri ve yeryüzü şekilleri farklılık göstermektedir. Bu durumun neticesinde tarım alanlarından elde edilen verim de farklılaşmaktadır. Diğer bir deyişle tarım alanlarının yapısal özelliklerinin ve iklimden kaynaklı avantajların tüm bölgelerde farklılaşması söz konusu olmaktadır. Ancak tarımsal üretimden doğru ve nitelikli bir şekilde yararlanmanın bir yolu olarak suyun dengeli ve yeterli bir biçimde temin edilmesi sağlanabilir (Karadavut, 2009).

Dünyadaki su kütlesinin hidrosferin oluşumunun gerçekleşmesinden bu yana aynı kaldığı kabul edilse bile; deniz, yüzey suları, buzullar ve yeraltı sularıyla atmosferik nem arasındaki dağılımın oranları zaman içinde değişim gösterebilmektedir. Buzul dönemde okyanus sularının büyük çoğunluğu buzullara taşınırken buzullar arası dönemde ise erime sonucunda yeniden okyanuslara taşınmıştır. Bu iki dönem olan buzul ve buzullar arası dönemde meydana gelen dönüşüm sonucunda iklim ve su bileşenlerinin direkt olarak etkilendiğini belirtmek mümkündür. Dolayısı ile “soğuk-kurak, soğuk-yağışlı, sıcak-kurak ve sıcak-yağışlı” dönemler neticesinde yeraltı beslenme koşulları da direkt olarak etkilenmekte ve değişmektedir. Arslan ve Demir 2011’in bir araştırmasına göre; dünya genelinde *“1.386 milyon km³ suyun %97’lik bölümü tuzlu sular, %3’lük bölümüyse tatlı sulardan meydana gelmektedir. Tatlı su kaynaklarının tamamının %68’inden fazlası buz ve buzulların içinde %30’u ise yeraltında bulunmakta; nehirler, göller gibi yüzeysel tatlı su kaynakları, dünyadaki toplam su kaynaklarının yaklaşık %0,0142’sini”* meydana getirmektedir. İnsanların gündelik yaşamda tüketmiş oldukları su kaynağının çoğunu göller ve nehirlerden oluşturmaktadır (Zaimoğlu, 2011).

Tükenme riski ile karşı karşıya bulunan sınırlı kaynaklar arasında bulunan toprak ve su kaynakları bir ülkenin zenginliği oluşturmaktadır. Bu bağlamda su kaynaklarının varlığını bilip bu kaynakları korumak yaşamsal öneme sahiptir. Kullanıma uygun su kaynaklarının yetersizliği sanayi alanındaki gelişmelerle birlikte eldeki su olanaklarının bilinçsiz bir şekilde kirletilmesi, gelişmişlik düzeyine bağlı

olarak su tüketim oranının artması suyu stratejik açıdan önemli bir duruma getirmektedir (Okumuş, 2011).

Yeraltı su kaynağı yapısında bulundurduğu maddeler ile toprağı etkilemektedir. İklim özellikleri, bitki çeşidir ve sulama yöntemine göre bu etki değişim gösterebilmektedir. Su kaybının meydana geldiğı sulama yöntemleri uygulandığı zaman drenaj yeterli düzeyde sağlanmazsa toprağın tuzlanması daha çabuk gerçekleşmektedir. Tuzlanma toprakta daha önceden var olabileceğı gibi mineral yapısı sebebiyle de olabilir. Topraktaki tuzlanma daha evvelden toprağın yapısında bulunan özelliklerden kaynaklanıyorsa “*primer tuzluluk*” adı verilir. Fakat sonradan ve insan etkinliklerinin müdahalesi neticesinde meydana gelmekte ise buna “*sekonder tuzluluk*” denilmektedir. Doğada insan müdahalesi söz konusu olmadan kendiliğinden meydana gelen tuzluluk toprağın su özellikleri ve yeraltı su kaynağının derinlik ve tuzluluk yapısıyla alakalıdır. Suda bulunan tuzluluk dünyanın farklı yerlerinde sulu tarımın başlaması ile artmaya başlamıştır (Will and Faust, 2005).

Türkiye’de son zamanlarda yeni yerlerin sulamaya açılması ile yeraltı su kaynağına duyulan ihtiyaç artış göstermiştir. Bu durumda yeteri düzeyde kaliteli yeraltı su kaynağına erişilemeyince düşük kalitede tuzlu sular kullanılmakta ve bu durum neticesinde toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri bozulmakta ve bitki verimlerinde önemli azalmalar olmaktadır (Okumuş, 2011).

Tarım, suya en fazla gereksinim duyulan alandır. Buna göre yarı kurak ya da kurak bölgelerde tarımsal üretimi en çok kısıtlayan faktör ise su kaynaklarının yetersizliğidir. Sulamanın etkin ve verimli olması, tarımsal üretimin artması ancak bilgi sistemlerinin uygun bir şekilde işe koşulması ve sulama teknolojilerinin yaygınlaştırılarak yapılan sulama çalışmalarının geliştirilmesine bağlıdır. Aynı zamanda bilinçsiz su kullanımının önüne geçilerek tarım alanında çalışan insanlara gerekli eğitim ve bilgilerin sağlanması sürekli bir şekilde gerçekleştirilmelidir (Okumuş, 2011; Sönmez, 2004).

Sulama tarım için oldukça önemli olup birim alandan elde edilecek olan üretimin artırılmasında modern sulama yöntemlerine gereksinim olduğu açıktır. Bununla birlikte sadece modern sulama yöntemlerini kullanmak yeterli olmayıp aynı zamanda bitkiye verilmesi planlanan suyun zamanı, miktarı, yöntemi ve kalitesi de önemli unsurlardır. Dolayısı ile sulama yapılırken yerüstü ve yeraltı sularının kalite

özelliklerini incelenmesi elzem görünmektedir (Arslan ve Demir, 2011; Yavuz, 2017).

Bitkinin büyümesi direkt olarak sulama su ile ilgili değil sulamanın ardından toprak ve su sistemindeki değişime bağlı olmaktadır. Netice itibari ile bir suyun sulama koşullarına elverişli olup olmadığı; miktarı, verilme sıklığı, iklim, bölgesel koşullar, tarım teknikleri gibi unsurlara bağlı bulunmaktadır. Yeraltı su kaynağının bilimsel gelişmeler ışığında kullanımına önem verilmesi ve sulama sularının nitelikleri üzerinde durulması 20 yüzyılda başlamış olup yakın zamanda daha önemli bir hale gelmiştir (Karakuş ve Yıldız, 2020). Dolayısı ile suyun içinde bulunduğu litolojik birimlerle etkileşimi, geçişleri ve suyun kimyası su ve kalitesi üzerinde oldukça etkilidir” şeklinde belirtilmiştir (Okumuş, 2011).

Su kaynakları çeşitli amaçlarla kullanılmakta olup suyun niteliğini belirleyen etmenler de oldukça zengindir. Bu bakımdan su kalitesi kriterlerinin sürekli güncel olması gerekliliği açıktır. Ancak bu konuda birtakım güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bu güçlükler coğrafi özellikler, jeolojik yapı, iklim gibi çok değişkenli doğal koşullardır. Bu doğal şartlar, su kalitesi üzerinde etkili olup bir standart oluşturulmasını kompleks hale getirmektedir. Yeraltı suyu kalitesi birden fazla neden tarafından etkilenebilir. Fabrikalardan, tarımdan kaynaklanan yan ürünleri içeren jeolojik faktörlerden yanı sıra insan kaynaklı faaliyetlerden, endüstriyel üretimden, belediyelerin faaliyetlerinden söz edilebilir (Karadavut, 2009).

Sulama yeraltı suyunun kalitesi, suyun fiziksel ve kimyasal yapısını doğrudan etkilemektedir. Yeraltı su kaynağı kalite sorunlarının oldukça arttığı üzerinde durulmaktadır. Bunun nedeni olarak artan talep, nüfus yoğunluğunun hızlı artması, hızlı genişleme, kentleşme, fabrikaların ve sanayinin yüksek oranda gelişmesi mikro ve makro ölçekli faaliyetler, kötü yönetilen atıklar ve havza yönetimi olarak belirtilmektedir. Yeraltı suyu kalitesinin bozulması toprağın geçirgenliğinin azalması, sodiklik tehlikesi, toprak tuzluluğu tehlikesi, bikarbonat tehlikesi ve spesifik iyon toksitesi gibi sorunlarla, toprak yapısının bozulması ve sulama üretim hızının etkilenmesi gibi problemlere yol açabilir. Yetersiz yeraltı su kaynağı kalitesi mahsul üretimini bozabilir ve toprak fiziksel koşullarını değiştirebilir. Genel olarak, sulama yeraltı suyu kalite sorunları, büyümeyi ve gelişmeyi etkilemektedir (Elbeih and Zeiny, 2019).

Su kalitesinin belirlenmesinde azot, bulanıklık, renk, koku, pH, iletkenlik, biyokimyasal oksijen ihtiyacı bir çok parametre kullanılabilmektedir. Bu değerler dünya genelinde birebir benzerlik gösterse de beraber bazı ülkelere göre farklılıklar olabileceği söylenebilir (Canlı, 2014; Doğan, 2013; Okumuş, 2011; Ölmez ve Saraçoğlu, 2009; Yavuz, 2017). Su kalitesi parametreleri kısaca aşağıda yer verildiği gibi incelenebilir:

pH: pH suyun H^+ (hidrojen iyonu) konsantrasyonunun (-) logaritması olup suyun asitlik ve alkalilik derecesinin bir ölçüsüdür. $22^{\circ}C$ 'de suyun H^+ ve OH^- (hidroksil iyonu) konsantrasyonu birbirine eşit olup genel olarak sulama sularının pH değeri 6.5 ile 8.5 arasında olması beklenilmektedir. pH, H^+ iyonlarının elektrik potansiyellerine bağlı olarak ya da renk indikatörleriyle ölçülebilir. Ortam asidik olduğunda $pH < 7$ ise ortam bazik olduğunda ise $pH > 7$ 'dir.

pH değerinin yeraltı su kaynağındaki optimum değeri yetiştirilecek bitkinin türüne ve toprağın hem fiziksel hemde kimyasal nitelikleriyle alakalıdır. pH değeri, alkalın toprakların olduğu yerlerde düşük olan suların kullanılması tercih edilmektedir. pH değerinin 9'un üzerinde olduğu suların ise sulamada kullanılması tercih edilmemektedir.

Elektriksel İletkenlik: Sulama amacı ile kullanılacak olan suların tuzluluk düzeyleri ya da içlerinde taşımış oldukları erimiş katı madde kapsamı elektriksel iletkenlik olarak değerlendirilmektedir.

Su kalitesi evsel ve tarımsal amaçlarla kullanımları arasında farklılık gösterebilmekte ve bu, büyük ölçüde çözünmüş çözeltinin miktarına ve türüne bağlı olara değişim gösterebilmektedir. Dünya nüfusunun üçte biri yeraltı suyunu içme amaçlı kullanmaktadır. Sulama gerektiren hassas mahsullerin zarar görmesini önlemek için su kalitesinin doğru kriterlere sahip olması gerekmektedir. Genellikle yeraltı suyunun kullanımın güvenli olduğu varsayılmakla birlikte hem arazi kullanımı değişiklikleri hem de insan faaliyetlerine bağlı olarak zamanla yeraltı suyunun niteliği bozulmaktadır. Yeraltı sularının arasındaki tampon bölgeye rağmen yüzey kirletici faaliyetlerden etkilenmesi söz konusudur (Elbeih and Zeiny, 2019).

Yeraltı suyu kalitesindeki bozulmayla ilgili süreçleri spesifik olarak karakterize etmek gerekmektedir. Su kaynaklarının tuzlanması en yaygın süreçlerden biridir. Su kalitesini düşürmekte ve gelecekteki su kullanımını tehlikeye atmaktadır. Birçok

aland, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, yeraltı sularının tuzlanması içilebilir tatlı su arzını kısıtlamaktadır. Bu sorun kıyı akiferlerinde yoğunlaşmakta ve insan faaliyetleri su kalitesinin bozulmasını hızlandırmaktadır. Tuzluluğun kaynağının izlenmesi ve belirlenmesi su yönetimi ve su kalitesinin iyileştirilmesi için çok önemlidir. Ancak tuzlanma kaynaklarının çeşitliliği özellikle serbest akiferlerde bunu zorlaştırmaktadır (Gaye, 2001).

Yeraltı suları, küresel su kullanımının %43'ünü oluşturmaktadır. Ancak küresel olarak, kentleşme, endüstriyel gelişme ve tarımsal yoğunlaşma gibi 21. yüzyılın sorunları, yeraltı suyu kalitesini düşürmektedir (Oki and Okana, 2016).

Yeraltı suyu kalitesinin değişimi aktığı jeolojik oluşuma bağlı olup bölgedeki antropojenik faaliyetler de yeraltı suyu havzası için önemli bir etkidir. Buna göre birçok araştırmacının tespit ettiği gibi yeraltı sularının içme ve sulama amaçlı kullanıma uygunluğunu değerlendirmek yeraltı suyu kalitesinin daha iyi anlaşılması ve yeni yeraltı suyu planlarının oluşturulmasına yardımcı olmaktadır (Kawo and Karuppannan, 2018).

Günümüzde verilerin elde edilmesi, toplanması ve yönetimi ile ilgili olarak “*Uzaktan Algılama (UA), uydu teknolojileri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)*” gibi önemli gelişim gösteren teknikler kullanılmaktadır. Yaprak ve Ersoy, 2011; Yavuz, 2017’a göre bu teknikler sayesinde modelleme çalışmaları için şu faydalar elde edilmektedir:

- Bütün bilgilerin aynı yerde toplanıp depolanması,
- Noktasal gözlem yerine alansal verilerin toplanması,
- Ulaşılması mümkün olmayan yerlerden dahi veri toplanması,
- Verilerin dijital halde elde edilmesi
- Zaman ya da mekâna göre yüksek çözünürlüğün sağlanması gibi çok yönlü yararları olmaktadır.

Coğrafi Bilgi Sistemi noktasal olarak alınan verilerin alansal dağılım haritalarının hazırlanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Farklı araştırmacılar CBS’yi yeraltı suyu kalitesi haritalama alanında kullanmaktadır. Yeraltı suyu izleme sistemleri ile kaliteli, güvenli ve sürdürülebilir bir su tedarik sistemi sağlanabilir (Makki et al., 2021).

Yeraltı suları genel olarak kimyasal bileşim ve sıcaklıklarının sabit olması, organik madde ve mikroorganizma içeriklerinin az olması ve daha berrak olmaları nedeniyle yüzey sularına göre daha avantajlıdırlar. Ancak yeraltı sularında toplam çözünmüş tuzlar ile bilhassa klorür ve sülfat tuzları daha yüksek miktarda bulunmaktadır. Yeraltı sularının içeriğinde demir, mangan ve sertlik yapıcı bileşenler daha çok bulunmaktadır. Yeraltı suyu bulmak zor olup kısıtlı kaynaklar söz konusudur (Doğan, 2013).

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre ise; Türkiye’de yıllık ortalama yağış miktarı olarak yaklaşık 643 mm olup, bu da yıllık ortalama 501 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Bu suyun 274 milyar m³’ü toprak ve su yüzeyleriyle bitkilerden sağlanan buharlaşmayla atmosfere geri salınmakta ve 69 milyar m³’lük bir kısmı yeraltı sularını beslemektedir. 158 milyar m³’lük bölümüyse akışa geçerek farklı büyüklükteki akarsular aracılığı ile denizlere ve göllere taşınmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m³’lük suyun 28 milyar m³’ü akarsular aracılığıyla yeniden yerüstü suyuna dönmektedir” (Demir, 2013).

İçme suyu amacı ile yararlanılan yerüstü sular denilince akla; akarsu, dere, göl ve baraj suları gelmektedir. Yerüstü suları genel olarak yatakları ile temas halindedirler. Bundan dolayı yeraltından su sızar ve bileşimleri yeraltı sularının benzer özelliklerini göstermektedir. Ancak bu benzerliğin yanında farklılaştıkları noktalarda söz konusu olmaktadır. Genel olarak yerüstü sularında bakteriyolojik içerik, renk, tat, koku ve bulanıklık gibi problemler ile karşılaşmakta olup su kalitesi yönünden de mevsimsel olarak ciddi değişimler göstermektedir. Bahar aylarında eriyen kar suları ve yağmurlu mevsimler bu kaynaklardan elde edilecek olan su kalitesi parametrelerini ciddi düzeyde etkilemektedir. Dahası yerüstü sularının mevcut kapasiteleri de mevsimsel ve yıllık olarak büyük oranda değişmektedir (Yavuz, 2017).

Yüzey suları, su kullanımı ve sulama amacına daha uygundur. Dünyanın birçok yerinde yeraltı suları her ikisi için de önemli bir tatlı su kaynağı olarak kabul edilmektedir (Kawo ve Karuppanan, 2018).

Yeraltı su kaynağı kalite sorunlarının oldukça arttığı ve belirgin bir şekilde mücadele etmenin güçleştiği birçok paydaş için önemli bir uyarı olduğu sulama sistemlerinin bozulmasının üretimini etkilediği ortaya konulmuştur. Bunun nedeni artan talep, nüfus yoğunluğunun hızlı büyümesi, hızlı genişleme, kentleşme,

fabrikaların ve sanayinin yüksek oranda gelişmesi mikro ve makro ölçekli faaliyetler, kötü yönetim, atıklar ve havza yönetimi olarak karşımızda durmaktadır. Daha önceki araştırmalarda da belirtildiği gibi yeraltı suyu kalitesi problemlerin toprak şişmesi üzerinde ciddi etkileri söz konusu olabilir. Yetersiz yeraltı su kaynağı kalitesi mahsul üretimini ve havza topraklarının fiziksel koşullarını bozabilir. Genel olarak, sulama yeraltı suyu kalite sorunları, büyümeyi ve gelişmeyi etkilemektedir (Gidey, 2018).

Günümüzde yeraltı suyu kalitesi ile ilgili “kentleşme, sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklı olarak insanlık için en ciddi sorunlardan biri haline gelmiştir. Özellikle İran gibi kurak ve yarı kurak bölgelerde yeraltı suları ana su kaynağı olup yaklaşık olarak içme suyunun % 85’ini sağlamaktadır (Honarbakhsh et al., 2019).

Yeraltı suyu kalitesi birden fazla faktör tarafından etkilenebilir. Fabrikalardan, tarımdan kaynaklanan yan ürünlerden, jeolojik faktörlerden yanı sıra insan kaynaklı faaliyetler, uygulamalar ve endüstriyel gibi faktörler sayılabilir. Suların sulamaya uygunluklarını suların kalitesi, suyun fiziksel ve kimyasal yapısı tarafından etkilenmektedir (Zemunac et al., 2021).

Makki vd. (2021), Orta Irak’ın Babil civarındaki bir bölgesindeki yeraltı suyu kalitesini araştırmışlardır. Araştırmada “sodyum absorpsiyon oranı (SAR), artık sodyum karbonat (RSC) ve geçirgenlik indeksi (PI) değerlerini hesaplamışlar ve bu değerlerin alansal dağılım haritalarını CBS kullanarak hazırlamışlardır. Çalışma sonucunda yeraltı suyunun kullanılabilir olması için özel arıtmalar gerektiğini belirlemişlerdir.

Doneen (1964) tarafından yapılan araştırmada Cuttack bölgesinin Mahanga bölümündeki su kalitesi analizi, yeraltı suyu kalitesinin; mineral ayrışması, çözünme/çökme reaksiyonu, iyon değişim süreci gibi doğal jeokimyasal süreçler tarafından kontrol edildiğini göstermiştir. Çalışmada yeraltı suyunun Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO_3^- ve SO_4^{2-} gibi kimyasal parametrelerin su kalitesinin sınıflandırılmasında ve değerlendirilmesinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir.

Rabiey (2018). Mısırda yeraltı suyu kalitesinin içme ve sulamaya uygunluklarını incelenmesi amacıyla yaptıkları bir araştırmada 812 yeraltı suyu örneğini almıştır. Çalışma kapsamında su örneklerinde Na^+ , B^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cl⁻, elektriksel iletkenlik ve pH gibi fiziksel ve kimyasal özellikler belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Mısır gibi kurak ülkelerde içme, sulama ve ev

işleri için daha fazla tatlı suya ihtiyaç duyduğunu, su kalitesini değerlendirmek için yeraltı suyu uygunluğunu sağlamanın önemli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Kim vd. (2003) tarafından yürütülen araştırmada da Kore'nin Jeju volkanik adasının doğusundaki tuzlu yeraltı suyunun kökenini belirlemek için doğu ve güneydoğu kıyı bölgelerinde bulunan 18 gözlem kuyusunda hidrojeokimyasal ve izotopik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada yeraltı sularının toplam çözünmüş katı içerikleri oldukça değişken olduğu; oksijen, hidrojen, kükürt ve stronsiyum izotop verilerine göre tuzlu suyun kaynağının, deniz suyu olduğu belirlenmiştir. Majör ve minör iyonların iki değişkenli diyagramlarına dayanan hidrojeokimyasal özellikler, yeraltı suyunun kimyasal bileşimindeki değişikliklerin esas olarak tuzlanma işlemi ve ardından katyon değişim reaksiyonları tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Çalışmada Cl, Br ve Oksijen izotop değerlerine göre deniz suyunun kıyı şeridinden yaklaşık 2.5 km iç kesimlere kadar girdiği belirlenmiştir.

Sulama ve drenaj iklim kuşağı fark etmeksizin üretimde sürdürülebilirliği destekleyen ve gelişim etmenlerine katkı sağlayan bir kültürteknik uygulamasıdır. Bitkilerin kök bölgelerinde nemin kontrolü, iyi planlanan sulama ve drenaj sistemlerine bağlıdır. Sulama ve drenaj arasında bulunan ilişki doğru bir şekilde sağlanmadığında sulama yapılan alanların topraklarında su ve hava dengesi havayı olumsuz etkilemekte bu durumda yüksek taban suyu, tuzluluk ve yüksek taban suyu gibi sorunları açığa çıkarmaktadır. Neticede tüm bu sorunlar da verimliliği düşürmektedir (Cemek vd., 2006).

Arslan ve Ayyıldız Turan (2015), Çarşamba Ovasındaki yeraltı sularının ağır metal içeriklerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada 78 adet yeraltı suyundan örnek almışlardır. Çalışma sonucunda sulama ve içme suyu için potansiyel olarak değerlendirilmekte olan yeraltı suları metal konsantrasyonların takip edilebilmesi için oldukça önemli olduğu öngörülmüştür.

Arslan ve Demir (2011) tarafından yapılan araştırmada Bafra Ovasında deniz suyunun yeraltı suyu kalitesine etkisi incelenmiştir. 32 tane yeraltı kuyu suyu sulama mevsimi öncesi ve sonrası incelenerek bu sulara " CO_3 , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca, K, Mg, Cl ve EC ve pH," analizleri yapılmıştır. Cl değerleri kullanılarak yeraltı sularına deniz suyu karışımı incelenmiştir. Araştırmanın elde edilen sonuçlarına göre deniz suyunun artması neticesinde EC ve SAR değerleri çok fazla artış göstermektedir.

Aynı zamanda da yeraltı su kaynağı olarak bitkilerde kullanılamayacak değerde olduğu tespit edilmiştir.

Kamaraj vd., 2021'in Güney Hindistan'daki Tiruchendur'daki kıyı akiferlerinin yeraltı suyu kirlilik indeksi (GPI) ve yeraltı suyu kalitesinin incelemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Araştırmada 470 km²'lik bir alanı kapsayacak şekilde 35 yeraltısuyu kuyusundan örnek almışlar ve örneklerin fiziksel-kimyasal parametreleri değerlendirilerek içme ve sulamaya uygunlukları araştırılmıştır. Suların sulamaya uygunluklarını incelemek amacıyla sodyum yüzdesi (%Na), magnezyum oranı (MR), Kelly oran indeksi (KR), potansiyel tuzluluk (PS), Langelier doygunluk indeksi (LSI), artık sodyum karbonat (RSC), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), geçirgenlik indeksi (PI) ve yeraltı su kaynağı kalite indeksi (IWQI) deerlerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda alandaki yeraltı suyu kalitesinin bazı bölgelerde sorunlar oluşturduğunu ve kıyı bölgelerindeki yeraltısuyuna deniz suyu girişi olduğunu belirlenmiştir.

İçme ve kullanma ile sulama suyu olarak kullanılan yeraltı sularının kalitesini incelemek için farklı yöntemler bulunmakta olup bu yöntemlerin en önemlileri su kalite indeksleridir. Su kalite indeksleri ile CBS yöntemlerinin birlikte kullanılması yeraltısuyu yönetimi açısından büyük öneme taşımaktadır (Kawo ve Karuppanan, 2018); Aragaw ve Gnanachandrasamy, 2021).

Honarbakhsh vd., (2019) tarafından İran da yarı kurak bir bölge,nde yapılan bir araştırmada akiferinin hidrokimyasal kalitesi incelenmiştir. Çalışmada 49 yeraltısuyu kuyusundan 2010 ile 2015 yılları arasında örnek almışlar ve suların hidrokimyasal özelliklerinin alansal dağılım haritalarını hazırlamışlardır.

Rawat ve Kumar Singh (2018) tarafından yapılan araştırmada su kalitesi verileri, muson öncesi ve muson sonrası dönemde Hindistan Kanchipuram ilçesinde 2005-2013 yılları arasında izlenmiştir. Su Kalitesi İndeksleri yeraltı suyunu derecelendirme bazında sınıflandırmak için (WQI) metodolojisi uygulanmıştır. Çalışmada kalsiyum (Ca²⁺), magnezyum (Mg²⁺), sodyum (Na⁺), potasyum (K⁺), bikarbonat (HCO₃⁻), nitrat (NO₃⁻), klorür (Cl⁻), florür(F⁻), sülfat (SO₄²⁻), toplam sertlik (TH), toplam çözünmüş katılar (TDS), hidrojen iyon konsantrasyonu (pH) gibi 13 farklı su özelliği incelenmiştir. Çalışmada sonucunda bölgenin yeraltı suyunun antropojenik faaliyetler tarafından kirlenmiş olduğu belirlenmiş ve kontrol için uygun yönetim planına ihtiyaç duyulduğunu ortaya konulmuştur. Ayrıca

çalışmada birkaç yeraltı suyu kuyularının tüketim amaçlı kullanımlarından önce uygun bir denetime ihtiyacı olduğu, alternatif su kaynaklarının halkın gündelik kullanımları için sağlanması gerektiği belirlenmiştir.

Son 20 yılda inceleme alanında yoğun tarımsal ve endüstriyel faaliyetler çevresindeki yeraltı suyu kalitesinde giderek bozulmalar olmuştur. Antropojenik kaynaklı yeraltı suyu kontaminasyonu meydana geldiğinde, kirli yeraltı suyunun kullanımı insan sağlığı, hayvan sağlığı ve mahsullerin kalitesini etkileyecektir. Böylece kontaminasyonun önlenmesi ve yeraltı suyu kalitesinin/kirliliğinin izlenmesi sağlam çevre yönetimi stratejileri için bir gereklilik haline gelmektedir. Son birkaç yılda gerçekleştirilen araştırmalar yeraltı suyu kalitesinin evsel ve tarımsal kullanım için uygunluğunu değerlendirmek amacıyla genellikle sayısal indekslere veya Coğrafi Bilgi Sistemine başvurmaktadır (Rufino et al., 2019).

Sonuç olarak su kalitesi belirlenirken izin verilen değerler önemli olduğu gibi suda bakteri bulunup bulunmaması, suyun biyolojik olarak bozulabilirliği, berraklığı ve asidik olup olmadığı gibi ölçütler de dikkate alınır. Standartlar için aynı ve farklı olması gerektiğini düşünen farklı görüşler mevcuttur. Bunlardan birincisi, uygulama alanına göre deşarj değerlerinin aynı olmasının gerekliliğini iddia etmektedir.

Yeraltı suyu kaynakları ve kullanımı dünya genelinde olduğu gibi Türkiye için de önemli bir kaynak olup benzer şekilde dünyada genelindeki gibi ülkemizde de su miktarıyla nüfusun dağılımı düzensiz olarak gerçekleşmektedir (Khosravi et al., 2016).

Türkiye’de Akarçay, Asi Nehri, Burdur Gölü, Büyük Menderes, Ergene, Gediz, Konya ve Meriç, havzalarında hem yüzey hemde yeraltı suyu kullanımı, su kaynaklarının “yeniden kullanılabilme kapasitesini” aşmış durumdadır. Bu durum, havzaların baskısını artırıp çevre ve doğal yaşam için tehdit oluşturmaktadır. Türkiye’de 2004-2016 yılları arasında su kullanımında neredeyse %50 oranında bir artış söz konusu olmuştur.

Ortadoğu’nun ve Türkiye’nin en önemli merkezlerinden birisi olan Mersin limanı, serbest bölgesi, sanayi, ticaret, turizm ve tarım gibi alanlarda ön planda olan şehirlerimiz arasında yer almaktadır. Bu bakımdan farklı şehirlerden buraya doğru bir göç yaşanmaktadır. Şehrin nüfusunun yoğunlaşması ile birlikte hem şehir nüfusu artışı göstermekte hem de tarımsal etkinlikler merkezleri yerlere doğru birikmeye

başlamaktadır. Mersin-Adana karayolu üzerindeki sanayi kuruluşları denizden 0-15 km'lik mesafe ile Mersin-Tarsus arasında irili ufaklı birçok sanayi kuruluşu mevcuttur. Bu derece sıkı tarımsal ve sektörel yığılmalar beraberinde bazı problemleri de getirmektedir(Özer, 2007). Bu problemlerden en önde geleni çevre kirliliği olup bunun içerisinde; hava, toprak, gürültü, katı atık, altyapı ve en önemlisi su sorunları örnek verilebilir. Öte taraftan hızlı kentleşme ve düzensiz göç gibi nedenlerle şehrin olanakları yetersiz kalmakta, içme ve kullanma sularında yetersizlikler açığa çıkmaktadır. Ayrıca artan sanayi alanları için arazi kullanımına talep fazlalaşmakta ve buna bağlı olarak suyun kalitesi de etkilenmektedir. Hidrojeolojik çalışmaları yapılmadan, denetimsiz ve plansız bir şekilde açılan kuyular suyun aşırı çekilmesine bağlı olarak denizle hidrolik ilişkisi bulunan akiferde nitelik ve nicelik açısından kayıplara yol açmaktadır (Özer, 2007). Ayrıca sahil bölgelerinde yer almakta olan siteler su gereksinimlerini karşılamak amacı ile yeraltı su kaynaklarına yönelmektedirler. Fakat alt yapı sorunları nedeni ile buralarda içme, kullanma ve atık su gibi sorunlar açığa çıkmaktadır (Özer, 2007).

Bu çalışma kapsamında Mersin ilinin Anamur ve Aydıncık ilçelerinde farklı yerlerde yararlanılan su kaynaklarından söz edilmektedir. Söz konusu ilçelerin yeraltı suyu kalitesinin sulama açısından incelenebilmesi için 51 farklı su kuyusundan örnek alınıp pH, EC, Na^+ , Mg^{+2} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{+2} değerleri belirlenmiştir. Alınan yeraltı su örneklerinin sulamada kullanılmasının değerlendirilmesi amacıyla yüzde sodyum değeri (%Na), PI, RSC, PS, MR, KI, SAR değerlerinin hesaplanması yapılmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Coğrafi Konum

Araştırmanın çalışma alanı Anamur (E: 36.0773 ve B: 32.8329) ve Aydıncık (E: 36.1465 ve B: 33.3247) ilçeleri olup, Mersin İlinde ve Akdeniz Bölgesinde yer almaktadır. Çalışma yapılan bölgelerde Akdeniz iklimi özelliği göstermekte, yazları sıcak ve kurak geçmektedir. Buna karşılık kış aylarında ılık ve yağışlı bir iklime sahiptir. Anamur ve Aydıncık İlçelerinde tarımsal faaliyetler yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Bu alanlarda salatalık, patlıcan, domates, muz, nohut, buğday, kiraz, kayısı, elma, şeftali, ceviz, badem, üzüm, incir ve zeytin gibi ürünler yetiştirilmektedir. Anamur İlçesinde yetiştirilen bu ürünler için bölgenin iklimsel özelliklerinin önemli olduğu söylenebilir.

Artan nüfusla birlikte her geçen gün su kullanım ihtiyacı da artmasına karşın eldeki su kaynaklarının miktarınınsa gittikçe azalmaya devam ettiği bir gerçektir. Akdeniz bölgesinin genelinde görüldüğü gibi Mersin’de de akarsu rejimleri düzensiz olup Göksu ve Berdan Çayı buranın yerüstü su kaynaklarının en önemlilerini oluşturmaktadır. Göksu Nehri’nin ve Berdan Çayı’nın, karların erimesinin ardından, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında debileri artarken aşırı yoğun buharlaşmanın gerçekleştiği yaz ve sonbahar aylarındaysa debileri oldukça azalmaktadır. Mersin’in yıl içerisindeki akarsu potansiyeli 7200 hm³ ve yeraltı su potansiyeli 83 hm³ olup bilhassa Mersin-Anamur kıyı bölümündeki yerleşim birimlerinin su gereksinimleri yeraltı su kaynaklarından karşılanmaktadır (MESKİ, 2014).

Öte yandan bölgedeki su gereksinimini karşılayan derin su kuyuları; tuzlanma, kireçlenme ve kalitesinin bozulması gibi sorunlarla karşı karşıyadır. Aynı zamanda aşırı su çekimi sebebiyle kuyuların iktisadi yönden kullanım süresi azalmaktadır. Bugün bölgede geçmiş senelere kıyasla su kaynaklarının toplam miktarında azalmalar söz konusudur. Bu azalmanın en önemli sebepleri suyun bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi ağaçların ve ormanın yok edilmesiyle birlikte metrekareye düşen yağmur kütlelerinin fakirleşmesidir (MESKİ, 2014).

3.1.2. Meteorolojik Özellikler

Tablo 3.1. Anamur İlçesi uzun yıllık İklim değerleri

Anamur												
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
Yüksek Sıc.	15°C	16°C	18°C	22°C	25°C	30°C	33°C	33°C	30°C	26°C	21°C	17°C
Ort. Sıcaklık	11°C	12°C	14°C	17°C	21°C	25°C	28°C	29°C	26°C	22°C	17°C	13°C
Düşük Sıc.	7°C	8°C	10°C	13°C	17°C	21°C	24°C	24°C	21°C	17°C	12°C	9°C
Yağış miktarı(mm)	101.8	88.9	47.9	27.6	16.4	4.4	0.7	1.1	9.6	45.9	85	117.4

Aydıncık												
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
Yüksek Sıc.	15°C	15°C	18°C	22°C	26°C	30°C	33°C	34°C	31°C	27°C	21°C	16°C
Ort. Sıcaklık	10°C	11°C	13°C	17°C	21°C	26°C	29°C	29°C	26°C	21°C	16°C	12°C
Düşük Sıc.	7°C	7°C	9°C	12°C	16°C	21°C	24°C	24°C	21°C	17°C	12°C	8°C
Yağış miktarı(mm)	93.70	82.40	44.30	24.80	16.30	4.50	0.70	1.10	7.90	41.50	80.20	108.60

Anamur ve Aydıncık İlçelerinin 1991-2021 yılları iklimsel özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir. Buna göre Ocak ayı ortalama sıcaklığı 10 ve 11° iken, Ocak ayı en yüksek sıcaklık 15° olarak ölçülmüştür. Yine Ocak ayı ortalama yağış miktarı 101.8 mm ve 93.7 mm'dir. Tabloya göre sıcaklık ortalamasının en yüksek olduğu ay Ağustos ayıdır.

3.1.3. Su Kaynakları

DSİ 2014'deki ifadesinde; Mersin il merkezi ve çevresinde içme suyu ihtiyacı, Berdan Barajı'ndan elde edilmektedir. Berdan Barajı; Mersin'de, Berdan Çayı'nın üzerinde, 1975-1984 yılları arasında inşa edilmiştir. Barajın toprak gövde dolgu hacmi olup “gövde hacmi 2.160.000 m³, akarsu yatağından yüksekliği 41,60 m, normal su kotunda göl hacmi 87,50 hm³, normal su kotunda göl alanı 6,55 km² ve 33,861 hektarlık bir alana sulama hizmeti sunmakta yılda 66 hm³ içme-kullanma suyu” sağlamaktadır. Baraj inşa edilirken sulama, içme-kullanma, taşkın önleme ve sanayi suyu temini amacı ile yapılmıştır. Barajdan biri ana depo olmak üzere toplamda altı depodan Mersin şebekesine su gönderilmektedir. Mersin bölgesi için “içme, kullanma ve yeraltı su kaynağının” tamamını karşılamakta olan Berdan Baraj Gölünün şu anda 1 milyonun üzerinde nüfusun su ihtiyacını karşılamaktadır.

3.1.4. Tarım Potansiyeli

Mersin ili nüfusunun geneli geçimini tarım ile sağlamaktadır. Tarım yapılan alanlar ilin %25'idir. Tarım ürünleri olarak başlıca domates ,biber, salatalık, bakla, bamya, mercimek, pirinç, nohut, buğday gibi çeşitlilik gösterirken sanayi ürünü olarak pamuk ,yerfıstığı ve susam yetiştirilmektedir. Seracılık faaliyeti olarak ikinci sırada en çok sera alanı Mersin'de bulunmaktadır. Turunçgiller de bol miktarda yetişmektedir. Keçiboynuzu, nar, muz ve incir yetiştirilen meyveler arasından örnek olarak gösterilebilir. Mersin Türkiye'nin tahıl, meyve ve sebze ambarlarından biridir.

Tablo 3.2. Mersin İli Tarımsal Verileri

İlçe	Mahalle Sayısı	Yüzölçüm(Ha)	Tarımsal Alan(Ha)
Anamur	56	148161	21081
Erdemli	71	179950	27687
Gülnar	50	145350	57578
Mut	102	279755	66175
Silifke	88	271140	50677
Tarsus	179	202246	97468
Aydıncık	15	38039	5579
Bozyazı	26	68225	8196
Çamlıyayla	14	72037	4581
Akdeniz	65	28776	13154
Mezitli	40	41499	6994
Toroslar	67	126885	7504
Yenişehir	32	13804	2955

Tablo 3.3. Mersin İli Örtü Altı Tarımının Dağılımı (2013)

Sebze-Meyve	Ekilen Alan		Üretim	
	Dekar	Pay (%)	Ton	Pay (%)
Biber (Sivri)	28.739	19.3	184.142	17.7
Muz	26.724	17.9	160.315	15.5
Domates	24.505	16.5	242.290	23.4
Karpuz	16.632	11.2	108.110	10.4
Çilek	15.571	10.5	61.249	5.9
Hıyar	12.215	8.2	141.243	13.6
Patlıcan	8.912	6.0	67.194	6.5
Kabak (Sakız)	6.523	4.4	39.930	3.8
Biber (Dolmalık)	3.347	2.2	17.269	1.7
Kavun	2.813	1.9	11.244	1.1
Fasulye (Taze)	1.490	1.0	1.816	0.2
Marul (Aysberg)	500	0.3	1.000	0.1
Semizotu	464	0.3	557	0.1
Kayısı	324	0.2	633	0.1
Üzüm (Sofralık çekirdekli)	153	0.1	393	0.0
Şeftali (Nektarin)	30	0.0	60	0.0
Toplam	148.942	100.0	1037.445	100.0

3.2.2. Su Kalitesinin Belirlenmesi İçin Yapılan Analizler

Araziden alınan örnekler laboratuvara getirildikten sonra örneklerin pH, EC, Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , CO_3^- ve HCO_3^- , SO_4^{2-} değerleri belirlenmiştir. Yapılan analizler ve analiz yöntemleri Tablo 3.4.'de verilmiştir. EC ve pH tayinleri elektrotla, Na^+ ve K^+ tayinleri flame fotometre ile CO_3^- , HCO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{2-} tayinleri ise titrimetrik yöntemle yapılmıştır.

Suların uygunluk düzeylerinin belirlenmesinde elektriksel iletkenlik, pH, CO_3^- , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} değerlerine ilişkin ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde kullanılan cihazlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.4. Yeraltı suyu numunelerinde yapılacak analizler

Sıra No	Analiz	Metod	Kullanılan Cihazlar
1	Elektriksel İletkenlik (EC) Tayini	TS 9748 EN 27888	Hach – Lange HQ 440 d multipH- EC-DO metre
2	pH Tayini	TS EN ISO 1523	Hach – Lange HQ 440 d multipH- EC-DO metre
3	CO_3 , HCO_3	TS 3790 EN ISO 9963-1	Hach -LangeAlkaliniteTitratör
4	Ca , Mg , Na , K , NH_4	TS EN ISO 14911	Dionex 1000 iyon Kromatografi Cihazı
5	SO_4 , Cl , NO_3 , NO_2 , O- PO_4	TS EN ISO 10304-1	Dionex 1000 iyon Kromatografi Cihazı

Bu ölçülerde elektriksel iletkenlik suların tuzluk derecesini en iyi göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Tuzluk düzeyinin düşük olması yeraltı su kaynağı bakımından suların tercih edilmesinde etkili bir özelliktir. Sulama sularında sodyum düzeyinin yüksek olmaması beklenmektedir. Yeraltı su kaynağındaki sodyum miktarının yüksek olması bitkilere zarar vermesi nedeniyle tercih edilmemektedir. Benzer şekilde kalıcı sodyum karbonat, Kelly İndeksi, magnezyum oranı ve potansiyel tuzluluk gibi değerler bakımından sularının uygunluk derecesinin önemli olduğu görülmektedir.

3.2.3. Suların Sulamaya Uygunluklarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında örnek alınan yeraltı suyu kuyularının yerleri harita üzerinde belirlendi ve bu noktalardan su örnekleri alındı. Örneklerin pH, EC, Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , CO_3^- , HCO_3^- ve SO_4^{2-} değerleri belirlendi. Elde edilen verilerden suların sulama açısından uygunluğunu belirlemek amacıyla enterpolasyon yöntemi kullanılarak hesaplama yapıldı ve Sodyum adsorpsiyon oranı, yüzde sodyum değeri

(%Na), artık sodyum karbonat değeri, kelly indeksi, magnezyum oranı, potansiyel tuzluluk, langelier satürasyon indeksi ve permeabilite indeksinin değerleri hesaplanmıştır. Su kalite indekslerinin hesaplanmasında kullanılan Eşitlikler aşağıda verilmiştir. Hesaplamalarda SAR, RSC ve %Na formülleri için meq/l birimleri kullanılarak yapılmıştır.

Sodyum adsorbsiyon Oranı (Wilcox, 1955) tarafından geliştirilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

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

Yüzde Na değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (Richards, 1954).

$$\%Na = \frac{Na}{(Ca+Mg+Na+K)} * 100 \quad (3.2)$$

Kalıcı sodyum karbonat eşitliği aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır (Eaton, 1950).

$$RSC = (HCO_3 + CO_3) - (Ca + Mg) \quad (3.3)$$

Kelly indeksini hesaplamak için kullanılan formül verilmiştir (Kelly, 1940).

$$KI = \frac{Na}{Ca+Mg} \quad (3.4)$$

Magnezyum oranı (Szabolcs & Darab, 1964) tarafından geliştirilen formül ile hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{Mg}{Ca+Mg} \quad (3.5)$$

Potansiyel tuzluluk değeri hesaplanmak için geliştirilen formül aşağıda verilmiştir (Delgado et al., 2010).

$$PS = Cl + \left(\frac{SO_4}{2} \right) \quad (3.6)$$

Permeabilite indeksi (Donnen, 1964) tarafından geliştirilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$PI = \left[\frac{Na + \sqrt{HCO_3}}{Ca+Mg+Na+K} \right] * 100 \quad (3.7)$$

3.2.4. Alansal Dağılım Haritaları

Çalışma kapsamında örnek alınan yeraltı sularına ait hidrokimyasal özellikler ile suların sulamaya uygunluklarını belirlemek amacıyla hesaplanmış olan sulama

suyu kalite indeks değerlerinin alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır. Elde edilen haritalar yardımı ile çalışma alanında sorun olan bölgeler, sorunlu bölgelerin alanda dağılım yerleri ve miktarları tespit edilmiştir. Alansal dağılım haritaları ARCGIS programı kullanılarak hazırlanmış ve enterpolasyon yöntemi olarak ise Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (IDW=Inverse Distance Weighted) kullanılmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1.Yeraltı Sularının Hidrokimyasal Özellikleri

Çalışma alanında yer alan 51 farklı kuyu suyu örnekleri alınmıştır. Bu sulara ait temel hidrokimyasal özellikler Tablo 4.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Yeraltı suyu örneklerine ait temel tanımlayıcı özellikler

Parametre	Örnek sayısı	Minimum	Maksimum	Aritmetik Ortalama
pH	51	6.05	8.04	7.16
EC	51	0.474	1.136	0.668
Na ⁺	51	7.20	78.59	18.48
K ⁺	51	0.39	10.56	2.58
Ca ⁺²	51	29.06	234.07	125.76
Mg ⁺²	51	7.29	99.55	47.47
HCO ₃ ⁻	51	70.76	593.53	355.70
Cl ⁻	51	21.66	324.83	67.04
C	51	12.13	432.89	181.96

Çalışma alanına ait yeraltı su örneklerinin hidrokimyasal özellikleri ve çalışma alanındaki toplam alana dağılım yüzdeleri Tablo 4.2.de görülmektedir.

Tablo 4.2. Yeraltı suyu örneklerine ait aralık değerleri ve alan özellikleri

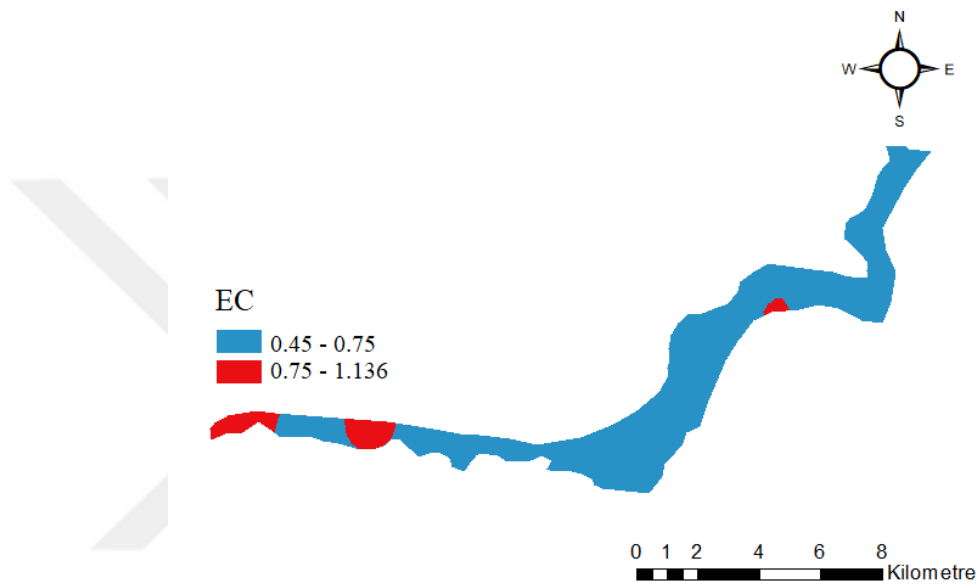
Hidrokimyasal Özellik	Sınıf aralığı	Alan (ha)	Yüzde dağılım (%)
EC	0.475 – 0.750	3129	92.03
	0.750 – 1.130	271	7.97
pH	6.05 – 6.70	40	1.18
	6.70 – 7.30	1799	52.91
	7.30 – 8.04	1561	45.91
SO ₄ ²⁻	12.13 – 200.00	2674	78.65
	200.00 – 432.88	726	21.35
Cl ⁻	21.65 – 70.00	1360	40.00
	70.00 – 140.00	1994	58.65
	140.00 – 300.00	46	1.35
	300.00 – 324.82	0	0.00
HCO ₃ ⁻	70.76 – 150.00	0	0.00
	150.00 – 300.00	52	1.53
	300.00 – 400.00	2524	74.24
	400.00 – 593.53	824	24.24
Mg ⁺²	7.293 – 40.000	1052	30.94
	40.00 – 60.00	2018	59.35
	60.00 – 99.54	330	9.71
Ca ⁺²	29.058 – 120	530	15.59
	120 – 234.06	2870	84.41
K ⁺¹	0.391 – 2.00	1078	31.71
	2.00 – 5.00	2114	62.18
	5.000 – 10.557	208	6.12
Na ⁺¹	7.199 – 30.000	2948	86.71
	30.00 – 50.00	317	9.32
	50.00 – 78.591	135	3.97

Çalışma alanındaki suların EC değerleri için minimum değer 0.475 ve maksimum değer 0.113 olarak belirlenmiştir. Aritmetik ortalaması ise 0.668 olarak bulunmuştur. EC değerleri 0.25 dS/m den küçük olan sular 1. Sınıf, 0.25-0.75 dS/m arasında olan sular 2. Sınıf, 0.75-2.25 dS/m arasında olan sular 3. Sınıf ve 2.25 dS/m den büyük olan sular 4. sınıf olarak nitelendirilmektedir (Mass, 1990).

Çalışma alanındaki suların EC değerlerinin alansal dağılımları Şekil 4.1. de verilmiştir. Alansal dağılım haritasına göre çalışma alanının %92.03'ünde suların EC değerlerinin 42 tanesinin 0.25 ile 0.75 dS/m arasında ikinci sınıf su özelliğinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca alanın %7.97'sinde ise EC değerlerinden 9 tanesinin 0.75 dS/m ile 1.136 dS/m arasında olduğu ve sulama açısından üçüncü sınıf olduğu belirlenmiştir. Buharlaşma veya iyon değişimi, yeraltı suyunun EC değerinde bir artışa neden olmuş olabilir (Kamaraj vd., 2021).

Tablo 4.3. Suların elektriksel iletkenlik değerine göre sınıflandırılması

EC Değeri (dS/m)	Su Kalitesi
EC<0.25	I.Sınıf
0.25<EC<0.75	II.Sınıf
0.75<EC<2.25	III.Sınıf
2.25<EC	IV.Sınıf

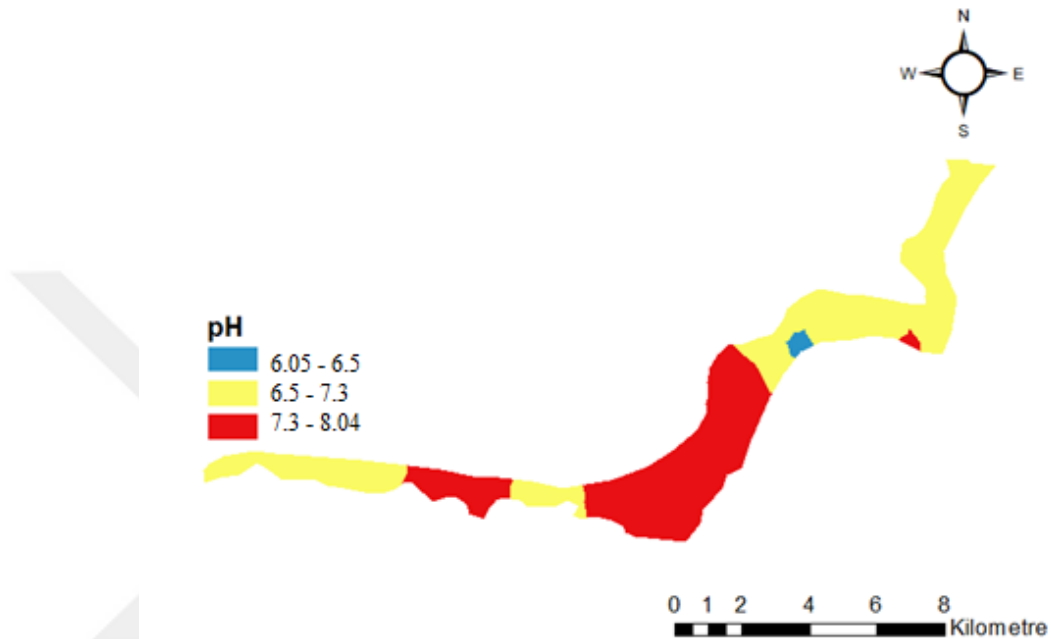


Şekil 4.1. EC(dS/m) değerinin alansal dağılımı

Alanda yapılan çalışma sonucunda pH değerinin en düşük 6.05 ve en yüksek 8.04 olduğu bununla birlikte 51 farklı örneğin ortalamasının 7.16 olduğu belirlenmiştir. Suların pH açısından sulamaya uygunlukları Tablo 4.4'de gösterilmiştir. Buna göre pH değeri 6.5 ile 8.5 arasında olan suların sulama açısından kullanılmasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır (Ayers & Westcot, 1985). Alansal dağılım haritasına göre 40 hektarlık alanda pH değerleri 6.05 ile 6.7 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %1,18'lik alana tekabül etmektedir. pH değeri 1799 hektarlık alanda 6.7 ile 7.3 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %52,91'lik alana tekabül etmektedir. pH değeri 1561 hektarlık alanda 7.3 ile 8.04 arasında değişiklik göstermektedir. Bu değişiklik çalışma alanında %45,91'lik alana tekabül etmektedir. Bu veriler incelendiğinde çalışma alanındaki su örneklerinden 48 adedinin pH açısından herhangi bir sorun içermediği belirlenmiştir.

Tablo 4.4 Suların pH değerine göre sınıflandırılması

pH	SulamaSuyuSınıfı
pH<6.5	Sulamaya uygun değil
6,5<pH<8,5	Sulama uygun
8.5< pH	Sulamaya uygun değil



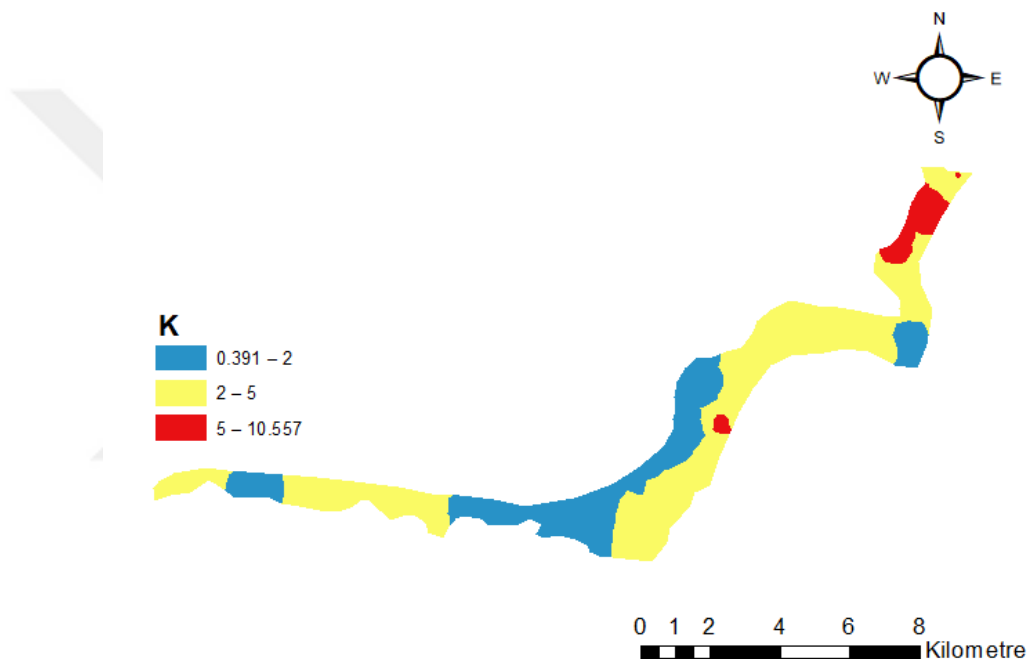
Şekil 4.2. pH değerinin alansal dağılımı

Çalışma yapılan alanda K değerinin en düşük 0.39mg/l en yüksek 10.56 mg/l olduğu 51 farklı örneğin ortalamasının 10.58 mg/l olduğu belirlenmiştir. K değerinin 2 mg/l den büyük olduğu suların sulama kullanılması bitki açısından sorunlar oluşturmaktadır (FAO, 1994) (Tablo 4.5.).K değeri 1078 hektarlık alanda 0.391mg/l ile 2.000mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %31.71'lik alana tekabül etmektedir. K değeri 2114 hektarlık alanda 2.00mg/l ile 5.00mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %62.18'lik alana tekabül etmektedir. K değeri 208 hektarlık alanda 5.000mg/l ile 10.557 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %6.12'lik alana tekabül etmektedir. Yeraltı sularındaki yüksek potasyum konsantrasyonlarının çoğu, potasyum içeren gübrelerin uygulanması ve ardından toprağa sızmasından

kaynaklanmaktadır (Gasmi vd., 2022). Çalışma kaspamında K değerinin yüksek olduğu alanlarda yoğun bir şekilde gübreleme yapıldığı düşünülmektedir.

Tablo 4.5. Suların potasyum değerine göre sınıflandırılması

K (mg/l)	Sulama Suyu Sınıfı
K<2	Mükemmel
2< K	Sulamaya uygun değil



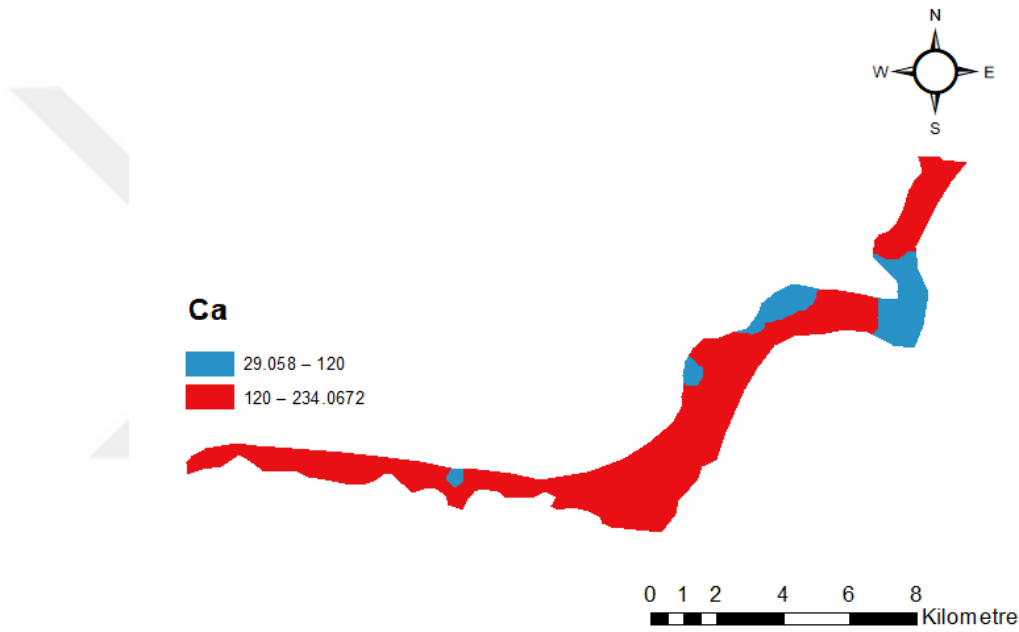
Şekil 4.3. K (mg/l) değerinin alansal dağılımı

Çalışma yapılan bu alanda Ca değerinin en düşük 29.06mg/l en yüksek 234.07mg/l olduğu 51 farklı örneğin ortalamasının 125.76mg/l olduğu belirlenmiştir. Ca değerleri 400 mg/l'den küçük olduğunda sulama açısından kullanılabilir durumdayken 400 mg/l'den büyük olduğu durumda sulama suyunda kullanılması açısından sakıncalı durumdadır (FAO, 1994). Ca değeri 530 hektarlık alanda 29.058mg/l ile 120mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %15.59'luk alana tekabül etmektedir. Ca değeri 2870 hektarlık alanda

120mg/l ile 234.06mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %84.41'lik alana tekabül etmektedir. Ca değerlerinin sulama açısından sakıncalı kuyu bulunmadığı, sulama suyunda kullanılabilir durumda olduğu ifade edilir.

Tablo 4.6. Suların kalsiyum değerine göre sınıflandırılması

Ca(mg/l)	Sulama Suyu Sınıfı
Ca<400	Sulamaya uygun
400< Ca	Sulamaya uygun değil



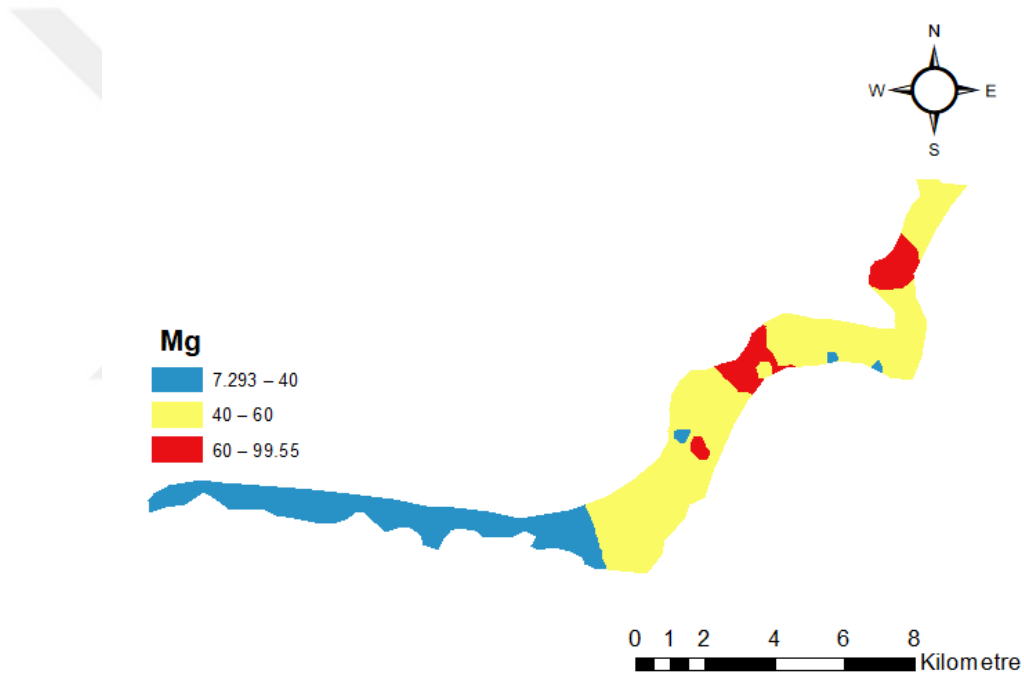
Şekil 4.4. Ca(mg/l) değerinin alansal dağılımı

Çalışma alanında Mg değerinin en düşük 7.29 mg/l en yüksek 99.55 mg/l olduğu 51 farklı örneğin ortalamasının 47.47 mg/l olduğu belirlenmiştir. Mg değerlerinin sulama suyu sınıfları açısından bakıldığında 60 mg/l'den büyük değerlerde kullanılamazken 60mg/l'den küçük değerlerde sulamaya uygun olduğu Tablo 4.7.'de ifade edilmiştir (FAO, 1994). Mg değeri 1052 hektarlık alanda 7.293 mg/l ile 40 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %30.94'lük alana tekabül etmektedir. Mg değeri 2018 hektarlık alanda 40 mg/l ile 60 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %59.35'lik

alana tekabül etmektedir. Mg değeri 330 hektarlık alanda 60mg/l ile 99.54 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %9.71'lik alana tekabül etmektedir. Yeraltı sularındaki yüksek magnezyum konsantrasyonlarına sıklıkla mineraller ve/veya kimyasal gübreler neden olmaktadır (Devic, 2014).

Tablo 4.7. Suların magnezyum değerine göre sınıflandırılması

Mg(mg/l)	Sulama Suyu Sınıfı
Mg < 60	Mükemmel
60 < Mg	Sulamaya uygun değil



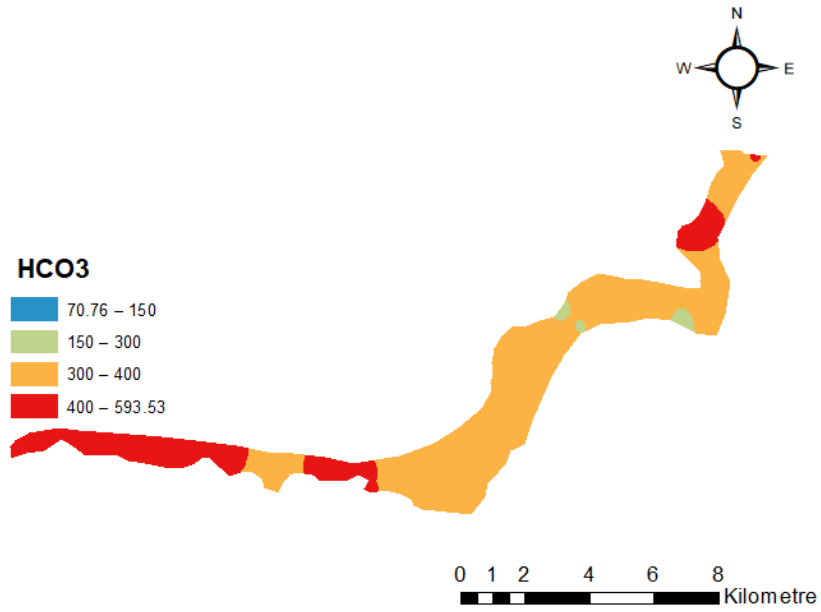
Şekil 4.5. Mg (mg/l) değerinin alansal dağılımı

Çalışma alanında sulama suyu kullanılabilirliği açısından bakıldığında HCO_3 değerinin en düşük 70.76 mg/l, yüksek 593.53 mg/l olduğu 51 farklı örneğin ortalamasının 355.70 mg/l olduğu belirlenmiştir. Sulama suyunda kullanılabilmesi için 610 mg/l'den küçük olması gerektiği, 610 mg/l'den büyük olması durumlarından sulama amaçlı kullanılmaması önerilmektedir.(FAO, 1994) HCO_3 değeri 0 hektarlık alanda 70.76mg/l ile 150mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %0'lık alana tekabül etmektedir. HCO_3 değeri 52 hektarlık alanda 150 mg/l

ile 300 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %1.53'lük alana tekabül etmektedir. HCO_3 değeri 2524 hektarlık alanda 300 mg/l ile 400 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %74.24'lük alana tekabül etmektedir. HCO_3 değeri 824 hektarlık alanda 400 mg/l ile 593.93 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %24.24'lük alana tekabül etmektedir. Sulama suyunda kullanılması açısından bir sorun teşkil etmemektedir. Yeraltısularında yüksek HCO_3 , karbonat malzemenin ve kalkerli kumtaşlarının çözünmesinden kaynaklanıyor olabilir (Al Hmani vd., 2022).

Tablo 4.8. Suların bikarbonat değerine göre sınıflandırılması

HCO_3 (mg/l)	Sulama Suyu Sınıfı
$\text{HCO}_3 < 610$	Mükemmel
$610 < \text{HCO}_3$	Sulamaya uygun değil



Şekil 4.6. HCO_3 (mg/l) değerinin alansal dağılımı

Alanda yapılmış olan çalışmada Cl değerinin en düşük 21.66 mg/l en yüksek 324.83 mg/l olduğu 51 farklı örneğin ortalamasının 67.04 mg/l olduğu belirlenmiştir. Suların Cl açısından sulamaya uygunluklarına bakıldığında 142 mg/l'den küçük değerler kullanım açısından mükemmel durumdayken 710 mg/l'den büyük değerler sulamada kullanılmaya uygun değildir, kalan aralıklar ise Tablo 4.9. da gösterilmiştir (FAO, 1994). Cl değeri 1360 hektarlık alanda 21.65 mg/l ile 70 mg/l arasında

değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %40'lık alana tekabül etmektedir. Cl değeri 1994 hektarlık alanda 70 mg/l ile 140 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %58.65'lik alana tekabül etmektedir. Cl değeri 46 hektarlık alanda 140 mg/l ile 300 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %1.35'lik alana tekabül etmektedir. Cl değeri 0 hektarlık alanda 300 mg/l ile 324.82 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında % 0'lık alana tekabül etmektedir. Veriler incelendiğinde bunlardan 48 adet yeraltı su kuyusu örneği birinci sınıf, 1 adet yeraltı su kuyusu örneği ikinci sınıf, 2 adet yeraltı su kuyusu örneği üçüncü sınıf olduğu görülmektedir.

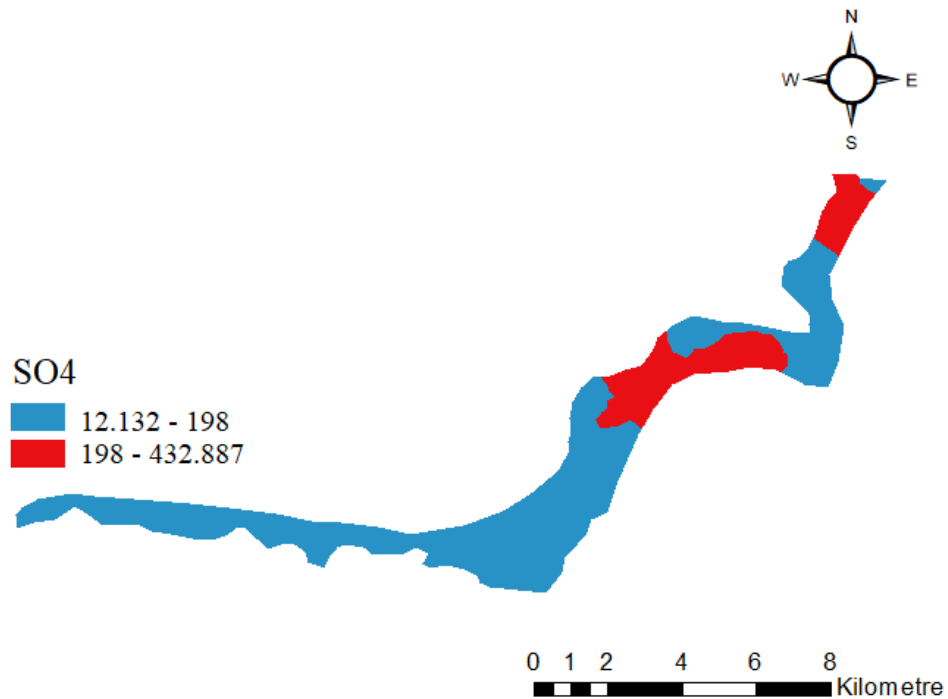
Cl(mg/l)	Sulama Suyu Sınıfı
0<Cl<142	Mükemmel
142< Cl <249	İyi
249< Cl <426	İzinVerilebilir
426< Cl <710	Şüpheli
Cl>710	Sulamaya uygun değil

Şekil 4.7. Cl (mg/l) değerinin alansal dağılımı

mg/l'den küçük olan değerlerken 970 mg/l'den büyük değerlerin kullanılması uygun görülmemektedir (FAO, 1994) (Tablo 4.10.). SO_4 değeri 2674 hektarlık alanda 12.13 mg/l ile 200 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %78.65'lik alana tekabül etmektedir. SO_4 değeri 726 hektarlık alanda 200 mg/l ile 432.88 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %21.35'lik alana tekabül etmektedir. Verilerimize bakıldığında ise 194 mg/l den küçük 32 adet örnek mevcut olup mükemmel sınıfına girerken 11 adet yeraltı su kuyusu örneğimizin 194 mg/l ile 340 mg/l aralığında mevcut olup iyi su sınıfına girdiğini ve son olarak 7 adet yeraltı su kuyusu örneği 340 mg/l ile 582 mg/l aralığında olup kullanılabilir sınıfta yer almaktadır.

Tablo 4.10. Suların sülfat değerine göre sınıflandırılması

SO_4	Sulama Suyu Sınıfı
$SO_4 < 194$	Mükemmel
$194 < SO_4 < 340$	İyi
$340 < SO_4 < 582$	Kullanılabilir
$582 < SO_4 < 970$	Şüpheli
$970 < SO_4$	Sulamaya uygun değil



Şekil 4.8. SO_4 (mg/l) değerinin alansal dağılımı

4.2. Yeraltı Sularının Sulamaya Uygunluklarının Değerlendirilmesi

Çalışma alanında yer alan 51 farklı yeraltı suyu örneklerinin sulama suyu kalite indekslerine ait temel tanımlayıcı istatistiksel değerler Tablo 4.12.'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Yeraltı suyu örneklerine ait uygunluk değerleri

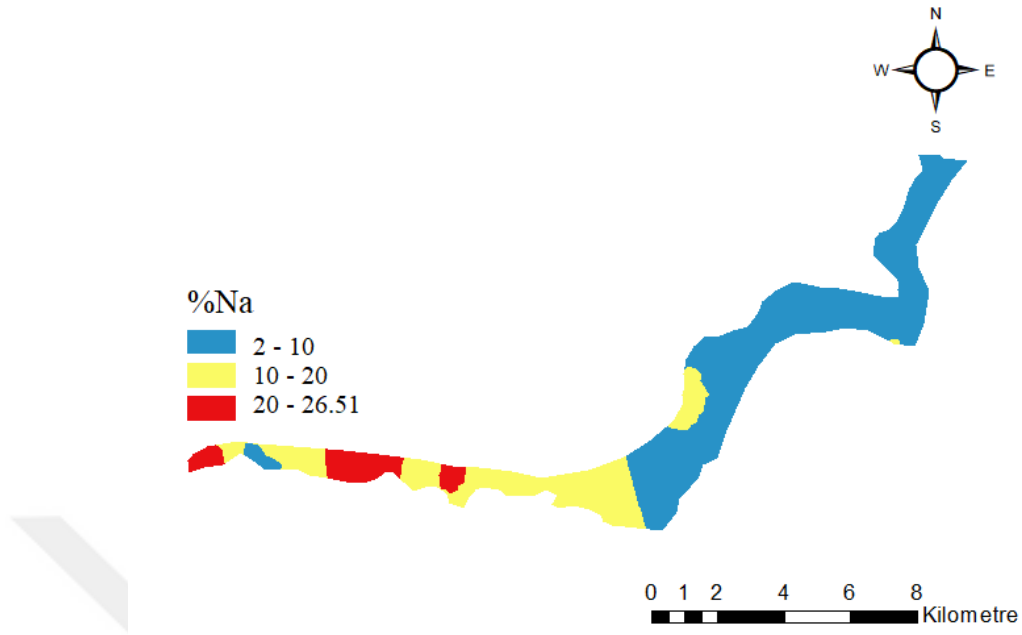
	N	Minimum	Maksimum	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Sodyumadsorbsiyon oranı (SAR)	51	0.12	1.58	0.36	0.274
Yüzde sodyum (%Na)	51	2.19	26.52	7.27	4.907
Kelly indeksi (KI)	51	0.02	0.36	0.08	0.064
Magnezyum oranı (MR)	51	8.05	67.36	37.61	13.119
Potansiyel tuzluluk (PS)	51	1.38	11.01	3.76	1.741
Kalıcı sodyum karbonat (RSC)	51	-9.37	0.19	-4.35	2.218
Permeabilite indeksi (PI)	51	17.19	48.17	29.84	7.207

Çalışma alanındaki sodyum değerleri 2.19 ile 26.52 arasında değişim göstermiştir. Sulama sularının %Na sınıflandırması incelendiğinde örneklerden alınan suların %Na ortalama değerinin 7.27 olduğu belirlenmiştir. Bu değerler yeraltı su kaynağı sınıfı bakımından çoğunluğun mükemmel düzeyde olduğunu göstermektedir. Yüzde sodyum değerlerinin sulamada uygunluk aralıkları Tablo 4.13.te verilmiştir. Buna göre %Na değeri 20 en düşük olan sular mükemmelken %Nadeğeri 80'den fazla olan suların ise sulamada kullanılması uygun değildir.

Çalışma alanının 2169 hektarlık kısmında %63.79 alanda 2.18 mg/l ile 8 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. 938 hektarlık alanda ise 8 mg/l ile 15 mg/l arasında değişim gösterip alan olarak %27.59'unda değişim göstermekte olup 293 hektarlık alanda 15 mg/l ile 26.51 mg/l arasında değişim göstererek tüm çalışma alanının %8.62'lik kısmına karşılık gelmektedir. Verilere bakıldığında 50 adet kuyunun yeraltı su örneği mükemmel sınıfına girmekte kalan 1 adet kuyunun su örneği ise iyi sınıfına girmektedir. %Na değerlerinin mükemmel ve iyi sınıflarında olmasından kaynaklı olarak sulama suyunda kullanılmasına uygundur.

Tablo 4.12. Sulama sularının %Na sınıflandırması

%Na	Sulama Suyu Sınıfı
%Na<20	Mükemmel
20<%Na<40	İyi
40<%Na<60	İzin Verilebilir
60<%Na<80	Şüpheli



Şekil 4.9. Na (%) değerinin alansal dağılımı

Tablo 4.13 Suların çalışma alanı ve yüzdelik alansal dağılımları

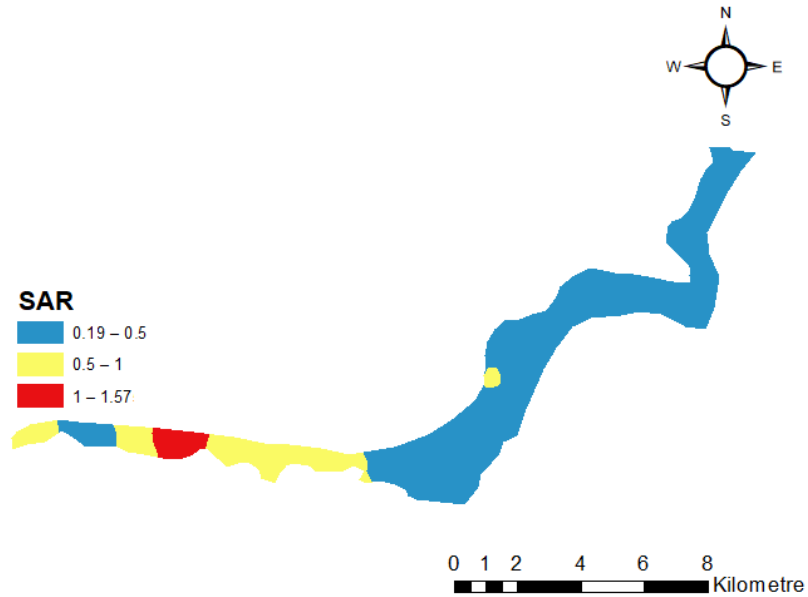
	Sınıf aralığı	Alan (ha)	Yüzde dağılım (%)
PI	17.19–25.00	238	7.00
	25.00–48.17	3162	93.00
PS	1.375– 3.00	513	15.09
	3.00 –7.295	2887	84.91
	8.05 – 30.00	860	25.29
MR	30.00 – 50.00	2512	73.88
	50.00 – 67.00	28	0.82
	0.022 -0.100	2450	72.06
KI	0.10-0.20	763	22.44
	0.20 – 0.36	187	5.50
	2.18 –8.00	2169	63.79
%Na	8.00 – 15.00	938	27.59
	15.00 – 26.51	293	8.62
SAR	0.118 -0.500	2675	78.68
	0.50 – 1.00	587	17.26

Çalışma yapılmış olana alanda sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) en düşük 0.12 en yüksek 1.58 ve ortalama değerin 0.36 olduğu belirlenmiştir. SAR değerlerinin

sulama suyu sınıfları açısından aralıkları Tablo 4.14’de verilmiştir. SAR değeri 2675 hektarlık alanda 0.118 ile 0.5 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %78.68’lik alana tekabül etmektedir. SAR değeri 587 hektarlık alanda 0.5 ile 1 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %17.26’lık alana tekabül etmektedir. SAR değeri 138 hektarlık alanda 1 ile 1.5 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %4.06’lık alana tekabül etmektedir. Bu veriler incelendiğinde çalışma alanındaki su örneklerinden 51 adedinin SAR açısından herhangi bir sorun içermediği belirlenmiştir.

Tablo 4.14. Suların sodyum adsorbsiyon oranına(SAR) göre sınıflandırılması

SAR	Sulama Suyu Sınıfı
SAR<10	Mükemmel
10<SAR<18	İyi
18<SAR<26	Şüpheli
26<SAR	Kullanıma Uygun Değil



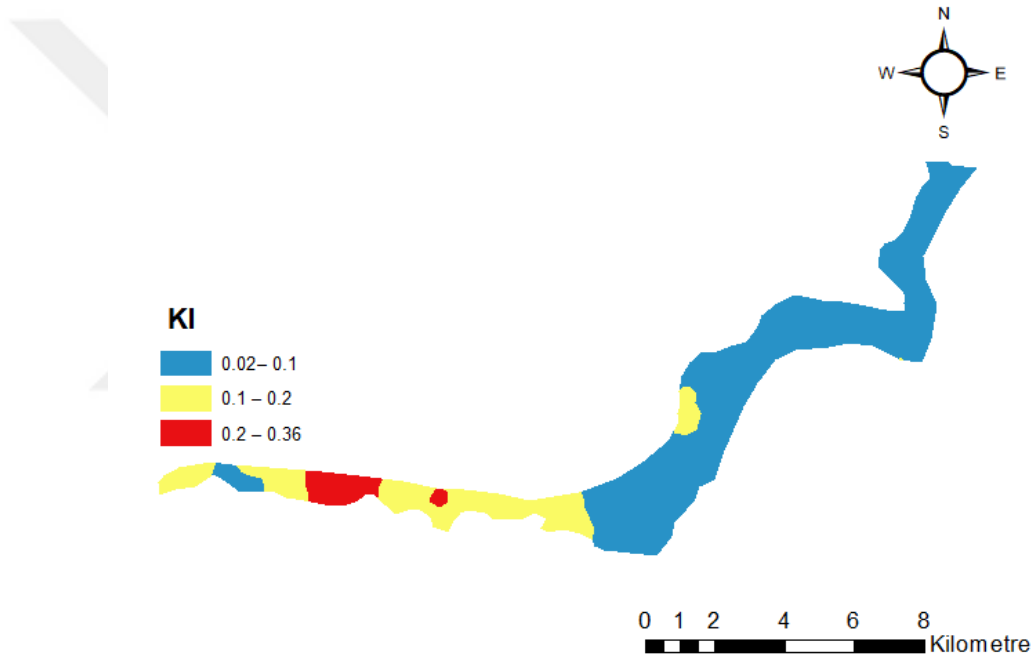
Şekil 4.10. SAR değerinin alansal dağılımı

Çalışma alanındaki Kelly indeksi (KI) değerlerinden en düşüğünün 0.02, en yüksekisinin 0.36 ve ortalama değerin 0.08 olduğu belirlenmiştir. KI değeri 2450 hektarlık alanda 0.022 ile 0.1 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %72.06’lık alana tekabül etmektedir. KI değeri 763 hektarlık alanda 0.1 ile

0.2 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %22.44'lük alana tekabül etmektedir. KI değeri 187 hektarlık alanda 0.2 ile 0.36 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %5.50'lik alana tekabül etmektedir. Tüm verilerimize baktığımızda 1'den küçük olduğu için sulama suyunda kullanılmasında sakınca görülmemektedir.

Tablo 4.15. Suların Kelly indeksine (KI) göre sınıflandırılması

KI	Sulama Suyu Sınıfı
KI < 1	Mükemmel
1 < KI	Sulamaya uygun değil



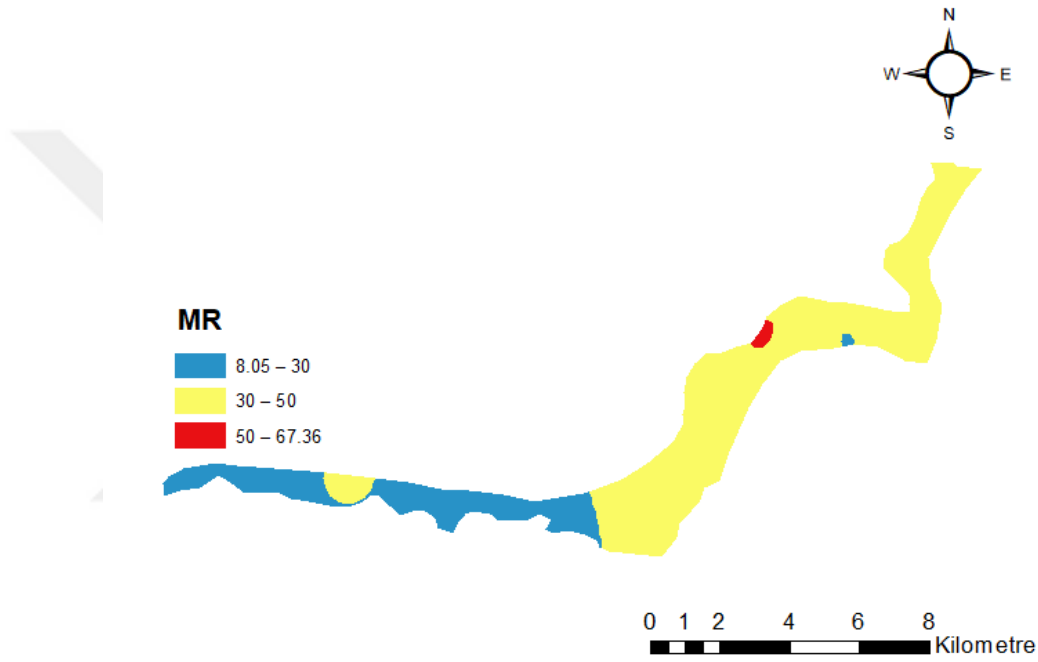
Şekil 4.11. KI değerinin alansal dağılımı

Alanda yapılan çalışma sonucunda Magnezyum oranı (MR) hesaplamalarına bakıldığında en düşük 8.05 en yüksek 67.36 ve ortalama değerin 37.61 olduğu belirlenmiştir. MR değeri 860 hektarlık alanda 8.05 ile 30 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %25.29'luk alana tekabül etmektedir. MR değeri 2512 hektarlık alanda 30 ile 50 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %73.88'lik alana tekabül etmektedir. MR değeri 28 hektarlık alanda 50 ile 67 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında

%0.82'lik alana tekabül etmektedir. Sonuç olarak değerlendirmek gerekirse 43 adet yeraltı su kuyusu örneğinin sulama açısından kullanıma engel durumu yokken 8 adet yeraltı su kuyusu örneğinin sulama suyunda kullanılması uygun değildir.

Tablo 4.16. Suların magnezyum oranına (MR) göre sınıflandırılması

MR (%)	Sulama Suyu Sınıfı
MR < 50	Kullanıma Uygun
50 < MR	Kullanıma Uygun Değildir

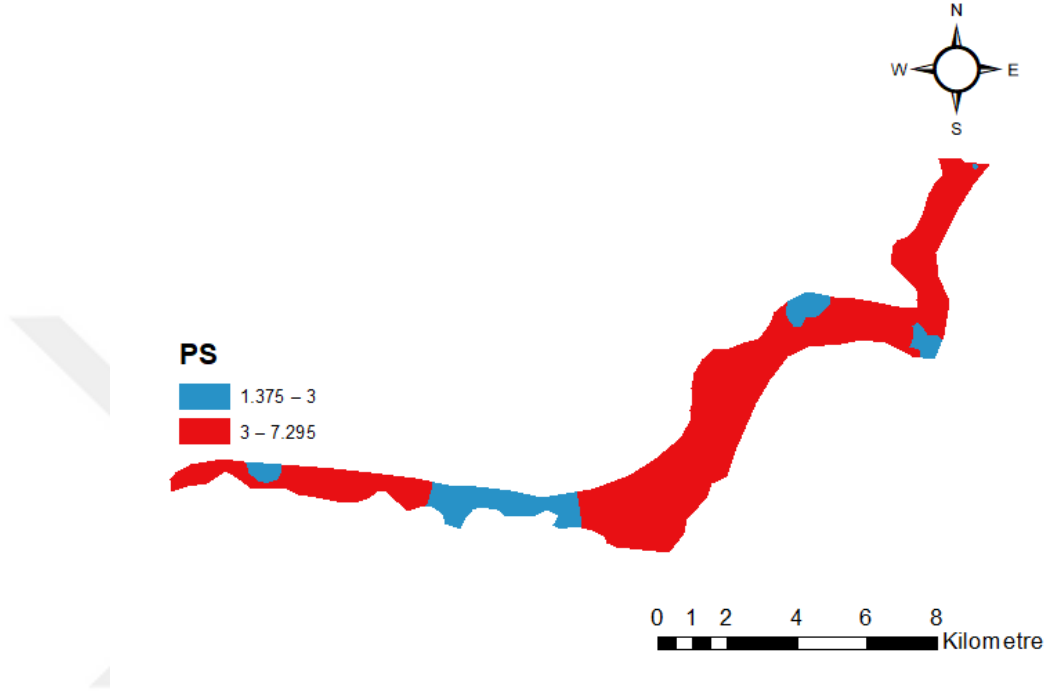


Şekil 4.12. MR değerinin alansal dağılımı

Çalışma alanındaki Potansiyel tuzluluk (PS) değerleri incelendiğinde en düşük 1.38 en yüksek 11.01 ve ortalama değerin 3.76 olduğu belirlenmiştir. PS değeri 513 hektarlık alanda 1.375 ile 3 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %15.09'luk alana tekabül etmektedir. PS değeri 2887 hektarlık alanda 3 ile 7.295 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %84.91'lik alana tekabül etmektedir. Bu veriler incelendiğinde çalışma alanındaki su örneklerinden 51 adedinden 19 tanesinin iyi sınıfta 32 tanesinin orta sınıfta olup PS açısından sulamada kullanılmasında herhangi bir sorun içermediği belirlenmiştir.

Tablo 4.17. Suların potansiyel tuzluluk (PS) göre sınıflandırılması

PS	Sulama Suyu Sınıfı
$PS < 3$	İyi
$3 < PS < 15$	Orta
$15 < PS$	Uygun Değil

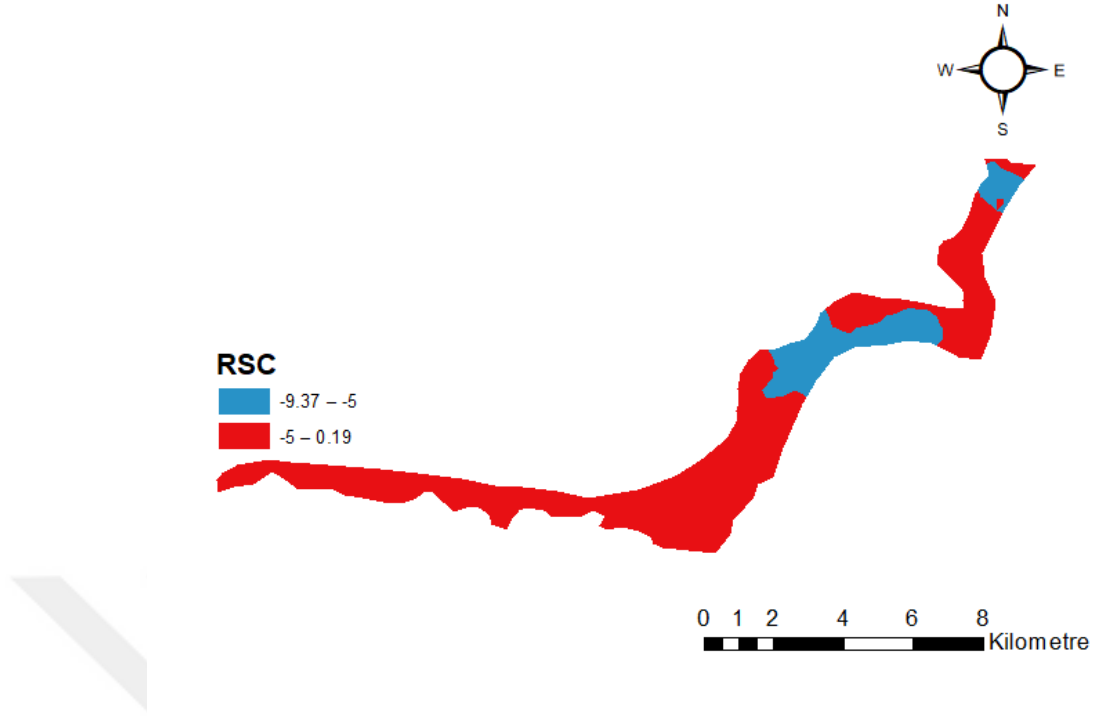


Şekil 4.13 PS değerinin alansal dağılımı

Çalışma alanındaki Kalıcı sodyum karbonat (RSC) değerlerine bakıldığında en düşük -9.37 en yüksek 0.19 ve ortalama değerin -4.35 olduğu belirlenmiştir. Verilerde en büyük ve en küçük değerlere bakıldığında 51 adet yeraltı suyu örneğinin sulama amacıyla kullanılmasına uygun olduğu görülmüştür.

Tablo 4.18. Suların kalıcı sodyum karbonat (RSC) göre sınıflandırılması

RSC	Sulama Suyu Sınıfı
$RSC < 1.25$	İyi
$1.25 < RSC < 2.50$	Şüpheli
$2.50 < RSC$	Sulamaya uygun değil

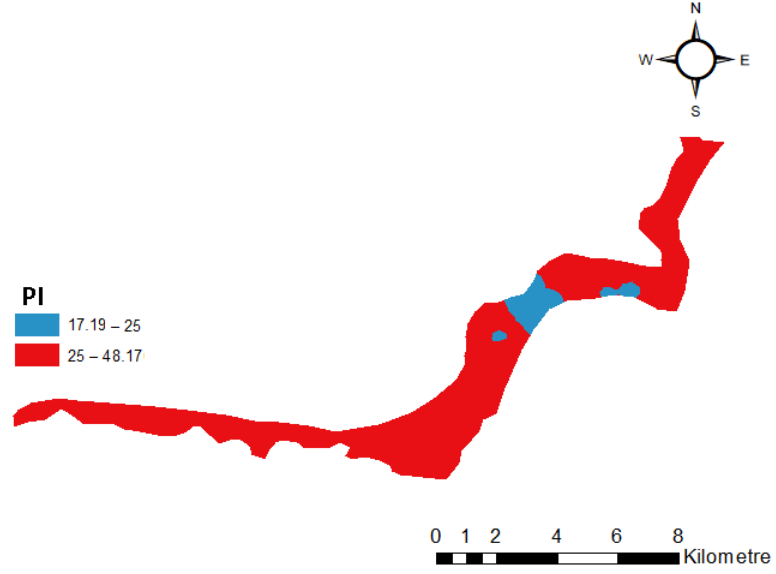


Şekil 4.14 RSC değerinin alansal dağılımı

Permeabilite indeksi (PI) en düşük 17,19 en yüksek 48,17 ve ortalama değerin 29,84 olduğu belirlenmiştir. PI değeri 238 hektarlık alanda 17.19 ile 25 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da tüm çalışma alanında %7’lik alana tekabül etmekte olup sulamaya uygunluk açısından uygun değildir. PI değeri 3162 hektarlık alanda 25 ile 48.17 arasında değişiklik göstermekte olup sulama suyunda kullanılması açısından şüpheli durumdadır. Bu da tüm çalışma alanında %93’lük alana tekabül etmektedir.

Tablo 4.19. Suların permeabilite indeksine (PI) göre sınıflandırılması

PI	Sulama Suyu Sınıfı
PI > 75	İyi
75 > PI > 25	Şüpheli
25 > PI	Sulamaya uygun değil



Şekil 4.15. PI değerinin alansal dağılımı

4.3. Korelasyon Analizi

Çalışma alanında su örneklerinin kaliteleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla hidrokimyasal özellikler arasında korelasyon analizi yapılmıştır (Tablo 4.20).

Tablo 4.20. Su kalite verilerinin korelasyon analizi

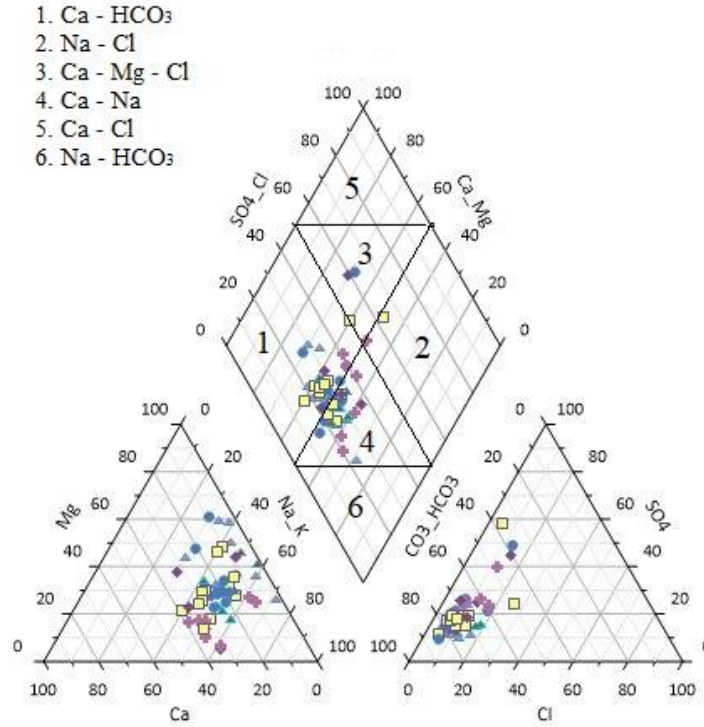
	pH	EC	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
pH	1	0.189	,092	-,141	-,171	-,371**	-,056	,218	-,458**
EC		1	,501**	,145	,469**	,036	,146	,182	,259
Na ⁺			1	,193	,249	-,152	,470**	,382**	-,159
K ⁺				1	,124	,202	,318	-,067	,110
Ca ⁺²					1	-,145	,422**	-,024	,320*
CC						1	-,041	-,075	,707**
HCO ₃ ⁻							1	,287*	-,263
Cl ⁻								1	-,211
SO ₄ ²⁻									1

Analiz sonucunda pH ile Mg⁺² ve SO₄²⁻ arasında %1 seviyesinde negatif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte suların EC değerleri ile Na⁺ ve Ca⁺² değerleri arasında %1 seviyesinde ve pozitif yönlü bir ilişkinin olduğu, Na⁺ ve Ca⁺² değerlerindeki artışın EC değerinde artmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Yeraltı sularının Na^+ ile HCO_3^- ve Cl^- iyonları arasında %1 seviyesinde pozitif yönlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Suların Ca^{+2} değerlerini incelediğimizde HCO_3^- ile %1 seviyesinde pozitif yönlü, SO_4^{2-} ile %5 seviyesinde pozitif yönlü ilişki olduğu belirlenmiştir. Analiz sonucunda Mg^{+2} ile SO_4^{2-} arasında %1 seviyesinde pozitif yönlü ilişki olduğu saptanmıştır. Ve son olarak HCO_3^- ile Cl^- arasında %5 seviyesinde pozitif yönlü ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

4.4. Suların Özelliklerinin Grafikselleştirilmesi ile Değerlendirilmesi

Sular su kalitesi bakımından incelendiğinde birden fazla grafiksel yöntem kullanılmakta olup, en önemlilerden bir tanesi Piper diyagramıdır (Piper, 1944). Çalışma kapsamında en sık kullanılan yöntemlerden olan Piper diyagramı kullanılarak sulama sularının özellikleri incelenmiştir.



Piper diyagramı su kalitesini 6 farklı grupta incelediğini göstermektedir. Bunlardan Ca-HCO_3 (tip1), Na-Cl (tip2), Ca-Mg-Cl (tip3), Ca-Na-3 (tip4), Ca-Cl (tip5) ve Na-HCO_3 (tip6) şeklinde gruplardır. Yaptığımız çalışma sonucundaki veriler ile elde etmiş olduğumuz diyagramı incelediğimizde ağırlıklı olarak Ca-HCO_3 ve Ca-Na tiplerinde olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ

İçinde bulunduğumuz yüzyılda su kullanımının günden günü artması kaçınılmaz hale gelmiştir. Su kullanımına bakıldığında tarımsal alanlarda kullanılan su miktarının yüksek oranlarda olduğu görülmektedir. Bundan dolayı kullanılan suyun kalitesi incelenmektedir. Mersin ili Anamur ve Aydıncık ilçelerinde tarım alanlarında kullanılan yeraltı kuyu sularının; kalitesi, tuzluluğu, sulamada kullanılma durumları tespit edilmek amacıyla matematiksel ve grafiksel yöntemler ile su kalite sınıflandırılması ve alansal dağılım haritaları elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında Ağustos ayı 2021 tarihinde 51 adet yer altı kuyusundan pompa yardımıyla bir süre akıtılıp ardından bekletilerek su numuneleri alınmıştır. Her bir numuneye ait 16 adet su kalite parametresi incelenmiştir.

Mersin ili Anamur ve Aydıncık ilçelerinde yapılmış olan bu çalışma sonucunda bölgedeki yeraltı su kuyularının Ca^{+2} , HCO_3^- , SAR, KI, RSC değerlerinin 1. sınıf sulama suyu kalitesinde olduğu tespit edilmiştir. Ca^{+2} değerine baktığımızda 400.00 mg/l'den büyük değerlerin sulama suyunda kullanılması uygun değilken verilerimizin en yüksek değeri 234.07 mg/l olup sulama suyu kalitesi açısından 1. sınıf olduğu görülmektedir. HCO_3^- değeri en yüksek 593.53 mg/l olup 610 mg/l'den küçük olduğu için sulama suyu kalitesi açısından 1. sınıftır. SAR indeksi yapılmış olan hesaplamalar sonucunda 0.12 ile 1.58 arasında değişim göstermektedir. Bu yüzden 10'dan küçük olup 1. sınıftır. KI indeksi 1 'den küçük olduğu durumlarda sulama suyunda kullanılması uygun görülmektedir, verilerimiz ise 0.02 ile 0.36 arasında olduğundan sulama suyu kalitesi bakımından mükemmel sınıftadır. Kalıcı sodyum karbonat (RSC) en düşük – 9.37 en yüksek 0.19 arasında olup 1.25 değerinden küçük olduğu için sulama suyu kalitesi açısından 1. sınıftır. Çalışma alanındaki tuzluluk miktarını ifade eden EC parametresinin 0.475 dS/m ile 1.136 dS/m arasında olduğu için 1. sınıf su örneği bulunmamakta olup 51 adet yeraltı su kuyusu örneğinden 42 tanesinin 2. sınıf özellikte olduğu ve kalan 9 tanesinin de 3. sınıf özellikte olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden EC parametresinin tüm çalışma alanının % 7.97'sinde sulama amacıyla kullanılırken dikkat edilmesi gerekmektedir.

Çalışma alanında yeraltı su kuyularının hidrokimyasal özelliklerini ifade eden K^+ , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{2-} değerlerinde ve sulama suyu kalite indekslerinden PI, MR değerlerinde sulama suyunda kullanılması uygun görülmeyen su numuneleri mevcuttur. K^+ için 2 mg/l den büyük yeraltı su kuyusu 23 adettir. Mg^{+2} için ise 60

mg/l'den büyük yeraltı su kuyu sayısı 12 tanedir. PI değerini incelediğimizde 3162 hektarlık alanda 25 ile 48.17 arasında değişiklik göstermektedir. Buda tüm çalışma alanının %93'ü olup sulama suyu kalitesi bakımından “şüpheli” sınıfındadır.

Alanın yeraltı suyu kalitesinin sulama açısından genelde çok büyük problemler oluşturacak seviyelerde olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte kıyı bölgesi olması nedeniyle bu bölgelerde yeraltı suyunun kontrollü şekilde kullanılması gerektiği aksi taktirde deniz suyu girişimi olma potansiyelinin yüksek olması nedeniyle sorunların oluşabileceği önerilmiştir.



KAYNAKÇA

- Anonim, 2022. https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/467/Sayfa/1497/1861/DosyaGaleri/su_kaynaklarinin_gelistirilmesi_grubu_calisma_belgesi.pdf (Erişim Tarihi: 02.03.2022)
- Anonim, 2022. <https://www.gidahatti.com/haber/11537567/mersin-tarim-urunleri-neler-mersinde-hangi-urunler-yetisir> (Erişim Tarihi: 02.03.2022)
- Anonim, 2022a. <https://mersin.tarimorman.gov.tr/Menu/21/Tarimsal-Veri-Haritasi> (Erişim Tarihi: 22.12.2022)
- Anonim, 2022b. https://www.cka.org.tr/uploads/document_center_v/5dc41c70eb56f-mersin-potansiyel-yatirim-konulari.pdf (Erişim Tarihi: 22.12.2022)
- Anonim, 2022c. Aydıncık İklimi, Aylık Hava Durumu, Ortalama Sıcaklığı (Türkiye) - Weather Spark (Erişim Tarihi: 01.03.2023)
- Al-Hmani, A., Jamaa, N.B., Kharroubi, A., Agoubi, B., (2022). Assessment of groundwater in Sana'a Basin aquifers, Yemen, using hydrogeochemical modeling and multivariate statistical analysis. Arab J Geosci. 15, 684. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09979-3>.
- Aragaw, T.T. and Gnanachandrasamy, G. (2021). Evaluation of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using GIS-based waterquality index in urban area of Abaya-Chemosub-basin of Great RiftValley, Ethiopia, *AppliedWaterScienceSpringer*, 11, 148-168.
- Arslan, H., ve Ayyıldız Turan, N. (2015). Estimation of spatial distribution of heavy metalsin groundwater using interpolation methods and multivariate statistical techniques; its suitability for drinking and irrigation purposes in the Middle Black Sea Region of Turkey. *Environ mental monitoring and assessment*, 187(8), 1-13.
- Arslan, H., ve Demir, Y. (2011). Bafra Ovasında Deniz Suyu Girişimi Yeraltı Suyu Kalitesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(2), 136-144.
- Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1985) Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper 29 (rev.1). FAO, Rome, Italy.
- Canlı, Ş. (2014). *Menemen Ovasında Tarımsal Su Gereksinimi ve Sulama Sularının Bitki, Toprak ve Sulama Sistemleri Açısından Olası Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.
- Cemek, B., Güler, M., ve Arslan, H. (2006). Bafra ovası sağ sahil sulama alanındaki tuzluluk dağılımının coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 63-72.
- Delgado, C., Pacheco, J., Cabrea, A., Baltori, E., Orellana, R. & Baustista, F. (2010) Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment; the case of Yucatan, Mexico. *Agricultural Water Management*, 97(10), 1423–1433. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.04.006>
- Demir, D. R. (2013). *Silifke Ovası Seracılık İşletmelerinde, Su Kaynaklarının Kalite Yönünden İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Konya.

- Devic, G., Djordjevic, D., Sakan, S., (2014). Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in Serbia. *Science of the Total Environment* 468, 933-942. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.011>.
- Donnen, L.D. (1964) Notes on water quality in agriculture. Published as a water science and engineering paper, 4001, Department of water science and engineering, University of California. city, USA.
- Eaton, F.M. (1950) Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Science*, 69(2), 123–134. <https://doi.org/10.1097/00010694-195002000-00004>
- Elbeih, S. F. And Zeiny, A. M. (2019). GIS-Based Evaluation of Groundwater Quality and Suitability in Dakhla Oases, Egypt. *Earth Systems and Environment*, 3:507–523.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1994) Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper. Rome, Italy
- Gasmi, O., Louati, M., Chekirbane, A., Menchen, A., Twihri, A., Alday, J. J. G., Mlayah, A., (2022). Assessment of groundwater quality and pesticide distribution in Mornag aquifer using GIS-based technique (Northeast Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences* 15(11), 1042.
- Gaye, B. C. (2001). Isotope techniques for monitoring groundwater salinization, First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers-Monitoring, Modeling and Management. Essaouira, Morocco
- Gidey, A. (2018). Geospatial distribution modeling and determining suitability of groundwater quality for irrigation purpose using geospatial methods and water quality index (WQI) in Northern Ethiopia. *Applied Water Science, Cross Mark*, 8: 82.
- Honarbaksh, A., Azma, A., Nikseresht, F., Mousazadeh, M., Eftekhari, M., and Ostovari, Y. (2019). Hydro-chemical classes and GIS-mapping of groundwater quality parameters in semi-arid regions. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 509-522.
- Kamaraj, J., Sekar, S., Roy, P. D., Senapathi, V., Chung, S.Y., Peruma, M., and Nath, A. V. (2021). Groundwater pollution index (GPI) and GIS-based appraisal of groundwater quality for drinking and irrigation in coastal aquifers of Tiruchendur, South India, *Environmental Science and Pollution Research*, 28:29056-29074.
- Kamaraj, J., Sekar, S., Roy, P.D. Senapathi, V., Chung, S.S., Perumal, M., Nath, A.V., (2021). Groundwater pollution index (GPI) and GIS-based appraisal of groundwater quality for drinking and irrigation in coastal aquifers of Tiruchendur, South India. *Environ Sci Pollut Res* 28, 29056–2907. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12702-6>.
- Karadavut, S. (2009). *Aksaray Bölgesi Yerüstü ve Yeraltı Su Kaynaklarının Potansiyeli, Kalitesi ve Etkin Sulama Açısından Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Karakuş, B. ve Yıldız, S. (2020). Evaluation For Irrigation Water Purposes Of Groundwater Quality In The Vicinity Of Sivas City Centre (Turkey) By Using Gis And An Irrigation Water Quality Index. *Irrig. And Drain.* 69: 121–137.
- Kelly, W.P. (1940) Permissible composition and concentration of irrigated waters. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 66, 607–613.

- Khosravi, H., Karimi, K. And Mesbahzadeh, T. (2016) Investigation of spatial structure of groundwater quality using geostatistical approach in Mehran Plain, Iran. *Pollution*, 2, 57–65. <https://doi.org/10.7508/pj.2016.01.006>.
- Kim, Y., Lee, K. S., Koh, D. C., Lee, D., Lee, S., Park, W., Koh, G., Woo, N. (2003). Hydrogeochemical and isotopic evidence of groundwater salinization in a coastal aquifer: a case study in Jeju volcanic island, Korea. *J Hydrol* 270:282–294
- Kutlu, S. (2017). *Gri Suların Elde Edilme ve Kullanım Potansiyelinin Alanya İlçesi İçin Son Teknolojik Gelişmeler Açısından Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Samsun.
- Makki, Z., F., Zuhaira, A. A., Al-Jubouri, S. M., Al-Hamd, R. K. S., and Cunningham, L. S. (2021). GIS-based assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes in central Iraq. *Environ Monit Assess*, 193: 107.
- Mass, 1990. Crop Salt Tolerance. Agricultural Salinity Assessment and Management ASCE, New York. Pp 262-304.
- MESKİ (2014). Mersin Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü 2010–2014 Stratejik Planı. <https://www.meski.gov.tr/pages/MevzuatBelge.xhtml?mevzuatBelgeId=1> Erişim tarihi 1 Mayıs 2022.
- Okumuş, Ş. (2011). Konya-Ereğli İvriz Sağ Sahil Sulama Birliğine Ait Yeraltı Su Kaynaklarının Yeraltı su kaynağı Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Konya.
- Ölmez, M. ve Saraç, D. (2009). Su Ürünleri İçin pH'nın Önemi. Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, 353.
- Özer, Z. (2007). Berdan Ovası (Tarsus- Mersin-Mezitli) Çevresel Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) Oluşturulması ve Modellenmesi, Doktora Tezi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin.
- Piper, A.M., (1944) Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6), 914–928. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>.
- Rawat, K. S., Kumar Singh, S. (2018) Water Quality Indices and GIS base devaluation of a decadal groundwater quality, *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2:4, 240-255.
- Richards, L.A. (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, U. S. Department of Agriculture Handbook, 60 Washington USA. 160. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf.
- Rufino, F., Busico, G., Cuoco, E., Darrah, T. H., and Tedesco, D. (2019). Evaluating the suitability of urban groundwater resources for drinking water and irrigation purposes: an integrated approach in the Agro-Aversano area of Southern Italy. *Environ Monit Assess* (2019) 191: 768.
- Sınnmaz, B. (2007). *Evsel Nitelikli Atıksuların Ters Ozmoz Kullanılarak Geri Kazanımı*, Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.
- Sönmez, G. (2004). *Kayseri-İncesu-Dokuzpınar Su Kaynaklarının Kalitesi ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde.

- Szabolcs, I. & Darab, C. (1964) The influence of irrigation water of high sodium carbonate content on soils. In: Szabolcs, I. (Ed.) Proc 8th International Congress Soil Science Sodics Soils. Budapest, Hungary: Res Inst Soil Sci Agric Chem Hungarian Acad Sci, ISSS Trans II, pp. 802–812.
- Tokatlı, C., Çicek, A. and Köse, E. (2013) Groundwater Quality of Türkmen Mountain (Turkey). *Pol J Environ Stud*, 22(4), 1197
- US Salinity Laboratory Staff. (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, USA: US Department of Agriculture, Handbook No. 60, p. 160.
- Yapar, A. (2019). *Çorum İl Merkezi İçme ve Kullanma Suyu Kalitesi, Alternatif Kaynaklar ve Çözüm Önerileri*, Yüksek Lisans Tezi. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sivas.
- Yaprak, S., and Ersoy, A., (2011). Kriging yönteminin geoit modellemesinde kullanılabilirliğinin araştırılması. *İTÜ Dergisi/d* 7(3).
- Yavuz, V. S. (2017). Batman Ovası'nın Yeraltı Suyu Potansiyeli ve Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile Modellenmesi, Doktora Tezi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Diyarbakır.
- Zemunac, R., Savic, R., Blagojevic, B., Benka, P., Bezdan, A., and Salvai, A. (2021). Assessment of surface and groundwater quality for irrigation purposes in the Danube-Tisa-Danube hydrosystem area (Serbia), *Environ Monit Assess*, 193, 519.
- Wilcox, L.V. (1955) Classification and uses of irrigation waters. US Dept. Agric. Circular no. 969, Washington, DC., USA.
- Will E. and Faust J.E., (2005). Irrigation water quality for greenhouse production. Agricultural Extension Service, PB 1617, The University of Tennessee, USA.

ÖZ GEÇMİŞ

Demet SEZER, Samsun Tülay Başaran Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2019 yılında mezun oldu. 2023 yılında OMÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Yüksek Lisans programını bitirdi. Kişisel ilgi alanları matematik, lisanslı briç ve satranç oynamaktır.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000 – 0002 – 4429 – 4798

Yayınlar:

1. Sezer, D. ve Arslan, H. (2022). Proceedings of International Congress and Workshop on Agricultural Structures and Irrigation, 12-15 May, 2022, Diyarbakır, Türkiye.

