



**MUSTAFAKEMALPAŞA
ÇAYI'NIN SULAMA SUYU
KALİTESİNİN
BELİRLENMESİ
PINAR KORKMAZ**



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MUSTAFAKEMALPAŞA ÇAYI'NIN SULAMA SUYU KALİTESİNİN
BELİRLENMESİ**

Pınar KORKMAZ

502118004

Prof. Dr. Barış Bülent AŞIK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI
BURSA – 2025

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MUSTAFAKEMALPAŞA ÇAYI'NIN SULAMA SUYU KALİTESİNİN BELİRLENMESİ Pınar KORKMAZ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Barış Bülent AŞIK

Çalışma alanında tarım için gerekli olan sulama suyunun çoğunluğu Mustafakemalpaşa Çayı'ndan karşılanmaktadır. Çayın sulama suyu kalitesinin belirlenmesi sulama açısından önem taşınmaktadır. Tez çalışmasında; Mustafakemalpaşa Çayı'nın 6 farklı bölgesinden mevsimsel olarak alınan su örneklerinin sulama suyu kalite parametreleri değerlendirilmiş ve sulama suyu sınıfı belirlenmiştir. Su örneklerinde pH, EC, temel anyon ve katyon analizleri yapılmıştır. Su örneklerinin SAR, %Na, MAR, RSC, KR ve PI parametreleri hesaplama yolu ile bulunmuştur.

Mustafakemalpaşa Çayı'nın pH değerleri 7,78 ile 8,96 arasında, EC değerlerinin 458-953 $\mu\text{S cm}^{-1}$ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Su örneklerinin karbonat içerikleri 0-1,123 me L⁻¹, bikarbonat 4,580-12,17 me L⁻¹, klor 0,240-2,110 me L⁻¹ değerleri arasında belirlenmiştir. Magnezyum içeriklerinin 2,22-7,43 me L⁻¹, potasyumun 0,02 -0,48 me L⁻¹, sodyumun 0,01-1,05 me L⁻¹ ve kalsiyum miktarının ise 1,39-4,27 me L⁻¹ değerleri arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Suların örnekleme noktası ve zamana bağlı olarak bor içerikleri 0,07-23,80 mg L⁻¹ arasında, fosfor içerikleri ise 0-0,54 mg L⁻¹ arasında değişim göstermiştir.

Mustafakemalpaşa Çayı örnekleme noktası ve zamana bağlı olarak sulama suyu kalitesi açısından değerlendirildiğinde; SAR değerleri açısından 0,01-0,54 arasında, %Na değerlerinin 0,54-14,06 arasında belirlenmiştir. RSC değerleri açısından 1., 2. ve 3 sınıfta yer aldığı, MAR değeri açısından 48,10-83,09 mg L⁻¹, KR ve PI açısından ise “uygun” olduğu belirlenmiştir.

Ancak; Mustafakemalpaşa çayının örnekleme noktası ve zamana bağlı olarak özellikle B içeriği Kütahya-Emet kolunu temsilen alınan Bükköy ve Devecikonağı noktalarında ve özellikle sulamanın ve tarımın yoğun yapıldığı Melikköy ve Doğancı noktalarında da “4. sınıf” yani sulamaya uygun olmayan su kalitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle sulama amaçlı kullanılmaması önerilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER; Mustafakemalpaşa Çayı, Sulama suyu kalitesi, Anyonlar, Katyonlar, Bor

2025, viii + 50 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF IRRIGATION WATER QUALITY OF MUSTAFAKEMALPAŞA STREAM Pınar KORKMAZ

Bursa Uludag University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Barış Bülent AŞIK

Most of the irrigation water required for agriculture in the study area is supplied by the Mustafakemalpaşa Stream. Determining the irrigation water quality of the stream is important in terms of irrigation. Therefore, determining the irrigation water quality is important in terms of irrigation. In the study conducted; irrigation water quality parameters of water samples taken seasonally from 6 different regions of Mustafakemalpaşa Stream were evaluated and irrigation water class was determined. pH, EC, CO₃, HCO₃, Cl, P, Na, K, Ca, Mg, B and heavy metal analyses were performed in water samples. SAR, %Na, MAR, RSC, KR and PI parameters of water samples were found by calculation.

It was determined that pH values of Mustafakemalpaşa Stream varied between 7,78 and 8,96 and EC values varied between 458 and 953 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Carbonate contents of water samples were determined between 0 and 1,123 me L⁻¹, bicarbonate between 4,580 and 12,17 me L⁻¹, chloride between 0,240 and 2,110 me L⁻¹. Magnesium contents were determined between 2,22 and 7,43 me L⁻¹, potassium between 0,02 and 0,48 me L⁻¹, sodium between 0,01 and 1,05 me L⁻¹ and calcium amounts between 1,39 and 4,27 me L⁻¹. Depending on the sampling point and time, boron contents of the waters varied between 0.07 and 23,80 mg L⁻¹, and phosphorus contents varied between 0 and 0,54 mg L⁻¹.

When the Mustafakemalpaşa Stream was evaluated in terms of irrigation water quality depending on the sampling point and time; it was found that it was in the “1st class” range in terms of SAR values between 0,01-0,54, in %Na values between 0,54-14,06, in the 1st, 2nd and 3rd classes in terms of RSC values, “suitable-not suitable” in terms of MAR value between 48,10-83,09 mg L⁻¹, and “suitable” in terms of KR and PI.

Depending on the sampling point and time, the Mustafakemalpaşa stream has been determined to have a "class 4" water quality, i.e. not suitable for irrigation, especially at Bükköy and Devecikonağı points where the B content is taken as a representative of the Kütahya-Emet branch, and especially at Melikköy and Doğançı points where irrigation and agriculture are intensive.

KEY WORDS: Mustafakemalpaşa Stream, Irrigation water quality, Anions, Cations, Boron
2025, viii + 50 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmam Bursa Uludağ Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Yüksek Lisans Tezidir. “Mustafakemalpaşa Çayı’nın Sulama Suyu Kalitesinin Belirlenmesi” tezin konusunu oluşturmaktadır. Amaçlanan çalışmanın Mustafakemalpaşa Çayı’nın kirliliği göz önünde olup su örneklerinin analizleri Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle araştırma konumun belirlenmesinden araştırmanın son aşamasına kadar çalışmanın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen desteğini her zaman aldığım danışman hocam Prof. Dr. Barış Bülent AŞIK’ a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca laboratuvar imkanlarını kullanmama izin veren ve yüksek lisans yapmakta olduğum dönemde desteklerinden ötürü yüksek lisans yapmam için beni destekleyen Dr. Saliha DORAK hocama, arazi çalışmalarında bana destek olan Bursa Uludağ Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü yüksek lisans öğrencisi olan Alayça ÜNER’e, laboratuvar çalışmalarında bana destek ve yardım eden her zaman yanımda olan Zir. Yük. Müh. Ezgi ARSEVEN, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca bana çok güvenen, her koşulda yanımda olan, destekleriyle her zaman güç aldığım, emeklerinin karşılığını asla ödeyemeyeceğim annem ve babama sonsuz teşekkür ederim. Son olarak tüm kararlarımda ve fikirlerimde arkamda olan her koşulda desteğini esirgemeyen canım eşim Semih Han KORKMAZ’a ve ailemin son üyesi olan tez yazarken biraz zorlayan ama yanımdayken bana güç veren canım oğlum Mete Han KORKMAZ’a teşekkürlerimi sunarım.

Pınar KORKMAZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1.GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı.....	5
2.2. Sulama Suyu Kalitesi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	6
3.MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Araştırma Alanının Tanımı ve Örnekleme Noktaları	14
3.2. Yöntem	15
3.2.1. Su Örneklerinin alınması ve analiz yöntemleri	15
3.2.2. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	17
4.BULGULAR VE TARTIŞMA	19
4.1. Reaksiyon (pH).....	19
4.2. Elektriksel İletkenlik (EC).....	20
4.3. Karbonat (CO ₃).....	22
4.4. Bikarbonat (HCO ₃).....	22
4.5. Klorür (Cl).....	23
4.6. Magnezyum (Mg).....	25
4.8. Sodyum (Na)	26
4.9. Kalsiyum (Ca)	27
4.10. Bor (B).....	28
4.11. Fosfor (P).....	31
4.12. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR).....	31
4.13. Yüzde sodyum (%Na)	33
4.14. Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC).....	35
4.15. Magnezyum Oranı (MAR)	36
4.16. Kelley Oranı (KR).....	38
4.17. Permeabilite İndeksi (PI%).....	39
5.SONUÇ	40
6. KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
°C	Santigrat
μS	Mikro Siemens
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
As	Arsenik
B	Bor
Ca	Kalsiyum
Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	Kolemanit
Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .7H ₂ O	Meyerhofforit
CaCl ₂	Kalsiyum klorür
CaCO ₃	Kalsit
CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	Hidro borasit
CaNO ₃	Kalsiyum nitrat
CaO	Kalsiyum oksit
Cd	Kadmiyum
Cl	Klor
Cm	Santimetre
CO ₃	Karbonat
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
FeO	Demir (II) oksit
Fe ₂ O ₃	Demir (III) oksit
Ha	Hektar
HCO ₃	Bikarbonat
K	Potasyum
Km	Kilometre
km ³	Kilometreküp
K ₂ O	Potasyum oksit
L	Litre
M	Metre
m ³	Metreküp
Me	Miliekivalan
Mg	Miligram
Mg	Magnezyum
MgB ₇ O ₁₃ Cl	Borasit
Mn	Mangan
MnO	Mangan oksit
MgO	Magnezyum oksit
Na	Sodyum
NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	Üleksit
Na ₂ CO ₃	Sodyum karbonat
NaCl	Sodyum klorür
NaHCO ₃	Sodyum bikarbonat
Na ₂ O	Sodyum oksit
NH ₄ -N	Amonyum Azotu
P	Fosfor

Pb	Kurşun
Sb	Antimon
SiO ₂	Silisyum dioksit
Sr	Stronsiyum
SrB ₆ O ₁₀ .4H ₂ O	Tunellit
SO ₄	Sülfat
TiO ₂	Titanyum dioksit
Zn	Çinko

Kısaltmalar

% Na

AB

ABD

AKM

BUSKİ

DSİ

EC

ESP

KR

MAR

PI

RSC

SAR

SKKY

YSKY

WHO

Açıklama

Yüzde Sodyum

Avrupa Birliği

Amerika Birleşik Devletleri

Askıda Katı Madde

Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi

Devlet Su İşleri

Elektriksel İletkenlik

Değişken Sodyum Karbonat

Kelley Oranı

Magnezyum Oranı

Permeabilite İndeksi

Sodyum Karbonat Kalıntısı

Sodyum Adsorpsiyon Oranı

Sulama Suyunun Sınıflandırılması Yönetmeliği

Yer Üstü Su Kalitesi Yönetmeliği

Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye 2023 Yılı Sulama Alanları Dağılımı	3
Şekil 2.1. Çalışma Alanları ile Emet ve Orhaneli Çayının Akış Havzaları	5
Şekil 3.1. Mustafakemalpaşa Çayı ve Örnekleme Noktaları	15



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Örnekleme noktalarının konum bilgileri	16
Çizelge 3.2. Su örneklerinde yapılan analizler	16
Çizelge 3.3. Sulama suyu kalitesi sınır değerleri	17
Çizelge 3.4. Sulama suyu kalite kriterleri	18
Çizelge 4.1. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak pH içeriklerine göre sulama suyu sınıfları	19
Çizelge 4.2. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak elektriksel iletkenlik (EC) içeriklerine göre sulama suyu sınıfları	21
Çizelge 4.3. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak karbonat (CO_3) içerikleri	22
Çizelge 4.4. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak bikarbonat (HCO_3) içerikleri	23
Çizelge 4.5. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak klorür (Cl) içeriklerine göre sulama suyu sınıfları	24
Çizelge 4.6. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak magnezyum (Mg) içerikleri	25
Çizelge 4.7. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak Potasyum (K) içerikleri	26
Çizelge 4.8. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak Sodyum (Na) içerikleri	27
Çizelge 4.9. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak kalsiyum (Ca) içerikleri	27
Çizelge 4.10. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak bor (B) içeriklerine göre sulama suyu sınıfları	28
Çizelge 4.11. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak fosfor (P) içerikleri	31
Çizelge 4.12. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak sodyum adsorpsiyon oranı içeriklerine göre sulama suyu sınıfları	32
Çizelge 4.13. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak yüzde sodyum içeriklerine göre sulama suyu sınıfları	33
Çizelge 4.14. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak kalıntı sodyum karbonat içeriklerine göre sulama suyu sınıfları	35
Çizelge 4.15. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak magnezyum oranı içeriklerine göre uygunlukları	37
Çizelge 4.16. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak Kelley Oranı içeriklerine göre uygunlukları	38
Çizelge 4.17. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak permeabilite indeksi içeriklerine göre uygunlukları	39

1.GİRİŞ

Su, tüm canlıların yaşamını sürdürebilmesi için hayati bir unsurdur. İnsanlar, tarih boyunca yerleşik hayata geçişi teşvik etme eğiliminde olmuşlardır. Yerleşim yerlerini su kaynaklarına yakın konumlarda seçmeleri ve burada medeniyetler inşa etmeleri, suyun insan hayatındaki önemini ortaya koymaktadır (Gürsaka1, 2007).

Yeryüzündeki su kaynaklarının yaklaşık %99,4'ü ($1,4 \times 10^9 \text{ km}^3$) yerüstü suyu, %0,6'sı ise yeraltı suyudur. Yerüstü su kaynaklarının %97'si tuzlu deniz suyu olup, tatlı yerüstü suyu toplam su kaynaklarının yalnızca %2 'sini oluşturmaktadır. Tatlı su kaynaklarının %78'i yerüstünde, %22'si ise yeraltındadır. Ancak yerüstü su kaynaklarının büyük bir kısmı, toplam tatlı su kaynaklarının %77'si, kutuplar ve diğer bölgelerde buz halinde bulunmaktadır. Bu nedenle sulama, içme ve endüstriyel amaçlarla ihtiyaç duyulan suyun yalnızca %0,3'ü göllerde, %0,003'ü ise akarsularda mevcuttur. Buna karşın, %22 ($9 \times 10^6 \text{ km}^3$) gibi önemli bir oran yeraltı suyu olarak kullanılabilir durumdadır (Bear ve Cheng, 1999).

Dünya nüfusunun hızla artması, kentleşme, sanayileşme, tarımsal faaliyetler, turizm ve teknolojik gelişmelerin sürekli olarak artması, kullanılabilir su kaynaklarının hem miktarını hem de kalitesini her geçen gün azaltmaktadır. Su kaynaklarının varlığı, yaşam standartları, toplumların alışkanlıkları, ekonomik koşullar, iklim, eğitim seviyesi gibi birçok faktör bireylerin günlük su ihtiyaçlarının farklılık göstermesine yol açmaktadır. Özellikle sanayi devriminden sonra kentleşme ve endüstriyel gelişmeler ile tarımsal faaliyetler, suya olan talebi artırmış; mevcut temiz su kaynakları ise bu faaliyetler nedeniyle kirlenerek kullanılamaz hale gelmiştir. Son yüzyılda içme ve kullanma suyuna olan talep yaklaşık on kat artmıştır. 2025 yılı itibarıyla su tüketiminin tarımda %17, sanayide %20 ve evsel tüketimde %70 oranında artacağı öngörülmektedir. Dünya genelinde yaklaşık 1,5 milyar insan temiz içme suyuna erişimden yoksun, 2,3 milyar kişi sağlıklı su bulmakta zorluk çekmekte ve her yıl 7 milyon insan su kaynaklı hastalıklardan hayatını kaybetmektedir. Türkiye açısından bakıldığında, ülkemizin su zengini olmadığı ve kişi başına düşen yıllık 1730 m^3 su miktarının kirlilik ve nüfus artışı ile birlikte azaldığı ifade edilmektedir.

Türkiye'de toplam su kaynaklarının %75'i sulama amacıyla kullanılmaktadır. Avrupa Birliği'nde ise bu oran %33'tür ve Güney Avrupa'da %75'e kadar çıkmaktadır. Orta ve Batı Avrupa'da ise suyun büyük bir kısmı (%57) enerji üretimi için soğutma amacıyla ve şehirlerde

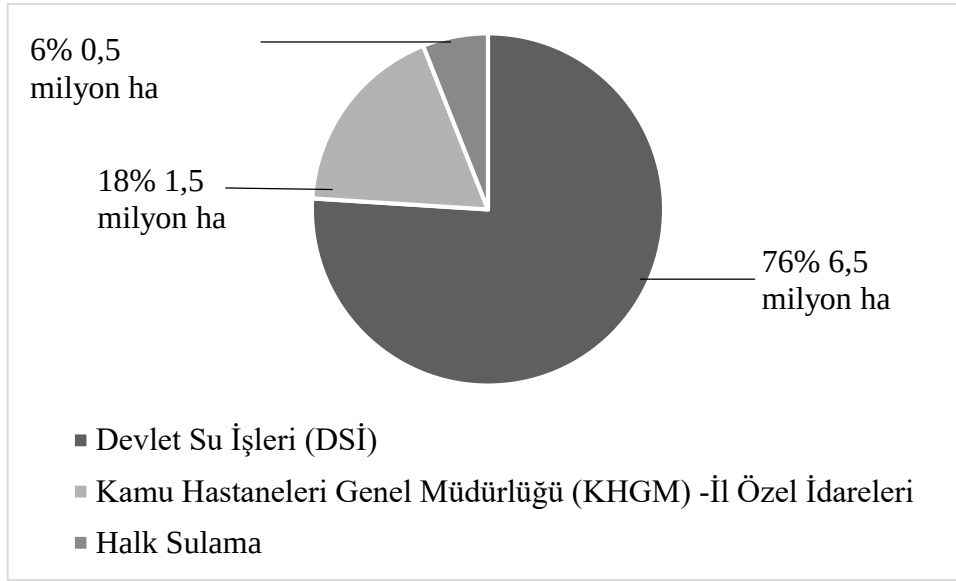
içme suyu olarak değerlendirilmektedir. Türkiye'de olduğu gibi Avrupa Birliği'nde de sulamada kullanılan su miktarı, iklim, toprak yapısı, ürün türü, su kalitesi ve sulama tekniklerine bağlı olarak değişiklik göstermekte; ancak sulama teknolojilerinin yetersiz kullanımı nedeniyle birçok çevresel ve ekonomik sorun ortaya çıkmaktadır. Çeşitli kaynaklarda su potansiyelinin dağıtımındaki kullanım öncelikleri řu şekilde sıralanmıştır:

- 1) İçme ve kullanma ihtiyaı
- 2) Hayvanlar ve doğal hayatın devamı için gerekli su ihtiyaı.
- 3) Tarımsal sulama suyu ihtiyaı
- 4) Enerji ve sanayi suyu ihtiyaı
- 5) Ticaret, turizm, balıkçılık vb. su ihtiyaı

Dünyada su kullanımı, bir ülkenin gelişmişlik seviyesini gösteren önemli bir ölçüttür. Az gelişmiş ülkelerde tarımsal su kullanımı %70 civarındayken, gelişmiş ülkelerde tarım dışı su kullanım oranı %65'e ulaşmaktadır.

Su ve sulama, tarımsal üretim ve verimliliğin sağlanması en önemli unsurlardan biridir. Ayrıca, sulama ve bu konuyla ilgili sektörlerin gelişimi, ek istihdam olanakları yaratmaktadır. Üreticilerin sulama imknlarına sahip olması, gelir seviyelerinin artmasına yol açmakta ve bu durum, bilgi ve becerilerinin gelişmesiyle daha etkili gübre uygulamalarına geçiş yapmalarını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, sulama ve gübreleme imknlarının artması, ürün çeşitliliğinin de artmasına katkıda bulunmaktadır.

Türkiye'de 2023 yılına kadar sulamaya açılması hedeflenen tarım arazileri şekil 1.1'de gösterilmiştir. 8,5 milyon hektar (ha) sulanabilir alanın sulamaya kazandırılmasıyla, son yıllarda önemli bir sorun haline gelen köyden kente göçün engellenmesi de amaçlanmaktadır.



Şekil 1.1. Türkiye 2023 yılı sulama alanları dağılımı

Bursa ili 1 081 954 hektar tarım alanına sahiptir. Bu alanın 421 467 hektarı, iklim koşullarına b0ağlı olarak hemen her türlü tarım ürününün yetiştirilebildiği kültür arazisidir. Kültür arazisinin 240 543 hektarı sulanabilir durumdadır. Bu sulanabilir alanın 65 238 hektarı Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından, 22 548 hektarı Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından ve 48 119 hektarı ise üreticiler tarafından sulanmaktadır. Ancak toplamda yalnızca 135 905 hektar sulanabilmektedir (Anonim, 2014).

Mustafakemalpaşa Çayı, Bursa ilinin önemli akarsularından biridir. Mustafakemalpaşa ilçesinde, kanalizasyon atıkları, deri sanayicilerinin deşarjları, mezbaha atıkları ve peynir altı suyu atıkları gibi kirleticilerin varlığı, çayın su kalitesinin incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bu kadar belirgin kirletici unsurlara sahip bir çayın neden olduğu ve olabileceği olumsuz etkileri belirlemek için kirletici kaynaklara odaklanmak önemlidir. Kirleticilerin etkilerini en aza indirmek için yapılacak çalışmaların verilerle desteklenmesi çözüm olarak görülmektedir. Mustafakemalpaşa Çayı, Susurluk Havzası sınırları içinde, Orhaneli ve Emet Çaylarının birleşmesiyle meydana gelen ve Uluabat Gölü'nü besleyen en önemli su kaynaklarından biridir. Mustafakemalpaşa Çayı'nın bölge için önemli olmasının bir diğer nedeni, ovanın sulama suyu ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamasıdır. Ancak sulama sonrası oluşan drenaj sularının Uluabat Gölü'ne taşınması, gölde giderek artan bir kirlenme sorununa yol açmaktadır (Salihoğlu ve Karaer, 2004; Dalkıran ve ark., 2016). Geçmiş yıllarda Orhaneli ve Emet Çaylarında bor (B), arsenik (As), gümüş (Ag) kirliliği incelenmiş ve kirlilik kaynakları

tartışılmıştır (Arslan ve Çelik, 2015; Tokatlı ve ark., 2013; 2014; 2016). Ancak Emet ve Orhaneli çaylarının birleşmesiyle oluşan ve ülkemizin 14 RAMSAR alanından biri olan Uluabat Gölü'nü besleyen Mustafakemalpaşa Çayı'nın su kalitesi ve ağır metal içeriği ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır (Semiz, 2014; Omwene ve ark., 2019). Mustafakemalpaşa Çayı, Kemalpaşa Ovası'nın sulama suyu ihtiyacının önemli bir kısmını karşıladığı için bölgenin önemli bir su kaynağını temsil etmektedir. Bu nedenle, akarsuyun su kalitesinin belirlenmesi büyük bir önem taşımaktadır.

Yürütülen bu çalışmada; Marmara Bölgesi için önemli bir akarsu olan Mustafakemalpaşa Çayı'nın mevcut su kalitesinin 2023 yılı boyunca izlenmesi ve sulama suyu kalite parametrelerinin mevsimsel olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



Emet Havzası'nda bulunan borat minerallerinden dördü, günümüzde işletilmeyen ve Orhaneli Çayı kıyısında yer alan Kestelek maden yatağında bulunmaktadır. Bu dört borat minerali kolemanit, üleksit, propertit ve hidroborasittir. Kestelek cevher zonundaki trakiandezik tuf, bor ile birlikte stronsiyum (Sr), lityum (Li) ve arsenik (As) elementlerini de içermektedir (Helvacı ve Alonso, 2000). Kestelek'teki tuf ve tüflü kayaların analizinde SiO_2 (% 55,0), Al_2O_3 (% 16,9), CaO (% 4,9), Na_2O (% 3,57), MgO (% 3,23), K_2O (% 2,9), Fe_2O_3 (% 2,33), FeO (% 0,22), TiO_2 (% 0,54) ve MnO (% 0,02) bulgularına ulaşılmıştır (Helvacı ve ark., 1993). Bu maden yatağının işletildiği dönemlerde bor madenciliğinin Orhaneli Çayı'nın su kalitesi üzerinde önemli etkileri olduğu belirlenmiştir (Dalkıran, 2006; Semiz, 2014).

2.2. Sulama Suyu Kalitesi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Son yıllarda su kirliliğinin giderek artış göstermesi, ülkeleri bu konuda ciddi önlemler almaya zorlamıştır. Bu durum, birçok mevzuatın oluşturulmasına da yol açmıştır. Avrupa Birliği'nin su kaynaklarının korunması ve yönetimi ile ilgili mevzuatı, AB yasaları arasında önemli bir yere sahiptir. Yirmiyi aşkın direktif bulunmaktadır ve bunlar arasında en önemlisi 23 Ekim 2000 tarihli ve 2000/60/EC sayılı “Su Çerçeve Direktifi”dir. Bu direktif, Avrupa Birliği (AB) tarafından çıkarılan en kapsamlı su mevzuatıdır. Türkiye, AB Su Çerçeve Direktifi'ni kendi mevzuatıyla uyumlu hale getirme çabası içindedir. Ülkemizin 2025 yılında büyük su sorunları ve su kıtlığı yaşayan ülkeler arasında yer alacağı düşünüldüğünde, bu konu oldukça önem kazanmaktadır. Avrupa Birliği üyesi ülkeler gelişmiş ülke statüsünde olduklarından, su ve toprak kaynaklarının neredeyse %100'ünü karşılıklı anlaşmalarla geliştirmiş ve iyi bir duruma getirmişlerdir. Oysa ülkemizde su kaynaklarının geliştirilmesi sadece %40 seviyelerine ulaşabilmiştir. Bu nedenle, kalan %60'lık kısmın 2030 yılına kadar hedeflendiği gibi geliştirilmesi gerekmektedir. Direktifin amacı; ülkemizin su yönetimi konusundaki mevcut durumunu ve mevzuat maddelerini dikkate alarak, söz konusu direktifin ülkemizde uygulanabilirliğini değerlendirmektir. Bu değerlendirmelerle, ülkemizin su kaynaklarının kötüye gitmesini engelleyerek, daha iyi bir duruma getirilmesi en temel hedeftir.

Marmara Denizi'ne dökülen ve geçtiği yerlerden adını alan Mustafakemalpaşa Çayı, aynı zamanda Adranos Çayı veya Kocası olarak da bilinmektedir. Orhaneli ve Emet Çayları'nın Mustafakemalpaşa üzerinde birleşmesiyle oluşan bu çay, Uluabat Gölü'ne dökülmektedir. Orhaneli ve Emet Çayları'nın jeolojik yapısı ile bu çaylarda meydana gelen yükler, doğrudan

Mustafakemalpaşa Çayı'nı etkilemektedir. Bu alanların birbirini etkileyebileceği göz önünde bulundurularak, su kalitesi ve sulama suyu kalitesi ile ilgili bazı araştırmalar yapılmıştır. Aşağıda konu ile ilgili kimi çalışmalar sunulmuştur;

Ayyıldız (1983), sulama suyu kalitesi ve bor ile ilgili olarak bitkilerin beslenmesinde temel bir element olmasına rağmen, sulama sularındaki $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ üzerindeki konsantrasyonlar bazı bitkilere zarar verebileceğini ifade etmiştir. Bor konsantrasyonu $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ 'den fazla olan sulama suları ise tüm bitkiler için toksik etki göstereceğini ve toprak doygunluk çözeltisinde $0,7 \text{ mg L}^{-1}$ B konsantrasyonu güvenli bir sınır olarak kabul edildiğini bildirmiştir.

Tabaei ve Guitjens (1991), kalitesi düşük suların sulama amacıyla kullanılmasının, ilerleyen dönemlerde sorunlu sulardan kaynaklanan birçok problemin ortaya çıkmasını kaçınılmaz hale getirmekte olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılara göre sulama için uygun suyun belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan kriterler; yüzde sodyum, sodyum adsorpsiyon oranı ve kalıcı sodyum karbonat olarak sıralanabilir. Sulama suyunun sodyum zararı genellikle Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) ile değerlendirilmektedir. Sodyum adsorpsiyon oranı, suların sodyum zararını belirlemede etkili bir gösterge olmasına rağmen, düzeltilmiş sodyum adsorpsiyon oranının kullanılması önerilmektedir. Ayrıca bikarbonat (HCO_3) 'ın yüksek konsantrasyonlarda bulunması, sodyum zararını daha da artırmaktadır (Erözel, 1986).

Yurtsever ve Sönmez (1992), sulama sularının kalitesini belirlerken yalnızca suyun kimyasal analizlerinin yeterli olmadığını, aynı zamanda bu suların kullanılacağı çevresel koşulların da dikkate alınmasının önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Bir sulama suyunun kalitesinin, sulama için uygun olup olmadığını değerlendirirken; toprak özellikleri, iklim koşulları, uygulanacak sulama yöntemi, drenaj durumu, yer altı suyu seviyesi ve bitkinin tuza dayanıklılığı gibi unsurların göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Kalaycı ve Kahya (1998), "Susurluk Havzası Nehirlerinde Su Kalitesi Trendlerinin Belirlenmesi" başlıklı çalışmalarında, Susurluk Havzası nehirlerinin yüzey suyu kalite verilerine çeşitli istatistiksel testler uygulamışlardır. Sonuç olarak, debi ve sediment konsantrasyonunda bir azalma, su sıcaklığı, elektriksel iletkenlik, sodyum, potasyum, kalsiyum + magnezyum, bikarbonat (HCO_3) ve klor (Cl) konsantrasyonlarında ise bir artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Zengin ve ark. (2002), Konya kapalı havzasının su kalitesini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, yerüstü sularından May Barajı'nın yüksek pH değerine sahip olduğunu ve bu nedenle sulama açısından sakıncalı olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, araştırma alanındaki tüm yerüstü su kaynaklarının elektriksel iletkenlik (EC), bor (B) ve sodyum absorpsiyon oranı (SAR) açısından sulama için uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Yeraltı sularında ise yüksek EC değerleri nedeniyle Sazlıpınar ve Küçük aşlama sularının sakıncalı olduğunu, ayrıca Sazlıpınar suyunun analiz sonuçlarının diğer yeraltı sularına göre daha yüksek çıktığını vurgulamışlardır. Yerüstü sularının pH ve bor değerlerinin yeraltı sularından daha yüksek, elektriksel iletkenlik, toplam katyonlar ve anyonlar, SAR ve kalite sınıfının ise daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Karataş ve ark. (2005), İzmir ilinde meydana gelen evsel ve endüstriyel atık suların arıtıldıktan sonra denize deşarj edilmesi yerine Menemen Ovası'nda sulama suyu olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla, biyolojik arıtma işleminden geçirilen İzmir iline ait evsel ve endüstriyel atık sularının sulama için uygunluğu, bazı sulama suyu kalite parametreleri açısından Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği ve ilgili literatürler doğrultusunda incelenmişlerdir. Sonuç olarak, İzmir'de arıtılmış kentsel atık sularının toplam tuz, elektriksel iletkenlik (EC), askıda katı madde (AKM), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), değişebilir sodyum yüzdesi (DSY) ve klor (Cl) gibi parametreler bakımından birçok bitkinin tolerans sınırlarını aştığı ve bu nedenle mevcut durumda bu suların sulamada kullanılmasının mümkün olmadığı belirtilmiştir.

Anlıatamer (2007), Ankara Haymana Türkşerefli Göleti sulama sahası topraklarının tuzluluk açısından değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirdiği çalışmada, Şerefli Çayı'nın yan koluyla birleşen Babayakup Deresi'nin elektriksel iletkenlik seviyesinin yüksek olduğunu belirterek, bu seviyedeki suyun tarımda dikkatli bir şekilde kullanılmasının önemini vurgulamıştır. Bu bağlamda, bazı alanlardaki tuz artışlarının başlıca nedeninin çiftçilerin kendi imkânlarıyla bilinçsiz sulama yapmaları ve kullanılan yüzey sulama yöntemleri nedeniyle araziye fazla miktarda düşük kaliteli su verilmesi olduğunu ifade etmiştir.

Üstün ve ark. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada; Nilüfer Çayı'ndaki askıda katı madde (AKM), amonyum azotu (NH₄-N) ve değişken sodyum karbonat (ESP) parametrelerinin ulusal sulama suyu standartlarına uygun olmadığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, elektriksel iletkenlik (EC) ve sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) dikkate alındığında, Nilüfer Çayı'ndaki su numunelerinin büyük bir kısmı C₃S₂ kalite sınıfına girdiği belirlenmiştir. Ayrıca, Nilüfer

Çayı'nda analiz edilen ağır metaller arasında bakır (Cu) parametresi, su kalitesinin uzun süreli sulamada belirlenen sınır değerleri aştığını gösterilmiştir.

Üstün (2011) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, yoğun sanayileşme, kentleşme ve tarımsal faaliyetlerin bulunduğu Nilüfer Çayı'nda 2002 ve 2007 yılları arasında (2004 yılında çalışma yapılmamıştır) 8 metal kirleticinin (As (toplam), Cd, Cr (toplam), Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) içeriği incelenmiştir. Elde edilen veriler, ulusal ve uluslararası su kalite yönergeleri ile karşılaştırılmıştır. Ölçüm süresi boyunca kurulan atık su arıtma tesislerinin su kalitesine etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Nilüfer Çayı'nın su kalitesinin havza genelinde yıldan yıla kötüleştiği tespit edilmiştir. Yoğun atık su deşarjının, çayda atık su ağırlıklı bir akış oluşturduğu ve zamanla su kalitesinin kötüleştiği belirtilmiştir. Ulusal yüzeysel su kalite sınıflandırmasına göre, Nilüfer Çayı havzasının çıkış noktasında toplam krom (Cr) ve kurşun (Pb) seviyeleri açısından “çok kirlenmiş su” sınıfına girdiği açıklanmıştır. Nilüfer Çayı'ndaki ortalama metal konsantrasyonlarının genellikle uluslararası standartların üzerin de olduğu sonuç olarak, havzadaki insan faaliyetleri ile bağlantılı olarak Nilüfer Çayı'nda metal kirliliğinin tespit edildiği rapor edilmiştir.

Minareci ve Öztürk (2012) tarafından, gerçekleştirilen bir çalışmada Manisa'daki Sevişler Baraj Gölü, Demirköprü Baraj Gölü, Avşar Baraj Gölü ve Gölarmara Gölü'nden alınan su örneklerinde bor konsantrasyonlarını incelenmiş ve araştırmanın sonuçlarına göre, bor konsantrasyonunun 0,008-3,066 mg L⁻¹ arasında değiştiği ve sulama açısından riskli olarak tespit edilmiştir.

Semiz (2014), Susurluk Havzası'ndaki Emet, Orhaneli ve Mustafakemalpaşa Çayları'nın sulama sularını bor içeriklerini değerlendirdiği çalışmasında, Orhaneli Çayı'nda yapılan ölçümlerde bor içeriğini güvenli olarak değerlendirmiştir. Emet ve Mustafakemalpaşa Çayları'nın 2004 yılından sonra ortalama bor içeriklerinin arttığını bildirmiştir.

Seth ve ark. (2015), Bageshwar (Hindistan) Bölgesindeki yüzey suyunun sulama suyu kalitesini değerlendirmek amacıyla 23 su kalite parametresi kullanarak SAR, RSC ve % Na değerlerini hesaplamış ve Wilcox diyagramını oluşturmuşlardır. Araştırmacıların elde ettiği bulgular, suyun sulama açısından uygun olduğunu göstermiştir.

Sidhu ve ark. (2015) ile Guettaf ve ark. (2017) gerçekleştirdikleri çalışmalarda, yüzey suyu kalite parametrelerine dayanarak SAR, RSC, % Na, Permeabilite indeksi (PI) ve Kelley oranı (KR) gibi parametreleri hesaplayarak Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramlarını oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, elde ettikleri sonuçların tarımsal amaçlar için uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Demir ve ark. (2016), Murat Nehri su kalitesi parametrelerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğini ve su kalitesinde zamansal değişim eğilimlerin belirlenmesini amacıyla Murat Nehri üzerinde bulunan su kalitesi gözlem istasyonuna ait uzun yıllar (1986-2010) su kalite parametreleri kullanılarak yürüttükleri çalışmada 2177- Adivar Gözlem İstasyonu dışında genel olarak Murat Nehri su kalite sınıfı, elektriksel iletkenliği ve SAR değerlerini dikkate alan sınıflandırmaya göre C₂S₁ olarak belirlemişlerdir ve tarımda sulama suyu olarak sorunsuzca kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Benzer (2017) tarafından, Emet Çayının kirlilik durumu ile ilgili olarak yapılan çalışmada; su, sediment ve balık örneklerinde kimi analizler yapılmış ve su örneklerinde arsenik ve bor içeriklerinin 0,137-1,002 mg L⁻¹ ve 2,421-14,490 mg L⁻¹ arasında değişim gösterdiğini bildirilmiştir.

Demir ve Hepdeniz (2018), Isparta Ovası'nda yer altı sularının tarımsal sulama için uygunluğu değerlendirmişlerdir. Bu amaçla araştırmacılar Isparta Ovası'nda sulama amacıyla kullanılan 21 adet yer altı suyu kuyusundan örnek alınmışlardır. Sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesinde EC, TDS değerleri ve SAR, % Na, Sodyum Karbonat Kalıntısı (RSC), Magnezyum Oranı (MAR), Kelley Oranı (KR), Permeabilite İndeksi (PI), gibi kimyasal indeks hesaplamaları yapılmışlardır. Sulama suyu kriterlerine göre suların bir kısmı EC değerleri bakımından “izin verilebilir” sınıfına girdiğini, ABD Tuzluluk diyagramı sınıflandırmasında yüksek tuzluluk/düşük sodyum sınıfı olan C₃-S₁ grubunda olduğunu, diğer bir kısmı ise tuzluluk ve sodyum tehlikesi oluşturmadan tüm bitkiler için kullanılabilen, orta tuzlu C₂-S₁ grubu ve “iyi” sulama suları olarak sınıflandırmışlardır. Araştırmacıların yapmış oldukları çalışmadaki tüm su örneklerin, çalışma bölgesindeki suların, % Na ve SSP değerleri açısından baktıklarında “iyi” ile “mükemmel”, SAR değeri açısından incelediklerinde “mükemmel”, PI değerleri açısından baktıklarında “iyi” kalitede özelliğe sahip sulama suları olduğunu belirlemişlerdir. RSC, MAR, KR, PI değerleri göz önünde bulundurdıklarında ise çalışma alanındaki suların tümünün sulama amacıyla kullanımı uygun olduğunu bildirmişlerdir.

Koç ve Doğru (2018), Kızılırmak'ın, tarımsal sulama amaçlı kullanım özelliklerini Wilcox ve ABD tuzluluk diyagramlarına göre nehrin kimyasal özelliklerine etki faktörleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda bölgeden su, toprak ve kayaç örnekleri almışlardır. Araştırmacılar Kızılırmak suları kaynağında yumuşak ve içilebilir durumda iken Zara ilçesinde başlayarak özellikle de Hafik ilçesinden sonra Kayseri il sınırına kadar sulama suyu olarak kullanılması şüpheli uygun değil veya kullanılmaması uygun olmayan sular sınıfına girdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar Kızılırmak suyunun tuz içeriğinin artışından dolayı yaz aylarında sulama suyundan yararlanılamamasına gerektiğini tespit etmişlerdir.

Omwene ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen "Mustafakemalpaşa Çayı Su ve Sediment Kalitesinin İstatistik Teknikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi Analizleri Kullanılarak Değerlendirilmesi" adlı çalışmada, Mart, Temmuz ve Ekim 2017 tarihlerinde bölgeden su ve sediment örnekleri alınmıştır. Ayrıca, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilen hidrolojik ve su kalitesi verileri de kullanılmıştır. Su ve sediment kalitesinin belirlenmesinde çeşitli indeksler uygulanmış, veriler çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, bölgedeki başlıca kirleticilerin arsenik ve bor olduğunu, çözünmüş oksijen seviyelerinin genellikle kentsel yerleşim alanlarında Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen sınır değerlerinden daha düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sediment örneklerinde en fazla kirliliğe B, Cr, Ni, Zn ve As elementlerinin neden olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, giderek kötüleşen su kalitesinin iyileştirilmemesi durumunda hem insan sağlığını hem de su yaşamını olumsuz etkileyebileceği vurgulanmıştır.

Özer ve Köklü (2019), araştırmacılar çalışma kapsamında Aşağı Sakarya Nehrinin tarımsal amaçlı sulama suyu bakımından kalitesi belirlenmesini amaçlamışlardır. Aşağı Sakarya Nehri üzerinde Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen 3 adet istasyona ait su kalite verilerine ait farklı fiziko-kimyasal özellikler farklı sulama suyu standartları açısından değerlendirmişlerdir. Bu standartlar temelinde sulama suyu kalitesi, elektriksel iletkenlik (EC), ve toplam sertlik (TS) değerleri ile Schoeller Diyagramı, SAR, sodyum yüzdesi (%Na), magnezyum oranı (MAR), potansiyel tuzluluk (PS) ve Kelley indeksi (KR) gibi değerlendirme kriterleri kullanılarak yorumlamışlardır. Yapılan değerlendirme neticesinde, tüm istasyonlar için sulama suyu SAR açısından mükemmel, EC, % Na, MAR ve KR açısından iyi, uygun ve izin verilebilir olarak bildirmişlerdir. Araştırmacılar elde ettikleri bulguları ABD Tuzluluk Diyagramına göre yağışlı ve kurak dönem için ölçülen değerler orta tuzlu- az sodyumlu su ve yüksek tuzlu- az sodyumlu

su sınıfında olduğunu belirlemişlerdir. Bu tip sular da sulamaya uygun olarak sınıflandırmışlardır.

Çebi (2020), Tekirdağ ilinde sulama suyu temini amacıyla kullanılan 22 adet kuyudan örnekleme yapmıştır. pH, EC, TDS, Na, Ca, Mg, K, Cl, HCO_3 , B, $\text{NO}_3\text{-N}$, SAR ve RSC parametrelerini incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; on üç kuyu suyunun orta tuzlu, sekiz kuyu suyunun da yüksek tuzlu sular sınıfında olduğu, beş adet kuyu suyunda Na zararı, üç kuyu suyunda HCO_3^- zararı olduğu belirlenmiştir. Yedi adet kuyu suyunda RSC değerleri $2,5 \text{ me L}^{-1}$ 'i aşmış ve bu suların sulamada kullanılmasının uygun olmadığını bildirmiştir. Özel iyonlar açısından yapılan değerlendirme ise üç kuyuda Cl, iki kuyuda B ve bir kuyu suyunda belirlenen $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının bazı bitkilerde zarar oluşturabileceği tespit etmiştir. Tuzluluk ve SAR parametrelerine göre yapılan değerlendirme sonucunda ise kimi kaynakların sularının sulama amaçlı kullanılması sakıncalı, kimilerinin ise özel koşulların (uygun drenaj koşulları, uygun bitki seçimi, kaba bünyeli topraklarda) sağlanması ile kullanılabileceğini bildirmiştir.

Günümüzde su kaynaklarındaki kirlilik ve diğer çevresel baskıları belirlemek için istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır Dalkıran ve ark. (2020),. Tek ve iki değişkenli istatistiksel analizler, iki değişken arasındaki ilişkiyi açıklamakta etkili olsalar da, birçok kirleticinin bir arada bulunduğu su kaynaklarında hangi kirletici veya kirleticilerin baskı oluşturduğunu yeterince açıklayamamaktadır. Bununla birlikte, çok değişkenli istatistiksel analizler, birçok değişken arasındaki ilişkileri ve su kalitesi üzerindeki olası çevresel baskıları açıklama yeteneğine sahiptir. Bu nedenle, su kütleleri üzerindeki olası çevresel baskıları araştırmak için sıkça tercih edilmektedir (Shrestha ve Kazama, 2007; Varol ve ark., 2012; 2013; Köse ve ark., 2014; Tokatlı ve ark., 2014; Şimşek ve ark., 2017). Bu çok değişkenli analizlerden biri Açımlayıcı Faktör Analizidir. Faktör analizi, büyük veri setlerinin yorumlanması, su kalitesinin değerlendirilmesi ve değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi gibi çeşitli amaçlar için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve literatürde bu analizin uygulandığı birçok araştırma bulunmaktadır (Liu ve ark., 2003; Tokatlı ve ark., 2016).

Yılmaz ve ark. (2020), Konya-Sarayönü Gözlü Tarım İşletmesi'nin sulanan arazilerindeki su kaynaklarının sulama suyu kalite parametrelerini değerlendirmek amacıyla yürüttükleri çalışmada su örneklerinin pH değerlerin 6,08-7,45, EC değerlerinin ise 1071-1989 $\mu\text{mhos/cm}$ arasında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar su örneklerini US Salinity Lab sınıflandırma sistemine göre C_3S_1 (çok tuzlu) olarak sınıflandırılmışlardır. Çalışmada sulama

sularının yüksek tuzluluk seviyelerine rağmen, araştırma sahasındaki topraklarda bir tuzluluk sorununa rastlanmadığı ancak bu durumun gelecekte bir tuzluluk sorunu olmayacağı anlamına gelmediğini çünkü bölgenin sulama uygulamaları oldukça yeni olduğunu ve topraklarda tuz birikmesi için henüz yeterli zaman geçmediğini bildirmişlerdir. Gelecekteki olası tuzluluk sorunlarını önlemek için ilgili kültürel önlemler alınması ve çiftçilerin su kalitesi ve tuzluluk sorunları konusunda eğitilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Hasarcı (2021), sulama suyunun fiziksel özellikleri, sulama açısından suyun sıcaklığı ve taşıdığı askı maddeleri olarak değerlendirilmektedir. Her bitkinin sulama suyu sıcaklığına tepkisi farklıdır; bazı bitkiler bu konuda hassasken, bazıları ise pek etkilenmez. Genel olarak bitkiler, 15 ile 35°C arasında değişen sulama suyu sıcaklıklarında yetişebilse de, en uygun sulama suyu sıcaklığı 25°C 'dir. Yeraltı sularının sıcaklıkları genellikle yüzey sularına göre daha düşüktür, ancak borularla taşınırken bir miktar ısınarak optimum sıcaklık değerlerine ulaşabilir. Su sıcaklığının yüksek olması, oksijenin suda çözünürlüğünü azaltmaktadır (Demer, 2018). Sulama suyunun taşıdığı askı maddeleri, zamanla sulama kanalının tabanında birikerek suyun planlanan debide akışını engeller ve işletme ile bakım masraflarını artırır ve ayrıca yağmurlama ve damla sulama gibi basınçlı sulama sistemlerinde tıkanmalara yol açar (Kara, 2005).

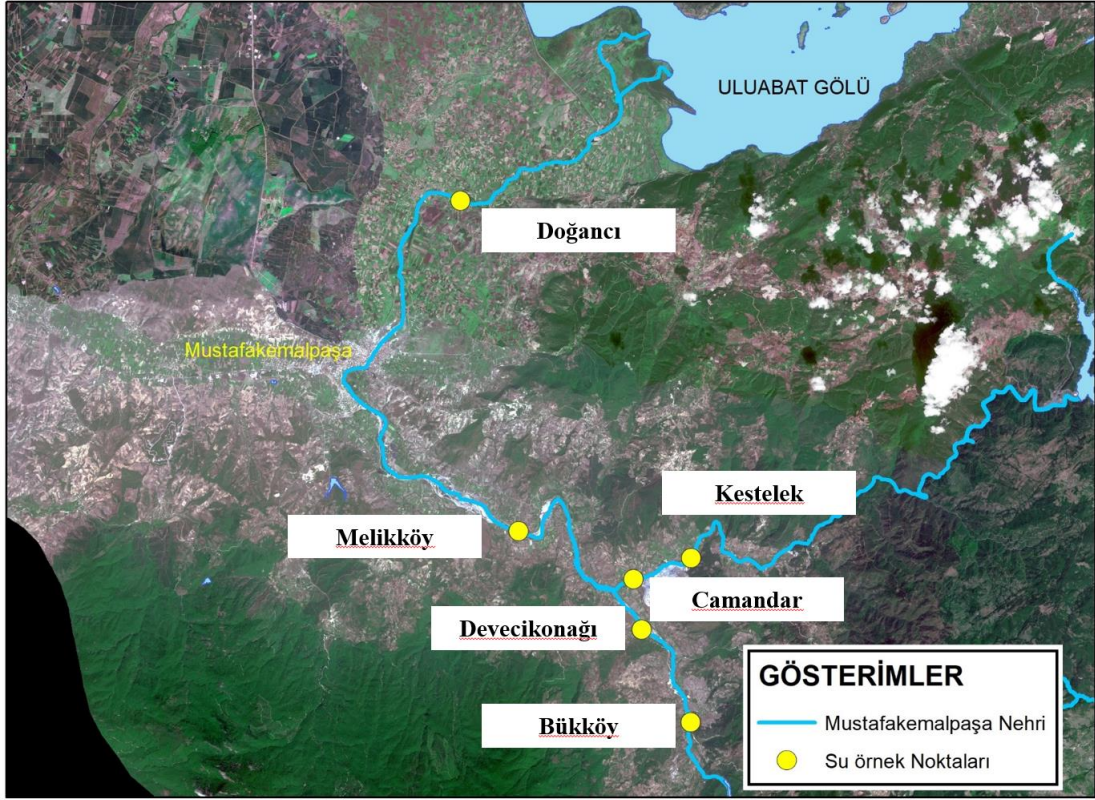
3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma Alanının Tanımı ve Örneklem Noktaları

Mustafakemalpaşa (Kirmasti) Çayı, Susurluk Havzası'nın bir alt havzası olan Uluabat Gölü Alt Havzası'nda yer alan ve gölü besleyen en önemli kaynaktır. Mustafakemalpaşa Çayı, Orhaneli ve Emet Çaylarının Mustafakemalpaşa ilçesi Camandar Köyü civarında birleşmesiyle oluşur ve yaklaşık 43 km sonra Uluabat Gölü'ne dökülür. Orhaneli Çayı, Kütahya ilinin Çavdarhisar Beldesi'nde Murat Dağı'nın kuzey yamaçlarından doğmakta ve yaklaşık 276 km akmaktadır. Emet Çayı ise Kütahya ilinin Gediz ilçesinde, Şaphane Dağı'nda 1100 m yükseklikte doğmakta ve yaklaşık 180 km akarak Orhaneli Çayı ile birleşmektedir (Anonim,1982). Her iki çayın büyük bir kısmı Kütahya ilinin sınırları içinden geçmekte, bu nedenle bu bölgelerdeki kirlilik, madencilik faaliyetleri ve havzanın jeolojik yapısı Mustafakemalpaşa Çayı'na önemli ölçüde yansımaktadır. Bu nedenle, bu iki çayda meydana gelen kirlilik doğrudan Mustafakemalpaşa Çayı'na ve ardından ülkemizin 14 RAMSAR alanından biri olan Uluabat Gölü'ne etki etmektedir. Mustafakemalpaşa Çayı'ndan alınan su, Mustafakemalpaşa Ovası'ndaki yaklaşık 165 000 dekar ekim alanının sulanmasında kullanılmaktadır. En çok sulanan ürünler arasında 48 867,39 dekar alanla mısır ve 22 889,39 dekar alanla sebze yer almaktadır (Anonim,2016).

Çalışma kapsamında alınan su örnekleri Mustafakemalpaşa Çayını oluşturan iki kolundan Emet Çayı (Bükköy, Devecikonağı), Orhaneli Çayı (Kestelek, Camandar) ve Mustafakemalpaşa Çayı'nın başlangıcı (Melikköy) ve sonundan (Doğan Köy) olmak üzere 6 bölgeden alınmıştır (Şekil 3.1). Su örnekleri sulama dönemi (ilkbahar ve yaz) ve diğer dönemlerde (sonbahar ve kış) alınmış ve analize hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.1. Mustafakemalpaşa Çayı ve Örnekleme Noktaları

3.2. Yöntem

3.2.1. Su Örneklerinin alınması ve analiz yöntemleri

Su örneklerinin alınmasında Mustafakemalpaşa Çayı'nın kirliliğinin belirlenmesi amaçlı olarak çayın oluşmasında rol oynayan Emet Çayı (Bükköy, Devecikonağı) ve Orhaneli Çayı'nın (Kestelek, Camandar) birleşmeden önceki noktalardan 4 adet örnekleme noktası seçilmiştir. Kolların birleşme sonrasında Mustafakemalpaşa Çayı'ndan başlangıç noktasından (Melik köy) ve Ulubat Gölü 'ne döküldüğü noktalardan (Doğancı) örnekleme yapılarak çayın sulama suyu kalitesini belirlemek amacıyla 6 noktadan su örnekleri alınmıştır. Örnekleme noktalarının konum bilgileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Örneklemeye noktalarının konum bilgileri

	Örneklemeye Noktalar
Orhaneli Çayı	Kestelek
Orhaneli Çayı	Camandar
Emet Çayı	Bükköy
Emet Çayı	Devecikonağı
Mustafakemalpaşa Çayı	Melikköy
Mustafakemalpaşa Çayı	Doğancı

Örneklemeye aşamasında öncelikle polifenilen eter (PPE) örnek kapları kullanılmıştır. Örneklemeye noktasında örnek kapları öncelikle örnek su ile çalkalanarak yıkanmıştır. 1 L hacim olacak şekilde şişeler tam olarak doldurulmuş ve hava alamayacak şekilde kapakları kapatılarak araç tipi buzdolabında örneklemeye süresince saklanmıştır. Örneklerin sıcaklığı, pH ve EC değerleri arazide örneklemeye esnasında belirlenmiştir. Alınan örnekler laboratuvar Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü araştırma laboratuvarına getirilmiştir. Örnekler filtre edilip buzdolabında saklanmış ve aşağıda belirtilen analizler yapılmıştır (Çizelge 3.2).

Alınan su örnekleri 10 Ağustos 2016 tarih ve 29797 sayılı Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği EK-5'te yer alan Kıta içi Yerüstü Su Kaynakları Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Parametreleri olarak belirlenen analizler yapılmıştır (Anonim, 2015). Su örneklerinde yapılacak analizler ve kullanılacak yöntemler aşağıdaki Çizelge 3.2'de açıklanmıştır.

Çizelge 3.2. Su örneklerinde yapılan analizler

PARAMETRELER	KULLANILAN METOD
pH	TS EN ISO 10523
Elektriksel İletkenlik	TS 9748 EN 27888
Sodyum, me L ⁻¹	TS EN ISO 14911
Potasyum, me L ⁻¹	TS EN ISO 14911
Kalsiyum, me L ⁻¹	TS EN ISO 14911
Magnezyum, me L ⁻¹	TS EN ISO 14911
Karbonat, me L ⁻¹	STMD 2320 B, TS EN ISO 10304-1
Bikarbonat, me L ⁻¹	STMD 2320 B, TS EN ISO 10304-1
Klor, me L ⁻¹	STMD 2320 B, TS EN ISO 10304-1
Demir, mg L ⁻¹	EPA 200.8 TS EN ISO 17294-1 ve TS EN ISO 17294-2
Mangan, mg L ⁻¹	EPA 200.8 TS EN ISO 17294-1 ve TS EN ISO 17294-2
Çinko, mg L ⁻¹	EPA 200.8 TS EN ISO 17294-1 ve TS EN ISO 17294-2
Bakır, mg L ⁻¹	EPA 200.8 TS EN ISO 17294-1 ve TS EN ISO 17294-2
Fosfor mg L ⁻¹	TS 7889
Bor, mg L ⁻¹	EPA 200.8 TS EN ISO 17294-1 ve TS EN ISO 17294-2

3.2.2. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Su örneklerinde Çizelge 3.2’de belirtilen analizler yapılmış ve Çizelge 3.3’de belirtilen “Sulama Suyu Kalitesi Sınır Değerleri” ile karşılaştırılmıştır (Anonim, 1991)

Çizelge 3.3. Sulama suyu kalitesi sınır değerleri

	I. sınıf su (çok iyi)	II. sınıf su (iyi)	III. sınıf su (kullanılabilir)	IV. sınıf su (ihtiyatla kullanılabilir)	V. sınıf su (zararlı uygun değil)
Sıcaklık (°C)	<30	30	35	40	>40
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6-9	<6 veya >9
EC $\mu\text{S cm}^{-1}$	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	>3000
SAR	<10	10-18	18-26	>26	-
RSC, me L ⁻¹	<1,25	1,25-2,50	>2,50	-	-
Klorür (Cl), me L	0-4	4-7	7-12	12-20	>20
Bor (B), mg L ⁻¹	0-0,5	0,5-1,12	1,12-2,0	>2,0	-

Elde edilen analiz sonuçlarından yararlanılarak sodyum absorpsiyon oranı (SAR), sodyum karbonat kalıntısı (RSC), yüzde sodyum (%Na), magnezyum oranı (MAR), Kelley oranı (KR), permeabilite indeksi (PI) değerleri hesaplama yolu ile belirlenmiştir ve bahsi geçen parametreleri değerlendirmek için kullanılacak sulama suyu kriterleri (Çizelge 3.4’de) sunulmuştur.

1. Yüzde sodyum (%Na) = $(\text{Na} + \text{K}) * 100 / (\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg})$
2. Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) = $\text{Na} / ((\text{Ca} + \text{Mg}) / 2) - 0.5$
3. Kalıntı sodyum karbonat (RSC) = $(\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$
4. Magnezyum oranı (MAR) = $\text{Mg} \times 100 / (\text{Ca} + \text{Mg})$
5. Kelley oranı (KR) = $\text{Na} / (\text{Ca} + \text{Mg})$
6. Permeabilite indeksi (PI%) = $(\text{Na} + \text{HCO}_3 - 0.5) \times 100 / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na})$

Çizelge 3.4. Sulama suyu kalite kriterleri

PARAMETRELER	SINIR DEĞERLER	SINIFLAR
EC, elektriksel iletkenlik, $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Richards, 1954)	<250	Düşük
	250-750	Orta
	750-2250	Yüksek
	>2250	Çok Yüksek
SAR (Ayers ve Westcot, 1985)	0-10	Çok iyi
	10-18	İyi
	18-26	İhtiyatlı kullanabilir
	>26	Kullanılamaz
%Na, (Wilcox, 1955)	<20	Mükemmel
	20-40	İyi
	40-60	İzin verilebilir
	60-80	Şüpheli
	>80	Uygun değil
RSC (Eaton, 1950; Wilcox, 1955)	<1,25	Güvenli
	1,25-2,5	Orta
	>2,5	Uygun değil
MAR (Paliwal, 1972)	<50	Uygun
	>50	Uygun değil
KR (Kelley, 1963)	<1	Uygun
	>1	Uygun değil
PI (Doneen, 1964)	<25	Uygun
	25-75	İyi
	>75	Uygun değil

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Reaksiyon (pH)

Çalışması kapsamında Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde arazide pH ölçümü yapılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Su örneklerin pH sonuçları “Sulama Sularının Sınıflandırılması Esas Alınan Kalite Kriterleri” ne göre değerlendirilmiştir (Anonim, 1991).

Çizelge 4.1. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel pH değerlerine göre sulama suyu sınıfları

Sulama Suyu Sınıfı	Örneklem Noktaları	Örneklem Dönemleri			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
I. Sınıf	-	-	-	-	-
II. Sınıf	-	-	-	-	-
III. Sınıf	Doğancı	7,95	7,78	8,43	8,49
	Bükköy	8,73	8,88	8,74	8,68
	Devecikonağı	8,76	8,86	8,88	8,34
	Kestelek	8,90	8,84	8,86	8,75
	Camandar	8,91	8,96	8,81	8,71
IV. Sınıf	Melikköy	8,73	8,62	8,71	8,55

Su örneklerinin pH değerlerinin 7,78 ile 8,96 arasında değişim göstermiştir. Alınan su örneklerinin mevsimsel olarak pH değerleri incelendiğinde sonbaharda döneminde 7,95-8,91, kış döneminde 7,78-8,96, ilkbaharda döneminde 8,43-8,88 ve yaz döneminde ise 8,34-8,75 arasında değişim göstermiştir. Sulama suyu kalitesi açısından bakıldığında ise III. Sınıf ve IV. Sınıf sulama suyu kalitesinde olduğu görülmüştür. Ayers ve Westcot (1989) tarafından bildirildiğine göre, sulama sularının pH değerlerinin 6,5-8,4 arasında olması sulama açısından herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Tüm dönemlerde alınan sulama suyu örneklerinin pH değerlerinin, Araştırmacıların belirlediği kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu ve olmadığı dönemlerin olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, tüm sulama suyu örneklerinin bu sınırlar içinde yer alması, pH açısından sulama suyu olarak kullanılmalarında bir sakınca olmadığını, üstünde olduğu dönemlerde ise sulamada kullanılması durumunda dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir. İncelenen sulama suyu örnekleri genel olarak, hem yerler hem de örneklem dönemleri açısından hafif alkalın ve alkalın özellikler göstermiştir. Bitki besin elementlerinden maksimum fayda sağlamak için gübreleme sırasında fertigasyon değerlerinin asidik olması

önerilmektedir (Maltaş ve Kaplan, 2018). Bu bağlamda, sulama suyu pH değerlerinin yüksek olduğu alanlarda üretim yapılırken, asit kullanarak pH değerinin düşürülmesi, optimum bitki beslenmesi açısından uygulanabilir bir yöntem olarak değerlendirilebilir.

Karacaoğlu (2006), Emet Çayı Havzası 'nda gerçekleştirdiği çalışmada, havzanın doğal yapısında bol miktarda kireçtaşı bulunduğundan, akarsuyun sert su özellikleri taşıdığını ve bu nedenle pH değerinin genellikle alkali bir karakter sergilediğini belirtmiştir. Mustafakemalpaşa Çayı'nda yapılan ölçümlere göre, 2001-2002 döneminde yıllık ortalama pH değeri 8,32, 2016-2017 döneminde ise 8,35 olarak belirlenmiştir (Mestik, 2019). pH değerlerinin 8'e yakın veya 8'in üzerinde olması, Mustafakemalpaşa suyunun alkali özellikte olduğunu göstermektedir. Uluabat Gölü'nün su kalitesini belirlemeye yönelik yapılan bir çalışmada, Mustafakemalpaşa Çayı'nın göle döküldüğü örnekleme istasyonlarında ölçülen pH, alkalinite ve kimyasal oksijen ihtiyacı değerlerinin oldukça yüksek olduğu belirtilmiş ve ayrıca, Mustafakemalpaşa Çayı'na evsel ve endüstriyel atık su deşarjlarının yapıldığı da ifade edilmiştir (İleri ve ark.,2014). Tokatlı ve ark. (2016) ise, Emet Çayı'nda yaptıkları su kalitesi araştırmalarında havzanın tarımsal faaliyetler ve evsel atık baskısına maruz kaldığını tespit etmişlerdir.

4.2. Elektriksel İletkenlik (EC)

Çalışması kapsamında Mustafakemalpaşa Çayı'ndan alınan su örnekleri EC değerleri arazi koşullarında ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir. Su örneklerinden elde edilen değerler Sulama Sularının Sınıflandırılması Esas Alınan Kalite Kriterlerine göre değerlendirilmiştir (Anonim, 1991).

Alınan su örnekleri incelendiğinde EC değerlerinin $458-953 \mu\text{S cm}^{-1}$ arasında olduğu belirlenmiştir. Sulama suyu sınıflandırılmasına göre de II. Sınıf (orta tuzlu) ve III. Sınıf (yüksek tuzlu) sulama suyu kalitesinde olduğu görülmüştür. Su örnekleri mevsimsel olarak EC değerleri incelendiğinde sonbahar döneminde $674-947 \mu\text{S cm}^{-1}$, kış döneminde $713-953 \mu\text{S cm}^{-1}$, ilkbahar döneminde $458-519 \mu\text{S cm}^{-1}$ ve yaz döneminde $684-729 \mu\text{S cm}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Dönemler arasında sulama suyu kalite sınıflarında farklılık olduğu görülmektedir. Orta tuzlu suların; tuza orta duyarlı bitkilerde kullanılması, yüksek tuzlu sular ile sulamada ise yetiştirilecek bitkinin tuza dayanıklı olması ve drenaj koşullarının sağlanması gerekmektedir.

Çizelge 4.2. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine göre sulama suyu sınıfları

Sulama Suyu Sınıfları	Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemeleri ($\mu\text{S cm}^{-1}$)			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
I. Sınıf	-	-	-	-	-
	Bükköy	-	741	458	684
	Devecikonağı	-	739	472	697
	Kestelek	674	732	606	698
	Camandar	-	713	643	686
	Melikköy	704	-	504	706
II. Sınıf	Doğancı	-	-	519	729
	Bükköy	790	-	-	-
	Devecikonağı	775	-	-	-
	Camandar	867	-	-	-
	Melikköy	-	763	-	-
III. Sınıf	Doğancı	947	953	-	-
IV. Sınıf	-	-	-	-	-
V. Sınıf	-	-	-	-	-

Altın ve ark. (2019), çalışmalarında yağış fazla olmadığı için EC değerlerinin yüksek olduğu; yağışların artmasıyla birlikte EC değerlerinin genel olarak düştüğünü gözlemlemişlerdir. Mestik (2019), Mustafakemalpaşa Çayı'nda yapılan ölçümlere göre, yıllık ortalama elektriksel iletkenlik değeri 2001-2002 döneminde $620,11 \mu\text{S cm}^{-1}$, 2016-2017 döneminde ise $639,225 \mu\text{S cm}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. YSKY verilerine göre, bu iki dönemde de Mustafakemalpaşa Çayı'nın II. sınıf su kalite sınıfında olduğu gözlemlenmektedir (Anonim 2016). Ayrıca elektriksel iletkenlik değerindeki artış, çaya karışan atık suların etkisini düşündürmektedir.

Eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonu, ölçümü kolay olduğundan ve çözelti tuz konsantrasyonu ile doğrusal bir ilişki göstermesinden ötürü, elektriksel iletkenlik (EC) şeklinde yaygın biçimde ifade edilmektedir. Sulama suyu tuzluluğu toprak çözelti konsantrasyonunu etkiler ve artmasına neden olur. Bu artma miktarı toprak özelliklerine bağlı olarak 2 ila 10 kat arasında olabilmektedir. Sulama suyu tuzluluğu ne kadar yüksekse toprakta tuz konsantrasyonu o kadar daha fazla artış gösterebilmektedir. Bilindiği gibi tuzlar, toprak çözeltisi içerisinde osmotik basınca neden olduklarından bitkinin su kullanımı üzerine etki ederler. Yüksek osmotik basınç etkisinde bitki su kullanımı etkilenir ve azalır. Bu durumda bitkiler kuraklık etkisinde kalan bitkilerin gösterdikleri tepkileri gösterirler ve turgorlarını kaybetmeye, yapraklarının sararmasına, solmasına ve devam etmesi halinde bitkinin ölmesine neden olurlar. Bu nedenle sulama sularının içerdiği toplam tuzluluk miktarı bir sınıflandırma kriteri olarak göz önüne alınmaktadır (Ayers ve Westcot, 1989).

4.3. Karbonat (CO₃)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde belirlenen karbonat (CO₃ me L⁻¹) içeriklerine dair elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak karbonat (CO₃) içerikleri

Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemleri (me L ⁻¹)			
	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Bükköy	0	0	0	0,66
Devecikonağı	0	0	0	0,327
Kestelek	0	0	0,364	0,377
Camandar	0	0	0,439	1,213
Melikköy	0	0	0	0,037
Doğancı	0	0	0	0,163

Su örneklerinin karbonat içeriklerinin 0 1,123 me L⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. Alınan su örnekleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde, sonbahar ve kış döneminde karbonat tespit edilmemiştir. İlkbahar döneminde 0-0,439 me L⁻¹ ve yaz döneminde ise 0,037-1,213 me L⁻¹ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Sulama suyunun sodyum zararının tespit edilebilmesi için, toprakta CaCO₃ şeklinde bir çökeltme olup olmadığını bilmek son derece faydalıdır. Ancak mevcut bilgilere göre, sulama suyundaki karbonatların çökeltme derecesi oldukça değişkenlik göstermekte ve suyun bileşimi ile yıkama yüzdesine bağlı olarak değişmektedir. Bazı sular, toprak içerisinden geçerken çökeltme ile karbonatlarını kaybetmez; aksine, karbonat konsantrasyonları artış göstermektedir (Bower ve ark, 1965).

Sağlam (1977), sulama sularının alkalilik açısından değerlendirilmesinde iki farklı kriter belirlemiştir. Bu kriterlerden biri, artan Na₂CO₃ kullanımıyla ilgilidir. Normal sınırlar içinde ve hatta önemsiz miktarlarda Na₂CO₃ içeren sular bile, içeriklerine bağlı olarak belirli bir süre sonunda sorun yaratabileceği anlaşılmaktadır.

4.4. Bikarbonat (HCO₃)

Çalışma kapsamında alınan su örneklerinde bikarbonat (HCO₃) analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak bikarbonat (HCO_3) içerikleri

Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemleri (me L^{-1})			
	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Bükköy	8,52	5,92	4,58	5,009
Devecikonağı	8,53	5,81	4,596	5,238
Kestelek	8,42	7,83	6,795	5,875
Camandar	8,57	7,47	6,548	5,036
Melikköy	8,6	6,41	5,232	5,554
Doğancı	12,17	7,5	4,847	5,507

Su örneklerinin bikarbonat içeriklerinin 4,580-12,17 me L^{-1} arasında olduğu belirlenmiştir. Alınan su örnekleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde sonbahar döneminde bikarbonat 8,420-12,17 me L^{-1} , kış döneminde bikarbonat 5,810-7,830 me L^{-1} , ilkbahar döneminde 4,580-6,795 me L^{-1} ve yaz döneminde ise 5,009-5,875 me L^{-1} arasında değişim belirlenmiştir.

Sulama sularında bulunan karbonat ve bikarbonatlar, kalsiyum ve magnezyum katyonlarıyla birlikte bulunduklarında önemli hale gelirler. Buharlaşmaya bağlı olarak veya başka bir nedenle su içerisinde bu iyonların konsantrasyonunun artması, kalsiyum ile birlikte çökme eğilimlerini artırır. Magnezyum tuzları, kalsiyum tuzlarına göre daha fazla eriyebildiğinden daha az çöklerler. Bu çökme, toprağın değişim materyalindeki ve çözelti fazındaki sodyum oranını artırarak toprak alkaliliğini yükseltir. Karbonat ve bikarbonat ile aynı konsantrasyonda kalsiyum ve magnezyum içeren sulardaki bikarbonat iyonlarının alkalilik açısından sorun yaratmayacağı genel olarak kabul edilmektedir. Ancak sulama suyundaki CO_3 ve HCO_3 konsantrasyonu, iki değerli katyonlardan daha fazla olduğunda, toprakta Na_2CO_3 birikimi meydana gelebilir (Sağlam, 1977).

4.5. Klorür (Cl)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde klorür analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar ile sulama suyu sınıfları Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. Elde edilen değerler ‘‘Sulama Sularının Sınıflandırılması Esas Alınan Kalite Kriterlerine’’ göre sınıflandırılmıştır (Anonim 1991).

Çizelge 4.5. Su örneklerinin klorür noktasal ve mevsimsel olarak (Cl) içeriklerine göre sulama suyu sınıfları

Sulama Suyu Sınıfları	Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemleri (me L ⁻¹)			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
I. Sınıf	Bükköy	0,583	0,652	0,650	0,754
	Devecikonağı	0,530	0,576	0,615	0,879
	Kestelek	0,310	0,768	0,845	0,551
	Camandar	0,240	0,624	0,790	0,711
	Melikköy	0,430	0,816	0,725	0,806
	Doğancı	2,110	1,622	0,680	0,961
II. Sınıf	-	-	-	-	-
III. Sınıf	-	-	-	-	-
IV. Sınıf	-	-	-	-	-
V. Sınıf	-	-	-	-	-

Su örneklerinin klorür değerinin 0,240-2,110 me L⁻¹ arasında olduğu tespit edilmiştir. Sulama suyu sınıflandırılmasına göre de noktasal ve mevsimsel olarak I. Sınıf sulama suyu kalitesinde olduğu değerlendirilmiştir. Alınan su örnekleri mevsimsel olarak bakıldığında klorür içerikleri sonbahar döneminde 0,240-2,110 me L⁻¹, kış döneminde 0,576-1,622 me L⁻¹, ilkbahar döneminde 0,615-0,845 me L⁻¹ ve yaz döneminde 0,551-0,961 me L⁻¹ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Klor, sulama suyu içinde bulunan en önemli anyondur. Osmaniye ilçesinde sulama amacıyla kullanılan suyun klor içerikleri 0,27-5,21 me L⁻¹ arasında belirlenmiştir (Asri ve ark. 2013). Tokmak (1995), Finike Bölgesi'nde tarımsal üretimde kullanılan sulama sularının klor içeriklerin 0,15-1,40 me L⁻¹ arasında değiştiğini ve tüm örneklerin klor içerikleri açısından 1. sınıfa girdiğini belirlemiştir. Schofield (1935) tarafından sunulan EC, Cl ve SO₄ değerlerine dayanarak yapılan değerlendirmede, Mustafakemalpaşa Çayı'nın son 4 yıl boyunca tuzluluk, sodyum ve klor açısından kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu belirlenmiştir.

Christiansen ve ark. (1977) 'nın yaptığı değerlendirmeye göre, sulama sularında Cl⁻ en sorunlu anyondur. 5 me L⁻¹'in altındaki Cl konsantrasyonları, hassas bitkiler için sorun oluşturmazken, 5-10 me L⁻¹ arasındaki değerler orta hassas bitkiler için uygundur. 10 me L⁻¹'in üzerindeki konsantrasyonlar ise dayanıklı bitkilerin sulanmasında bir sakınca teşkil etmemektedir (Mass, 1990). Klor içeriği yüksek sulama sularının kullanımı durumunda, hassas bitkileri, yapraklarında Cl⁻ seviyeleri arttığında semptomlar ortaya çıkar (kuru ağırlık bazında % 0,3-

1,0). Ayers ve Westcot (1985), bitkiler üzerindeki Cl^- toksisitesinin ilk olarak yaprak uçlarında (klorür toksisitesi için çok yaygın bir semptomdur) ortaya çıktığını ve toksik etkinin şiddeti arttıkça yaprak ucundan kenarlara doğru ilerlediğini bildirmişlerdir. Aşırı nekroza genellikle erken yaprak düşüşü ve hatta toplam bitki yaprak dökümü görüldüğü bildirmişlerdir.

4.6. Magnezyum (Mg)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde magnezyum analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel magnezyum (Mg) içerikleri

Örneklemeye Noktaları	Örneklemeye Dönemleri (me L ⁻¹)			
	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Bükköy	4,8	4,87	2,35	4,42
Devecikonağı	4,83	4,98	2,22	4,25
Kestelek	4,15	7,43	6,84	5,36
Camandar	4,25	7,03	6,84	5,42
Melikköy	4,57	5,2	3,12	4,3
Doğancı	5,04	5,7	3,11	2,62

Alınan su örneklerini incelendiğinde magnezyum içeriklerinin 2,22-7,43 me L⁻¹ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Su örnekleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde; sonbahar döneminde magnezyum içerikleri 4,15-5,04 me L⁻¹, kış döneminde 4,87-7,43 me L⁻¹, ilkbahar döneminde 2,22-6,84 me L⁻¹ ve yaz döneminde ise 2,62-5,42 me L⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. Dalkıran ve ark. (2020) Mustafakemalpaşa Çayı'nda belirlenen iki örneklem noktasından Ekim 2016-Eylül 2017 tarihleri arasında aylık olarak alınan su örneklerinde Mg miktarının 16,08 ile 60,77 mg L⁻¹ arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Hasırcı (2021) yaptığı çalışmada sulamada kullanılmakta olan su kaynaklarından mevsimsel olarak alınan su örneklerinin Mg içeriklerinin Haziran ayında, 1,59-3,85 me L⁻¹ arasında, Eylül ayında ise Mg değerleri 1,94-4,89 me L⁻¹ arasında değiştiğini ve katyonlar arasında en büyük konsantrasyonun 2,87 me L⁻¹ ve 2,99 me L⁻¹ ile Mg iyonunun sahip olduğunu bildirmiştir.

4.7. Potasyum (K)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde potasyum analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak potasyum (K) içerikleri

Örneklem Noktaları	Örneklem Dönemleri (me L ⁻¹)			
	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Bükköy	0,42	0,11	0,06	0,1
Devecikonağı	0,35	0,11	0,03	0,11
Kestelek	0,18	0,04	0,02	0,07
Camandar	0,12	0,05	0,02	0,07
Melikköy	0,21	0,11	0,06	0,09
Doğancı	0,48	0,18	0,06	0,12

Alınan su örnekleri incelendiğinde, potasyum içeriklerinin 0,02 - 0,48 me L⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. Su örnekleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde; sonbahar döneminde potasyum içerikleri 0,12-0,48 me L⁻¹, kış döneminde 0,04-0,18 me L⁻¹, ilkbahar döneminde 0,02-0,06 me L⁻¹ ve yaz döneminde ise 0,07-0,12 me L⁻¹ arasında değişim gösterdi belirlenmiştir.

Hasırcı (2021), sulama amaçlı kullanılmakta olan su kaynaklarından mevsimsel olarak alınan su örneklerinin K içeriklerinin Haziran ayında 0,25-0,50 me L⁻¹ arasında değiştiği Eylül ayında alınan su örneklerinin ise K değerleri 0,24-0,57 me L⁻¹ arasında değişim gösterdiği ve su kaynaklarının ortalama verileri dikkate alındığında, katyonlar arasında K iyonunun en düşük konsantrasyona (ortalama 0,33 me L⁻¹ ve 0,34 me L⁻¹) sahip olduğunu belirlemiştir. Özer ve Köklü (2019) sulama suyu kaynaklarında yapmış oldukları çalışmada, sularda katyon içeriklerinin Ca> Mg> Na >K şeklinde sıralandığını bildirmişlerdir.

4.8. Sodyum (Na)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde sodyum analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Alınan su örneklerine bakıldığında sodyum içeriklerinin 0,01-1,05 me L⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. Su örnekleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde sonbahar döneminde sodyum içerikleri 0,04-0,15 me L⁻¹, kış döneminde 0,01-0,05 me L⁻¹, ilkbahar döneminde 0,11-0,30 me L⁻¹ ve yaz döneminde 0,50-1,05 me L⁻¹ arasında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.8. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak sodyum (Na) içerikleri

Örneklem Noktaları	Örneklem Dönemleri (me L ⁻¹)			
	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Bükköy	0,1	0,04	0,23	0,92
Devecikonağı	0,1	0,03	0,23	0,92
Kestelek	0,04	0,01	0,11	0,5
Camandar	0,04	0,02	0,21	0,64
Melikköy	0,06	0,03	0,25	0,73
Doğancı	0,15	0,05	0,3	1,05

Altın ve Sönmez (2019), sulama suyunun kalitesini etkileyen Na ve buna bağlı olarak alkalilik riskinin; Na iyonunun mutlak konsantrasyonu ile birlikte, Na 'nın diğer katyonların toplam konsantrasyonuna oranının yüksek olmasına bağlı olduğunu bildirmiştir (Sönmez ve Kaplan, 1996). Bu durumda, sulama suyundaki Na konsantrasyonu düşük olsa bile, Na'nın diğer katyonlara oranı yüksekse yine de Na'nın zarar verme potansiyeli bulunmaktadır. Yonca, arpa, karnabahar, pamuk, patates, susam, şeker pancarı, ayçiçeği ve domates üzerinde gerçekleştirilen bir başka araştırmada, tuzlu sulama sularıyla yapılan yağmurlama sulamalarının, sulama yoğunluğu ve tuzluluk seviyesine bağlı olarak yapraklarda Na adsorpsiyonunu artırarak zarar verebileceği gösterilmiştir (Maas ve ark. 1982).

4.9. Kalsiyum (Ca)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde kalsiyum analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak kalsiyum (Ca) içerikleri

Örneklem Noktaları	Örneklem Dönemleri (me L ⁻¹)			
	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Bükköy	2,63	3,43	2,48	2,62
Devecikonağı	2,55	3,49	2,42	2,52
Kestelek	2,71	2,24	1,39	2,22
Camandar	2,72	2,25	1,56	2,26
Melikköy	2,76	3,74	2,57	2,71
Doğancı	3,41	4,27	2,57	2,83

Su örneklerinin kalsiyum içeriklerine bakıldığında, 1,39-4,27 me L⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. Alınan su örnekleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde sonbahar döneminde kalsiyum içeriklerinin 2,55-3,41 me L⁻¹, kış döneminde 2,24-4,27 me L⁻¹, ilkbahar döneminde 1,39-2,57 me L⁻¹ ve yaz döneminde ise 2,22-2,83 me L⁻¹ arasında değişim göstermiştir.

Yüksek Ca konsantrasyonunun bitki gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri, bitki türüne göre farklılık göstermektedir. Ayrıca bazı Ca tuzlarının daha fazla toksik olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, Maseawa (1936), eklenen CaCl₂ tuzlarının toprağa NaCl tuzlarından daha toksik olduğunu göstermiştir. Wadleigh ve ark. (1951) ise meyve bahçelerinde toprak eriyiklerine eklenen Ca tuzlarının belirli özel etkiler yarattığını gözlemlemişlerdir. CaCl₂ ve CaNO₃ tuzlarının benzer etkiler oluşturması nedeniyle, bu etkilerin Cl varlığından çok Ca'nin varlığından kaynaklandığı belirtilmiştir. Çekirdekli meyveler üzerinde yapılan deneylerde, normal seviyedeki CaCl₂ tuzunun bile yapraklarda Cl birikimine yol açarak bitkiye zarar vermesi nedeniyle zararlı etkiler gösterdiği gözlemlenmiştir (Brown ve ark. 1953).

4.10. Bor (B)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde bor analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar ve sulama suyu sınıfları Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Su örneklerden elde edilen değerler "Sulama Sularının Sınıflandırılması Esas Alınan Kalite Kriterlerine" göre değerlendirilmiştir (Anonim, 1991).

Çizelge 4.10 Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel bor (B, mg L⁻¹) içeriklerine göre sulama suyu sınıfları

Sulama suyu sınıfları	Örnekleme Noktaları	Örnekleme Noktaları (mg L ⁻¹)			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
I. Sınıf	Kestelek	0,10	0,14	0,07	0,10
	Camandar	0,41	2,58	-	0,66
II. Sınıf	-	-	-	-	-
III. Sınıf	-	-	-	-	-
IV. Sınıf	Bükköy	23,8	12,48	4,62	8,77
	Devecikonağı	22,4	12,58	2,60	9,46
	Camandar	-	-	5,14	-
	Melikköy	10,2	11,44	5,33	5,72
	Doğancı	4,43	8,24	6,46	5,53

Alınan su örnekleri incelendiğinde bor içerikleri 0,07-23,80 mg L⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. Sulama suyu sınıflandırılmasına göre de I. Sınıf ve IV. Sınıf sulama suyu

kalitesinde olduğu görülmüştür. Alınan su örneklerine mevsimsel olarak bakıldığında; bor içerikleri sonbahar döneminde 0,10-23,8 mg L⁻¹, kış döneminde 0,14-12,58 mg L⁻¹, ilkbahar döneminde 0,07-6,46 mg L⁻¹ ve yaz döneminde 0,10-9,46 mg L⁻¹ arasında değişim göstermiştir.

Mestik (2019), Mustafakemalpaşa Çayında yaptığı çalışmada, yıllık ortalama B içerikleri 2001-2002 döneminde 0,76±0,74 mg L⁻¹; 2016-2017 döneminde ise 9,32±6,32 mg L⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bor yıllık ortalama değeri, 2001-2002 örnekleme döneminde YSKY tarafından belirlenen yıllık ortalama değerin üzerinde, ancak bu yönetmelikte izin verilen maksimum değerin altında tespit edilmiştir (Anonim 2016a). 2016-2017 örnekleme döneminde ölçülen yıllık ortalama bor konsantrasyonları ise YSKY tarafından belirlenen hem yıllık ortalama hem de maksimum değerin üzerinde bulunmuştur (Anonim 2016a).

Yapılmış araştırma sonuçları, özellikle son 15 yılda Emet Çayı'nda çok yüksek B konsantrasyonlarının gözlemlendiğini ortaya koymaktadır (Çöl ve Çöl, 2003; Semiz, 2014; Tokatlı ve ark., 2016; Benzer, 2017; Dalkıran ve ark. 2020). Omwene ve ark. (2019), havzadaki bor kirliliğinin ana kaynağının Emet Çayı olduğunu belirtmiş, Emet Çayı'nın üst havzasında B konsantrasyonunun 50 mg L⁻¹ 'nin üzerinde olduğunu ve bu konsantrasyonun üst havzadan alt havzaya doğru azaldığını tespit etmişlerdir. Bu durum, Emet Çayı aracılığıyla B kirliliğinin Mustafakemalpaşa Çayı 'na taşındığını göstermektedir. Dalkıran ve ark. (2019)'ının yapmış olduğu çalışmada; Mustafakemalpaşa Çayı'ndaki yıllık ortalama B konsantrasyonu 9,32 mg L⁻¹ olarak belirlenmiş ve 24 Ekim 2016'da Döllük örnekleme noktasında 20,86 mg L⁻¹ ile en yüksek değere ulaşmıştır; bu ayda Ayazköy noktasındaki konsantrasyon ise 19,93 mg L⁻¹ olmuştur. Mustafakemalpaşa Çayı, 2015 yılından bu yana BUSKİ tarafından yılda dört kez iki örnekleme noktasında izlenmektedir (BUSKİ, 2019). Bu verilere göre B konsantrasyonu 06.10.2016 tarihinde Emet ve Orhaneli çaylarının karışımından sonra 21,792 mg L⁻¹ olarak ölçülmüş, aynı tarihte Mustafakemalpaşa Çayı'nın Uluabat Gölü'ne döküldüğü noktada ise 17,927 mg L⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Yıllık ortalama B konsantrasyonu, "Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği" verilerine göre yüksek B konsantrasyonlarını tolere edebilen bitkiler (>4,0 mg L⁻¹) için yüksek bir değer olup, bu bitkilerde bile toksik etki oluşturabilecek seviyededir (AATTUT, 2010).

Semiz (2014), yaptığı çalışmaya göre 1995 yılında su örneklerinin alınmasına Ağustos ayında başlanmış olup, yıllık değerlendirme 1996 yılı için yapılacaksa, en düşük B içeriği Ocak ayında 1,10 mg L⁻¹, en yüksek değer ise Temmuz ayında 9,68 mg L⁻¹ olarak belirlenmiştir. Benzer

şekilde, 1997 yılı için en düşük B içeriği Aralık ayında $0,80 \text{ mg L}^{-1}$, en yüksek değer ise yine Temmuz ayında $12,30 \text{ mg L}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Emet Çayı için en düşük ve en yüksek bor içerikleri 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 ve 2003 yıllarında sırasıyla $0,23-7,25$, $0,65-7,91$, $0,45-7,74$, $4,23-15,00$, $1,95-7,49$ ve $0,14-9,16 \text{ mg L}^{-1}$ değerleri arasında değişim göstermiştir. Bor içeriği 2004 yılına kadar yaz aylarında (debinin en düşük olduğu dönemde) en yüksek, kış aylarında (debinin en yüksek olduğu dönemde) ise en düşük değerleri göstermiştir. Ancak 2004 yılından sonra bor içeriğinde "patlama" olarak nitelendirilebilecek önemli artışlar kaydedilmiştir. En düşük ve en yüksek B içerikleri 2004, 2005, 2006, 2007 ve 2008 yılları için sırasıyla $5,99-58,25$, $0,89-52,00$, $6,25-60,75$, $2,89-65,25$ ve $13,50-69,25 \text{ mg L}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 2004 yılına kadar ortalama bor içeriği $4,68 \text{ mg L}^{-1}$ iken, 2004'ten sonra bu değer $28,24 \text{ mg L}^{-1}$ 'e yükselmiştir. Sulama suyu açısından bu sonuçlara göre, Emet çayı verilerinin bulunduğu yıllar için sulama mevsiminde (Mart-Eylül) B içeriğinin yüksek olduğu söylenebilir. Ancak akarsuyun 2004'e kadar ve 2004'ten sonra değerlendirilmesi durumunda, 2004 yılından sonra yüksek B seviyelerinin kültür bitkileri için akarsu boyunca bulunan doğal bitki örtüsünün dayanım seviyesinin çok üzerinde olduğu belirtilebilir. 2004'ten önceki değerler incelendiğinde, özellikle sulama mevsiminde sulamaların en yoğun yapıldığı Temmuz-Ağustos aylarında bile bitkiler için B seviyesinin son derece yüksek olduğu görülmektedir. Mustafakemalpaşa Çayının B içeriği verileri 1984 ile 2008 yılları arasını kapsamaktadır. Mustafakemalpaşa Çayı, yukarıda belirtilen Emet Çayı ve Orhaneli Çayı'nın birleşimi sonucu oluşan bir akarsudur. Başka bir deyişle, bu iki akarsuyun karışımıyla meydana gelen bir yüzey suyudur. Mustafakemalpaşa Çayı, tıpkı Emet Çayı gibi, B içeriği açısından 2004 yılına kadar önemli bir artış göstermemiştir; ancak 2004 yılından sonra giderek artan bir seyir izlemiştir. Burada önemli olan nokta, 2004 yılına kadar Mustafakemalpaşa Çayının B içeriğinin sulama mevsiminde (Mart-Eylül) $0,90 \text{ mg L}^{-1}$ iken, 2004 yılından sonra $3,22 \text{ mg L}^{-1}$ 'e yükselmiş olmasıdır. Başka bir ifadeyle, Mustafakemalpaşa Çayı 2004 yılına kadar sulama suyu olarak B hassas ve çok hassas bitkiler için sakıncalı durumdayken, 2004 yılından sonra orta derecede dayanıklı ve dayanıklı bitkiler için kullanılabilir hale gelmiştir. Emet Çayı'ndan gelen yüksek B içeriğine sahip sular, Mustafakemalpaşa Çayı'nın B içeriğini artırmış ve kalitesini düşürmüştür.

4.11. Fosfor (P)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde fosfor analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak fosfor (P) içerikleri

Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemleri (mg L ⁻¹)			
	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Bükköy	0,1	-	0,05	0,03
Devecikonağı	0,09	-	0,04	0,03
Kestelek	0,16	0,01	0,01	0,08
Camandar	0,13	-	-	0,07
Melikköy	0,11	0,03	0,03	0,07
Doğancı	0,54	0,34	0,02	0,13

Alınan su örneklerinin fosfor içeriklerine bakıldığında; 0 - 0,54 mg L⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. Alınan su örnekleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde sonbahar döneminde fosfor içerikleri 0,09-0,54 mg L⁻¹, kış döneminde 0-0,34 mg L⁻¹, ilkbahar döneminde 0,01-0,05 mg L⁻¹ ve yaz döneminde ise 0,03-0,13 mg L⁻¹ arasında değişim göstermiştir.

Hacısalıhoğlu ve ark (2023),yapmış olduğu çalışmada Mustafakemalpaşa Çayı'ndaki Döllük ve Doğancı istasyonlarında toplam fosfor parametresinin ortalama konsantrasyonlarını sırasıyla 0,12 mg L⁻¹ ve 0,14 mg L⁻¹ olarak tespit etmiştir. Döllük istasyonunda maksimum toplam fosfor içeriği 0,21 mg L⁻¹, Doğancı istasyonunda ise 0,28 mg L⁻¹ olarak ölçülmüştür. Yönetmelik gereği su kalitesi sınıfı değerlendirildiğinde, her iki istasyonun da toplam fosfor parametresi açısından III. sınıf su kalitesine (ortalama > 0,2 mg L⁻¹) sahip olduğu belirtilmiştir.

4.12. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde SAR değeri ABD Tuzluluk Laboratuvarı Sulama Suları Sınıflandırması ‘na göre hesaplanarak elde edilmiştir (Ayers ve Westcot, 1985), elde edilen sonuçlar ve sulama suyu sınıfları Çizelge 4.12’ de gösterilmiştir. Alınan örneklerden elde edilen sonuçlar sulama sularının sınıflandırılması esas alınan kalite kriterlerine göre değerlendirme yapılmıştır (Anonim, 1991).

Çizelge 4.12. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak sodyum adsorpsiyon oranları ve sulama suyu sınıfları

Sulama Suyu Sınıfları	Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemleri			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
I. Sınıf	Bükköy	0,06	0,03	0,22	0,48
	Devecikonağı	0,05	0,02	0,22	0,48
	Kestelek	0,02	0,01	0,08	0,24
	Camandar	0,02	0,01	0,14	0,31
	Melikköy	0,03	0,02	0,21	0,38
	Doğancı	0,07	0,03	0,25	0,54
II. Sınıf	-	-	-	-	-
III. Sınıf	-	-	-	-	-
IV. Sınıf	-	-	-	-	-

Alınan su örnekleri incelendiğinde sodyum adsorpsiyon oranı değerinin 0,01-0,54 arasında olduğu tespit edilmiştir. Sulama suyu sınıflandırılmasına göre de I. Sınıf sulama suyu kalitesinde olduğu görülmüştür. Alınan su örneklerine mevsimsel olarak bakıldığında; SAR değeri sonbahar döneminde 0,02-0,07, kış döneminde 0,01-0,03, ilkbahar döneminde 0,08-0,25 ve yaz döneminde 0,24-0,54 arasında değişim gösterilmiştir.

Sulama suyundaki sodyum kriteri, "sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)" olarak tanımlanır. Sodyum, toplam tuzluluğa doğrudan katkıda bulunmasının yanı sıra, meyve ağaçları gibi hassas bitkiler için toksik olabilmektedir. Ancak yüksek sodyum konsantrasyonunun en önemli sorunu, toprak fiziksel özellikleri üzerindeki etkisidir. Yüksek sodyumlu sular, toprak yapısının bozulmasına yol açar. Bu nedenle, orta ve uzun vadede toprak kalitesinin korunması isteniyorsa, sodyum adsorpsiyon oranı değeri 0,5'ten büyük olan sularla sulama yapılmaması önerilmektedir. Yüksek sodyum adsorpsiyon oranı değerine sahip suyun sürekli kullanımı, toprağın fiziksel yapısında bozulmalara neden olur. Bu bozulma, toprak kilinin dağılmasına ve toprağın kuruduğunda sertleşip sıkışmasına yol açar.

Hasarcı (2021) tarafından, yapılan çalışmada su kaynaklarının SAR değerlerinin 0,18 ile 0,67 arasında değiştiği, 38 yeraltı su kaynağının ortalama sodyum adsorpsiyon oranı değerinin 0,49, yüzey su kaynaklarının ise 0,19 olduğu bildirilmiştir. Sulama sularının sodyum adsorpsiyon oranı değerleri, hem toprak hem de bitkiler üzerindeki etkileri nedeniyle önemli bir kalite göstergesidir. Yüksek SAR değerleri, sulama suyunun Na içeriğini olumsuz etkileyerek toprağın geçirgenliğini azaltmakta ve bu durum bitki gelişimini yavaşlatmaktadır (Berhe ve

ark., 2015; Demer ve Hepdeniz, 2018; Todd, 2005). Çalışma alanındaki su kaynakları noktasal ve mevsimsel olarak incelendiğinde, SAR açısından ABD Tuzluluk diyagramı sınıflandırmasına göre çok iyi özellikte sulama suyu sınıfında yer almaktadır(Richards, 1954).

Dalkıran ve ark. (2020), yapmış oldukları araştırmada Mustafakemalpaşa Çayı suyu, Mustafakemalpaşa Ovası'nın sulanmasında kullanıldığı için yüzey suyu bazı sulama indeksleri açısından da değerlendirilmişler ve çalışmada hesaplanan SAR değerlerinin de düşük olarak belirlenmesi sulama suyu kalitesinin sodyum adsorpsiyon oranı açısından 1. Sınıf olduğunu gösterildiğini açıklamışlardır.

4.13. Yüzde sodyum (%Na)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde yüzde sodyum (%Na) değeri ABD Tuzluluk Laboratuvarı Sulama Suları Sınıflandırmasına göre hesaplanarak elde edilmiştir (Wilcox, 1955).Elde edilen sonuçlar ve sulama suyu sınıfları Çizelge 4.13'de gösterilmiştir. Alınan su örneklerden elde edilen değerler Sulama Sularının Sınıflandırılması Esas Alınan Kalite Kriterlerine göre değerlendirme yapılmıştır (Anonim, 1991).

Çizelge 4.13. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak yüzde sodyum içeriklerine göre sulama suyu sınıfları

Sulama Suyu Sınıfları	Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemleri			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
I.Sınıf	Bükköy	5,86	1,78	6,18	12,64
	Devecikonağı	5,68	1,69	6,24	12,79
	Kestelek	3,02	0,54	1,66	7,14
	Camandar	3,16	0,68	2,74	8,74
	Melikköy	3,63	1,53	5,32	10,47
	Doğancı	6,96	2,29	5,79	14,06
II. Sınıf	-	-	-	-	-
III. Sınıf	-	-	-	-	-
IV. Sınıf	-	-	-	-	-

Alınan su örnekleri incelendiğinde; yüzde sodyum değerinin 0,54-14,06 arasında olduğu tespit edilmiştir. Sulama suyu sınıflandırılmasına göre de I. Sınıf sulama suyu kalitesinde olduğu

görülmüştür. Alınan su örneklerine mevsimsel olarak bakıldığında; yüzde sodyum değeri sonbahar döneminde 3,02-6,96, kış döneminde 0,54-2,29, ilkbahar döneminde 1,66-6,24 ve yaz döneminde ise 7,14-14,06 arasında değişim görülmüştür.

Sulama sularında yüksek Na^+ konsantrasyonu görüldüğünde, Na^+ kil partikülleri tarafından absorbe edilir ve Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonları ile yer değiştirir. Sudaki Na^+ ve topraktaki Ca^{2+} ve Mg^{2+} değişim prosesi, geçirgenliği azaltır ve zayıf iç drenaja sahip toprağa neden olur. Na değerinin % 60'dan büyük olması, sodyum birikimine ve böylece toprağın fiziksel özelliklerinin bozulmasına neden olur. Sulama suyundaki bu tür yüksek değerler, bitki büyümesini durdurabilir ve toprak geçirgenliğini azaltır.

Hasarcı (2021), yapmış olduğu çalışmada; Haziran ayında incelenen suların yüzde sodyum değerleri %4,8 ile %18,5 arasında değişim göstermiş ve tüm su kaynakları yüzde sodyum açısından mükemmel sulama suyu ($\%\text{Na} < 20$) kategorisinde yer almıştır. Yani, incelenen su kaynaklarının yüzde sodyum açısından sulama amacıyla kullanılması herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Eylül ayında incelenen suların yüzde sodyum değerleri ise %3,6 ile %16,1 arasında değişmiş ve yine tüm su kaynakları yüzde sodyum açısından mükemmel sulama suyu ($\%\text{Na} < 20$) sınıfında değerlendirilmiştir. Bu durumda, incelenen su kaynaklarının yüzde sodyum açısından sulamada kullanılmasında herhangi bir sorun olmadığı anlamına geldiği şeklinde rapor edilmiştir.

Altın ve Sönmez (2019), sulama suyunun kalitesini etkileyen Na ve bunun sonucunda ortaya çıkabilecek alkalilik riski; Na iyonunun mutlak konsantrasyonunun yanı sıra, Na'nın diğer katyonların toplam konsantrasyonuna oranının yüksek olmasına bağlı olduğu ifade edilmiştir. (Sönmez ve Kaplan, 1996). Dalaman ilçesindeki sulama suyu örneklerinin yüzde sodyum değerlerinin %1,58 ile %56,58 arasında değişiklik gösterdiği bildirilmiştir.. Alınan sulama suyu örneklerinin yüzde sodyum içerikleri Christiansen ve ark. (1977)'e göre değerlendirildiğinde; sulama sularının genel olarak %90'ının 1. sınıfa, %9,25'inin ise 2. sınıfa girdiğini ve genel olarak, birkaç örnek hariç Dalaman ilçesindeki sulama sularının yüzde sodyum açısından herhangi bir sorun teşkil etmediği bildirilmiştir.

Dalkıran ve ark. (2020), yapmış oldukları araştırmada Mustafakemalpaşa Çayı'nın suyu, Mustafakemalpaşa Ovası'nın sulanmasında kullanıldığı için yüzey suyu, bazı sulama indeksleri

açısından da incelenmiştir. Çalışmada hesaplanan yüzde sodyum değerinin hem maksimum hem de yıllık ortalama derişiminin 20'nin altında olması, sulama suyu kalitesinin I. Sınıf olduğunu göstermektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada da su örneklerinin yüzde sodyum değerleri %20'nin altında bulunmuş ve 1. Sınıf olarak değerlendirilmiştir.

4.14. Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde RSC ABD Tuzluluk Laboratuvarı Sulama Suları Sınıflandırmasına göre hesaplanarak elde edilmiştir (Eaton 1950; Wilcox ve ark., 1955), elde edilen sonuçlar ve sulama suyu sınıfları Çizelge 4.14' de gösterilmiştir. Alınan örneklerden elde edilen değerler ‘‘Sulama Sularının Sınıflandırılması Esas Alınan Kalite Kriterlerine’’ göre değerlendirme yapılmıştır (Anonim, 1991).

Çizelge 4.14. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak kalıntı sodyum karbonat içeriklerine göre sulama suyu sınıfları

Sulama Suyu Sınıfları	Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemleri (me L ⁻¹)			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
I.Sınıf	Bükköy	1,24	-2,38	-0,24	-1,38
	Devecikonağı	1,16	-2,66	-0,04	-1,41
	Kestelek	-	-1,84	-1,07	-1,31
	Camandar	-	-1,80	-1,41	-1,34
	Melikköy	-	-2,52	-0,46	-1,41
	Doğancı	-	-2,47	-0,83	-1,35
II. Sınıf	Kestelek	1,56	-	-	-
	Camandar	1,60	-	-	-
	Melikköy	1,26	-	-	-
III. Sınıf	Doğancı	3,73	-	-	-

Alınan su örnekleri incelendiğinde; kalıntı sodyum karbonat değerinin 0-3,73 me L⁻¹ arasında olduğu tespit edilmiştir. Sulama suyu sınıflandırılmasına göre de I. Sınıf, II. Sınıf ve III. Sınıf sulama suyu kalitesinde olduğu gösterilmiştir. Alınan su örnekleri mevsimsel olarak bakıldığında kalıntı sodyum karbonat değeri sonbahar döneminde 1,16-3,73 me L⁻¹, kış, ilkbahar ve yaz dönemlerinde kalıntı sodyum karbonat değeri sıfırın altında hesaplanmıştır.

Ortamdaki karbonat ve bikarbonat, iki değerlikli kalsiyum ve magnezyum ile kimyasal reaksiyona girme eğilimindedir. Tüm ($\text{Ca} + \text{Mg}$) iyonları ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$) iyonları ile birleştğinde, ortamda hala ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$) kalıyorsa, bu iyonlar sodyum ile birleşerek NaHCO_3 oluşturacaktır. Yüksek miktardaki NaHCO_3 , sodyum zararını artırır.

Bazı sulama sularında (+) kalıcı sodyum karbonat değerlerinin olması, ortamda sodyum ile birleşip kalıcı sodyum karbonat oluşturabilecek miktarda karbonat ve bikarbonat bulunduğunu ve bu oluşumun da sodyum zararı yaratabilecek bir risk faktörü olduğunu gösterir. Yüksek kalıcı sodyum karbonat, toprakta sodikleşmeye yani tuzluluğun artmasına neden olduğu için sulama suyunda istenmez. (-) kalıcı sodyum karbonat değeri ise, herhangi bir Na^+ zararı olasılığının olmadığını göstermektedir.

Çakmakçı ve Şahin (2019), yapmış oldukları çalışmada toprakların fiziksel özelliklerindeki bozulmayı değerlendirirken dikkate alınması gereken bir diğer parametre olduğunu bildirmişlerdir (Kanber ve Ünlü, 2010). Çalışmada elde olunan sonuçlar Eaton (1950) tarafından belirtilen sınır değerlerin (izin verilen RSC miktarının $<2,5 \text{ me L}^{-1}$) oldukça altında kalmıştır. Dalkıran ve ark. (2020), Mustafakemalpaşa Çayı'nın kalıntı sodyum karbonat indeksi değerlendirildiğinde, yıllık ortalama değeri -1,62 olarak belirlenmiştir. İndeks değerinin 0'ın altında olması, sodyumun olumsuz bir etkisinin olmadığını göstermektedir (Eaton 1950; Hopkins ve diğerleri, 2007).

4.15. Magnezyum Oranı (MAR)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde MAR ABD Tuzluluk Laboratuvarı Sulama Suları Sınıflandırmasına göre hesaplanarak elde edilmiştir (Paliwal, 1972), elde edilen sonuçlar ve sulama suyu uygunlukları Çizelge 4.15' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Su örneklerinin noktasal ve mevsimsel olarak magnezyum oranı içeriklerine göre uygunlukları

Sulama Suyu Sınıfları	Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemleri			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Uygun	Bükköy	-	-	48,82	-
	Devecikonağı	-	-	48,10	-
Uygun Değil	Bükköy	65,64	58,69	-	62,93
	Devecikonağı	65,46	58,78	-	63,82
	Kestelek	60,56	76,83	83,09	69,30
	Camandar	60,96	75,76	81,34	69,04
	Melikköy	62,36	58,14	54,48	61,26
	Doğancı	59,68	57,17	54,78	59,51

Alınan su örnekleri incelendiğinde magnezyum oranı değerinin 48,10-83,09 arasında olduğu tespit edilmiştir. Sulama suyu uygunluğuna göre de uygun ve uygun olmayan sulama suyu kalitesinde olduğu gösterilmiştir. Alınan su örnekleri mevsimsel olarak bakıldığında magnezyum oranı değeri sonbahar döneminde 59,68-65,64, kış döneminde 57,17-76,83 ilkbahar döneminde 48,10-83,09 ve yaz döneminde 59,51-69,30 arasında değişkenlik görülmüştür.

Sudaki yüksek magnezyum oranı toprağı tuzlandırmak da, bitki büyümesini ve verimini olumsuz etkilemektedir. Magnezyum oranı (MAR) hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmakta olup magnezyum oranı değerinin %50'den düşük olduğu sular sulama açısından uygun olurken, magnezyum oranı değerinin %50'den fazla olduğu sular ise sulama açısından uygun değildirler.

Kapdı ve Aşık, (2021), yaptıkları araştırmada su örneklerinin magnezyum oranı değerleri 35,6 ile 37,1 arasında değişiklik göstermiştir. Magnezyum adsorpsiyon oranı, sulama sularının uygunluğunu belirlemede en önemli kriterlerden biri olarak kabul edilmektedir. Magnezyumun sulama suyunda yüksek seviyelerde bulunması, toprağın tuzluluk oranı arttıkça mahsul verimi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Omotoso ve Ojo, 2012). Elde edilen sonuçların <50 olması nedeniyle, Güllübağ göletinin magnezyum oranı açısından uygun bir sınıfta yer aldığı söylenebilir.

Yapılan çalışmada elde olunan magnezyum oranı değerleri >50 olduğu için sulama suyu açısından uygun olarak değerlendirilmemiştir.

4.16. Kelley Oranı (KR)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde Kelley Oranı (KR) ABD tuzluluk laboratuvarı sulama suları Sınıflandırmasına göre hesaplanarak elde edilmiştir (Kelley, 1963), elde edilen sonuçlar ve sulama suyu uygunlukları Çizelge 4.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.16. Su örneklerinin Kelley Oranı göre uygunlukları

Sulama Suyu Sınıfları	Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemleri			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Uygun	Bükköy	0,01	0,00	0,06	0,13
	Devecikonağı	0,01	0,00	0,06	0,13
	Kestelek	0,01	0,00	0,01	0,07
	Camandar	0,01	0,00	0,03	0,09
	Melikköy	0,01	0,00	0,05	0,10
	Doğancı	0,02	0,01	0,05	0,15
Uygun Değil	-	-	-	-	-

Alınan su örnekleri incelendiğinde Kelly oranı değerinin 0-0,15 arasında olduğu tespit edilmiştir. Sulama suyu uygunluğuna göre de uygun olarak sulama suyu kalitesinde olduğu gösterilmiştir. Alınan su örnekleri mevsimsel olarak bakıldığında Kelly oranı değeri sonbahar döneminde 0,01-0,02, kış döneminde 0-0,01, ilkbahar döneminde 0,01-0,06 ve yaz döneminde 0,07-0,15 arasında değişkenlik görülmüştür.

Kelley oranı, sodyum (Na^+) ölçümüne karşı kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+}) oranı olarak ifade edilmektedir. Kelly oranının 1’den büyük değeri, sudaki aşırı sodyumu gösterir. Bu nedenle, kelly oranı değerinin 1’ den küçük olduğu sular sulamaya uygun iken, kelly oranı değerinin 1’ den büyük olduğu sular ise sulamaya uygun olmamaktadır

Yapılan çalışmada elde edilen kelly oranı değerlerine göre su örnekleri uygun olarak değerlendirilmiştir.

4.17. Permeabilite İndeksi (PI%)

Mustafakemalpaşa Çayından alınan su örneklerinde Permeabilite indeksi (%PI) ABD Tuzluluk Laboratuvarı Sulama Suları Sınıflandırmasına göre hesaplanarak elde edilmiştir (Doneen,1964), elde edilen sonuçlar ve sulama suyu uygunlukları Çizelge 4.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Su örneklerinin permeabilite indeksi içeriklerine göre uygunlukları

Sulama Suyu Sınıfları	Örnekleme Noktaları	Örnekleme Dönemleri			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Uygun	-	-	-	-	-
İyi	Bükköy	40,81	29,61	47,94	39,50
	Devecikonagi	40,37	28,75	50,00	40,69
	Kestelek	42,61	29,01	32,77	36,35
	Camandar	42,33	29,57	32,29	34,91
	Melikköy	40,50	28,56	43,12	39,89
	Doğancı	42,33	27,83	41,47	42,04
Uygun Değil	-	-	-	-	-

Alınan su örnekleri incelendiğinde permeabilite indeksi değerinin 27,83-50,00 arasında olduğu tespit edilmiştir. Sulama suyu uygunluğuna göre de iyi olarak sulama suyu kalitesinde olduğu gösterilmiştir. Alınan su örnekleri mevsimsel olarak bakıldığında permeabilite indeksi değeri sonbahar döneminde 40,37-42,61, kış döneminde 27,83-29,61, ilkbahar döneminde 32,29-50,00 ve yaz döneminde 34,91-42,04 arasında değişkenlik görülmüştür.

Bu indeks, toprağın fiziksel özelliklerine su kalitesinin olası etkisini belirlemek için kullanılır. Sulama sularının kimyasal değerleri toprak permeabilitesini etkilemektedir. Suların toprak permeabilitesini etkileme durumlarını belirlemek için permeabilite indeksi (PI) değerleri hesaplanmaktadır. Yapılan çalışmada alınan su örneklerinin permeabilite indeksi değerleri açısından uygun “iyi” olarak değerlendirilmiştir.

5.SONUÇ

Mustafakemalpaşa ilçesi için önemli geçim kaynaklarından biri tarımdır. Bölgede tarım için gerekli olan su kaynağı genellikle yeraltı suyu ve Mustafakemalpaşa Çayı'ndan sağlanmaktadır. Çalışma konusunu belirlerken Mustafakemalpaşa Çayından sulanan tarım alanlarında yetiştirilen sebze ve meyvelerin zarar görmesi sulama suyu ile ilişkili olup olmadığı araştırılmak amaçlanmıştır. Yürütülen çalışmada sulama sezonu, mevsim şartlarına bağlı olarak sonbahar mevsiminden başlayarak yaz mevsimine kadar örnekleme yapılmıştır. Bu nedenden dolayı sulama zamanı boyunca sulama suyu kalite parametreleri önemli bir anlam taşımaktadır. Çalışmanın yürütüldüğü 2023 yılında Mart ve Nisan aylarında yağışların yeterli olmasından dolayı sulama sezonu mayısta başlamıştır.

Mustafakemalpaşa Çayının su analizlerinde sulama suyu EC değerleri yıl boyunca 458-953 $\mu\text{S cm}^{-1}$ değerleri arasında değişmiştir. Bu EC değerlerine göre Mustafakemalpaşa Çayı suları sulama açısından II. Sınıf (orta tuzlu) ve III. Sınıf (yüksek tuzlu) sulama suyu sınıfı olarak değerlendirilmiştir. Tuz konsantrasyonlarıyla birlikte sodyum absorpsiyon oranı değerinin 0,01-0,54 arasında değiştiği ve I sınıf sulama sınıfına girdiği, yüzde sodyumun 0,54-14,06 arasında olduğu ve I. Sınıf sulama suyunda girdiği, kalıntı sodyum karbonat 0-3,38 arasında olup kış, ilkbahar, yaz dönemleri I sınıf, sonbahar döneminde ise II ve III sınıf olduğunu belirlenmiştir. Sulama suyundaki magnezyum oranı değeri 48,10-83,09 arasında ve sulama suyuna uygun olmadığı, Kelley Oranı değeri 0-0,15 arasında olup uygun sulama suyu sınıfında olduğu ve permeabilite indeksi değerinin 27,83-50,00 arasında olup iyi sulama suyu sınıfında olduğu belirlenmiştir. Mg, Ca, Na, K, Cl, CO_3 ve HCO_3 parametreleri sulama suyu için uygun aralıkta olduğu belirlenmiştir.

İncelenen su örnekleri pH değeri yıl boyunca 7,78-8,96 arasında değişim göstermiştir ve bazik karakterli bir sulama suyu olduğu belirlenmiştir. Mustafakemalpaşa çayının sulama suyu açısından pH değerleri III. Sınıf ve IV. Sınıf sulama suyu sınıfı olarak sınıflandırılmıştır. Su ile birlikte toprağın pH değerini yükselteceği göz önünde bulundurulduğunda bitkinin topraktan fosfor ve mikro elementlerin (molibden hariç) alınmasını engelleyebileceği ve yetiştirilen bitkilerin besin elementlerinin alımını zorlaştırabileceği söylenebilir. Ayrıca yüksek pH değeri zamanla sulama borularında tıkanıklığa da sebep olabilir.

Araştırma alanındaki sulama suyunun büyük bir çoğunluğunda tuzluluk problemi olmasına karşın, Mustafakemalpaşa Çayı'ndan alınan sulama suyu ile sulanan tarım topraklarında çok fazla tuzlulaşma görülmediği üreticiler tarafından ifade edilmektedir. Ancak ilerleyen yıllarda tarım arazilerinde kullanılan sulama suyunun tuzluluk durumu iyileştirilmez ise tarım topraklarında tuz birikimi görülme olasılığı yüksektir. Bölgedeki tarım arazilerinde tuzluluk ve sodyumluluk problemi yaşanmamasına rağmen, mevcut su kaynaklarındaki tuzluluk sorunu dikkate alındığında, ilerleyen yıllarda karşılaşılabilecek olası sorunlar nedeniyle bölgedeki drenaj planlamasının ve gerekli yerlerde tesviye işleminin titizlikle yapılması önemlidir. Ayrıca Mustafakemalpaşa Çayı ile sulanan arazilerde tuz dayanıklı bitkilerin (örneğin; arpa, pancar vb.) yetiştirilmesi ile de bu sorunların ertelenmesi mümkün olabilir.

Araştırma alanlarından alınan sulama suyu örneklerinin bor konsantrasyonları incelendiğinde, 0,07-23,08 mg L⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. Alınan örnekler incelendiğinde Orhaneli Çayı'ndan alınan tüm örnekler mevsimsel bazda bakıldığında bütün çalışma dönemlerinde I sınıf sulama suyu sınıfında olduğu görülmektedir. Ancak Emet ve Mustafakemalpaşa çayından alınan örnekler ise bütün dönemlerde IV. Sınıf sulama suyu sınıfında olduğu belirlenmiştir. Mustafakemalpaşa çayının yüksek bor yükü, yalnızca bölgede yürütülen tarımsal faaliyetleri olumsuz etkilemekle kalmıyor, aynı zamanda RAMSAR alanı olan ve son derece önemli kuş türlerine ev sahipliği yapan Uluabat Gölü'nü de tehdit etmektedir. Bu kirlilik, en sonunda Marmara Denizi'ne ulaşarak buradaki kirliliği artırma riski bulunmaktadır. Yüksek bor kirliliği, sadece tarımsal amaçlarla yetiştirilen bitkilere değil, aynı zamanda bölge ekosisteminde bulunan ağaçlara ve çeşitli bitkilere de zarar vererek tehlikeli seviyelere ulaşmış durumda olduğu görülmektedir. Bu durum, çölleşmeye de olumsuz yönde katkılarda bulunabilir.

Tez çalışmasında incelenen Mustafakemalpaşa çayının birleşmesinde rol oynayan Emet çayının önemli bir özelliği, geçtiği bölgede bor işletmelerinin bulunmasıdır. Alınan su örnekleri incelendiğinde, özellikle Emet bor işletmesinin Emet çayına olumsuz etkisi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Bulgularda ifade edildiği üzere, Emet çayında 2004 yılından sonra B içeriği açısından "patlama" olarak nitelendirilebilecek bir artış gözlemlenmiştir. B işletmesinin faaliyetleri incelendiğinde, tam da bu yılda 100.000 ton/yıl kapasiteli Borik Asit Fabrikası'nın üretime başladığı ve 2012 yılında ise ikinci 100.000 ton/yıl kapasiteli Borik Asit Fabrikası'nın faaliyete geçtiği görülmektedir (Anonim, 2012).

Orhaneli Çayı'nda bulunan iki örnekleme noktasından elde edilen veriler, bu suların sulama suyu olarak güvenle kullanılabileceği söylenebilir. Mustafakemalpaşa Çayı, daha önce belirtildiği gibi, Emet ve Orhaneli çaylarının birleşimiyle oluşmaktadır. Mustafakemalpaşa çayında bor içeriği incelendiğinde, Emet Çayı'na benzer bir şekilde 2004 yılından sonra bir artış kaydedilmiştir. Emet Çayı ile karşılaştırıldığında, Mustafakemalpaşa Çayı 2004 yılından önce sulama suyu olarak B açısından çok hassas ve hassas bitkiler dışında güvenle kullanılabilirken, 2004 yılından sonra yalnızca orta derecede dayanıklı ve dayanıklı bitkiler için kullanılabilir hale gelmiştir. Emet Çayı ise eldeki verilere göre 2004'ten önce yüksek miktarda bor içeriğine sahipken, sulama suyu olarak önerilmemektedir; 2004 yılından sonra ise insan ve hayvan sağlığını tehdit eder bir duruma gelmiştir. Uluabat Gölü'ne ait veriler sınırlı olduğundan borun zamansal değişimini ortaya koymak mümkün olmamıştır. Ancak mevsimsel değişim açısından doğal olarak Mustafakemalpaşa Çayı'na benzer bir değişim göstermesi beklenebilir. Sonuç olarak, Emet çayındaki bor içeriği artışının, Orhaneli çayı, Mustafakemalpaşa çayı, Uluabat gölünü etkileyebileceği sonucuna varılabilir. Herhangi bir su kaynağındaki bor içeriği artışının, özellikle toprak kaynakları ve bitkiler üzerinde ne kadar büyük sorunlara yol açabileceği daha önce belirtilmiştir. Acil önlemler alınmadığı takdirde, bu kirlilik göle ulaşarak buradaki habitatı ve bu akarsulardan faydalanan yetiştiricileri olumsuz yönde etkileyebilecektir. Dolayısıyla, bölgede acil tedbirlerin alınması ve yoğun bilimsel çalışmalar sonucunda bu çevre sorununa hızlı bir çözüm üretilmesi gerektiği bu çalışma sonucunda da ortaya konulmuştur.

Toprakta ve sulama sularında yüksek bor (B) seviyeleri, bitkilerde toksisiteye neden olmaktadır. B toksisitesi durumunda, büyüme noktalarında, yapraklarda ve döllemede hasar meydana gelebilir. Sulama suyundaki yüksek B seviyeleri, bu toksisite nedeniyle ürün kayıplarına yol açmaktadır. B konsantrasyonunun 4 mg L^{-1} 'in üzerinde olduğu durumlarda, tüm bitkiler için toksik etkiler oluşturduğu belirtilmektedir.

Bölgede sulama suyunda ve buna bağlı olarak toprakta birikim gösteren bor artışları sonucunda bölge tarımsal üretiminin ve verim ve çeşitliliğin önemli düzeyde etkileneceği görülmektedir. Bu süreçte üreticiler tarafından çeşit seçimi, kültürel ve tarımsal uygulamalar (bor stresini azaltıcı uygulamalar; organik madde uygulaması, Ca uygulamaları, farklı kimyasal preparat uygulamaları vb) yapılmaktadır.

Sulama suyunda bulunan bor ile ilgili olarak çevresel bazı uygulamalarda bulunmaktadır. Yüksek B içeriğinin azaltılması için kimyasal arıtma, reçineli arıtma veya ters ozmoz sistemi

gibi yöntemler kullanılabilir. Sulama suyu için en uygun ve avantajlı yöntem ters ozmoz sistemidir, çünkü bu sistem sayesinde hem B miktarı hem de suyun iletkenlik seviyesi aynı anda düşürülebilmektedir.

Bor giderimi amacıyla yapılan çalışmalarda da, kimyasal koagülasyon yöntemi ile elektrokoagülasyon yöntemi karşılaştırılmıştır. Elektrokoagülasyon yönteminde alüminyum elektrotlar, kimyasal koagülasyon yönteminde ise alüminyum klorür koagülant olarak kullanılmıştır. Elektrokoagülasyon ile çok daha yüksek B giderme verimi elde edilmiştir. Elektrokoagülasyon yöntemiyle optimum koşullarda %90'ın üzerinde bir verim sağlanırken, kimyasal koagülasyon ile yalnızca %24 verim elde edilebilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, yüksek uygulama ve rejenerasyon maliyetlerine rağmen içme sularından B giderimi için en uygun yöntemin borat anyonları ile kompleks oluşturan B seçici reçinelerin kullanımı olduğu belirlenmiştir. Ancak bu yöntem ekonomik açıdan yeterli olmadığından, daha etkili ve maliyet açısından uygun bir teknolojiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda, bazı sorpsiyon (adsorpsiyon, biyosorpsiyon ve iyon değişimi) süreçleri, yeni materyallerin kullanıma girmesiyle birlikte sulardan toksik maddelerin uzaklaştırılmasında etkili yöntemler olarak önem kazanmıştır. Şimdiye kadar, modifiye edilmiş veya edilmemiş kil mineralleri, polimerik jeller ve aktif karbon gibi çeşitli materyaller, su ve atık sulardan borun giderimi için adsorpsiyon yöntemleriyle kullanılmıştır. B gideriminde adsorban olarak kullanılan materyaller arasında sepiyolit, kırmızı çamur, magnezyum oksit, hidrotalsit benzeri bileşikler ve modifiye edilmiş bentonit bulunmaktadır.

Su ve atık suların adsorpsiyon yöntemiyle arıtımında düşük maliyetli ve kolayca temin edilebilen malzemelerin kullanımı üzerine son yıllarda birçok araştırma yapılmıştır. Adsorpsiyon, düşük kirletici konsantrasyonlarında daha etkili ve ekonomik bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

6. KAYNAKLAR

AATTUT, (2010, Mart 20). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. Çevre ve Orman Bakanlığı. Resmi Gazete, Sayı 27527.

Altın, R.,& Sönmez, S.(2019). Muğla-Dalaman yöresi sulama sularının sulama suyu kalitelerinin belirlenmesi ve mevsimsel değişiminin incelenmesi, Article Info, 2020/37(1):18-26.

Anlıatamer, E. (2007), Ankara Haymana Türkşerefli Göleti Sulama Alanındaki Toprakların Sulama Parametreleri ve Tuzluluk Yönünden incelenmesi, A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y. L. Tezi, Ankara.

Anonim, (1982). Apolyont Gölü ve yan kolları projesi kirlilik gözlem çalışmaları. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, I. Bölge Müdürlüğü. 55s.

Anonim, (1991). SKKY, 1991. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, Resmi Gazete 7.1.1991 tarih ve 20748 sayı, Ankara.

Anonim, (2012). <http://www.etimaden.gov.tr/emetS 37s.htm>

Anonim, (2014). DSI Genel Müdürlüğü Toprak ve Su Kaynakları Daire Başkanlığı, <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>

Anonim, (2015). YSKYY, 2015. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete 5.4.2015 tarih ve 29327 sayı, Ankara.

Anonim, (2016). Mustafakemalpaşa sulama birliği denetim raporu. T.C. Bursa Valiliği sulama birlikleri denetim komisyonu. 13s.

Anonim, (2016a) Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. Resmi Gazete, Tarihi: 10.08.2016, Sayı: 29797.

Anonim, (2019). ETİ Maden. (Erişim tarihi 01/07/ 2019). <http://www.etimaden.gov.tr/emet>.

Anonim, (2023). Susurluk Havzası Kuraklık Yönetim Planı Stratejik Çevresel Değerlendirme Nihai Raporu. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, 170 s.

Arslan, Ş., & Çelik, M. (2015). Assessment of the pollutants in soils and surface waters around Gümüşköy silver mine (Kütahya, Turkey). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 95 (4), 499-506. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1613-6>

Asrı, Ö.F., Demirtaş, I.E., Arı, N., & Özkan, F.C. (2013) Bilecik-Osmaneli yöresi sulama suları kalitelerinin belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(1): 49-55

Ayers, R.S., & Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper No. 29. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, 1-117.

Ayers, R.S., & Westcot, D.W. (1989). Water Quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage. Paper No.29. Rome.

Ayyıldız, M. (1983). Sulama Suyu Kalitesi ve Problemleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:876, Ders Kitabı 224, Ankara.

Bear, J. & Cheng, A.H.D. (1999). 'Introductions'. Seawater Intrusion in Coastal Aquifers Concepts, Methods and Practices (Eds. Bear, Cheng, Sorek, Quazar and Herrera) Kluwer Academic Publishers, 14, The Netherlands.

Benzer, S. (2017). Concentrations of arsenic and boron in water, sediment and the tissues of fish in emet stream (turkey). Bull Environ Contam Toxicol (2017) 98:805–810

Berhe, B. A., Çelik, M. & Dokuz, U. E. (2015). Kütahya ovası ndaki yüzey ve yeraltı sularının sulama suyu kalitesi açısından incelenmesi, türkiye, Maden Tetkik ve Arama Dergisi (150), 147-163.

Bower, C.A. L.V., Wilcox, G.W., Akın, M.G. & Keyes, (1965). An Index of the tendency of CaCO₃ to precipitate from irrigation waters. SQ1. Scil29: 91-92.

BUSKİ, (2019). Kalite izleme. (Erişim tarihi: 20/07/2019). <http://www.buski.gov.tr/tr/kaliteizleme/>

Christiansen J.E., Olsen E., & Willardson L.S. (1977). Irrigation Water Quality Evolution. Proceedings of the American Society of Civil Engineers: Journal of the Irrigation and Drainage Division 103 (IR2):155-169.

Çakmakcı, T., & Şahin, U. (2019). Evaluation of treated wastewater quality in terms of irrigation water within the framework of related legislation: the case of Van province. MKU. Tar. Bil. Derg. 24 (Özel Sayı) :249-256

Çebi, Ü. (2020). Tekirdağ ili yeraltı suları kalitesinin sulama suyu açısından değerlendirilmesi. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(6): 1391-1398, 2020

Çöl, M., & Çöl, C. (2003). Environmental boron contamination in waters of Hisarcik area in the Kütahya province of Turkey. Food and chemical toxicology, 41 (10), 1417-1420. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(03\)00160-1](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(03)00160-1)

Dalkıran, N. (2006). Orhaneli Çayı'nın epilitik diatomeleri ile bentik omurgasızlarının ilişkilendirilmesi yoluyla kirlilik düzeyinin saptanması. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa.

Dalkıran, N., Karacaoğlu, D., Dere, Ş., Çınar, Ş., Bulut, C., & Savaşer, S. (2016). Species Composition and SpatioTemporal Variations of Phytoplankton of Lake Uluabat. Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research, 2(3), s. 121-135.

Dalkıran, N., Karacaoğlu, D., Taş, D., Karabayırlı, G., Atak, S., Arda Koşucu, T.N., Coşkun, F., & Akay, E. (2020). Mustafakemalpaşa Çayı'nın (Bursa) su kalitesinin faktör analizi kullanılarak değerlendirilmesi. Acta Aquatica Turcica, 16(1), 124-137. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.610888>

Demir, A. D., Şahin, Ü., & Demir, Y., (2016). Murat Nehri su kalite parametrelerinin trend analizi ve tarımsal açıdan kullanılabilirliği. YYÜ TAR BİL Dergisi, 26(3): 414-420

Demir, S. & Hepdeniz, K. (2018). Isparta Ovasında (GB-Türkiye) sulama suyu kalitesinin istatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi. Türk Coğrafya Dergisi (70), 109-122 DOI:19.17211/tcd.397876.

Doneen, L., (1964). Notes on water quality in agriculture, Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis.

Eaton, F.M. (1950). Significance of carbonates in irrigation waters. Soil Science, 69: 123-133., Erözel, Z., (1986). Sulamada Su Kalitesi ve Tuzluluk Sorunları. Kültürteknîği Giriş, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 996; 97–110.

Guettaf, M., Maoui, A., & Ihdene, Z. (2017), “Assessment of water quality: a case study of the Seybouse River (North East of Algeria)”, Applied Water Science, 7 (1), pp.295–307.

Gürsakaç H., (2007). İçmesuyu arıtma tesisleri yapımında proje yönetimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Hacısalıhoğlu, S., Kaynar, E., & Darat, D. (2023). Mustafakemalpaşa Çayı Su Kalitesinin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları Açısından Değerlendirmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 10(4): 750–760

Hasarcı, O.S. (2021). Konya İli Çumra İlçesindeki Yeraltı Su Kaynaklarının Sulama Suyu Kalitelerinin Değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 58 Sayfa

Helvacı, C. (1984). Occurrence of rare borate minerals: Veatchite-A, tunellite, teruggite and cahnite in the Emet borate deposits, Turkey. Mineralium Deposita, 19 (3), 217-226. <https://doi.org/10.1007/BF00199788>

Helvacı, C. (2003). Türkiye borat yatakları jeolojik konumu, ekonomik önemi ve bor politikası. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5 (1), 4-41.

Helvacı, C., & Alonso, R. N. (2000). Borate deposits of Turkey and Argentina; A Summary and geological comparison. Turkish Journal of Earth Sciences, 9, 1 – 27.

Helvacı, C. (2015a). Bor mineral ve kimyası yönünden genel değerlendirilmesi ve yataklarının gelecek öngörüsü. Madencilik ve Yerbilimleri Dergisi, 47, 66-78.

Helvacı, C. (2015b). Geological features of neogene basins hosting borate deposits: An overview of deposits and future forecast, Turkey. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 151, 169-215. DOI: 10.19111/bmre.05207

Helvacı, C., Stamatakis, M., G., Zagourogrou, C., & Kanaris, J. (1993). Borate minerals and related authigenic silicates in northeastern Mediterranean late miocene continental basins. Exploration and Mining Geology, 2, 171-178. <https://doi.org/10.19111/bmre.71777>

İleri, S., Karaer, F., Katip, A. & Onur, S. (2014). Sığ göllerde su kalitesi değerlendirmesi, Uluabat Gölü örneği. Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(1): 47-57.

Kalaycı, S., & Kahya, E. (1998). Susurluk Havzası nehirlerinde su kalitesi trendlerinin belirlenmesi. Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 22: 503 - 514.

Kanber R., Kırdı C., & Tekinel O. (1992). Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:6, Adana

Kaplı, E. B. & Aşık, B.B. (2021) ‘’ Sulama Göleti Suyunun Yüzeysel Su Kalitesi ve Sulama Suyu Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi; Uşak İli Güllübağ Göleti Örneği’’, Biyosistem Mühendisliği Dergisi, 2757-8100, 52-69

Kara, M., (2005). Sulama ve sulama tesisleri, Selçuk Üniversitesi Basımevi. Konya

Karacaoğlu, D. (2006). Emet Çayı’nın epipelik diyatomeleleri ve bentik omurgasızlarının ilişkilendirilmesi ile kirlilik düzeyinin saptanması. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Bursa.

Karatas, B. S., Akkuzu, E., & Asık, S. (2005). İzmir Kentsel Arıtılmış Atık Sularının Sulamada Kullanım Olanaklarının incelenmesi. Ege Üniv. Ziraat. Fak. Derg., 2005, 42(3):111-122

Kelly W.P. (1963). Use of Saline Irrigation Water, Soil Science, 95(6): 385–391.

Köse, E., Tokatlı, C., & Çiçek, A. (2014). Monitoring stream water quality: A statistical evaluation. Polish Journal of Environmental Studies, 23 (5). <https://doi.org/10.17482/uujfe.39645>

Liu, C.W., Lin, K.H. & Kuo, Y.M. (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. Science of the Total Environment, 313 (3), 77–89. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00683-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00683-6)

Maltaş, A.Ş., & Kaplan, M. (2018). Effect of different amounts of acid application in fertigation on calcareous soil pH. Journal of Plant Nutrition, 41(4):520-525.3

Mass, E.V. (1990). Crop salt tolerance. Agricultural Salinity Assessment and Management ASCE, New York. pp. 262-304.

Mestik, D. (2019). Mustafakemalpaşa Çayı’nın (Bursa)İki Farklı Dönemdeki Su Kalitesinin Epilitik Diyatomeleler Kullanılarak Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Bursa.

Minareci, Ö. & Öztürk, M. (2012). Manisa İli Baraj Göllerinde Bor Kirliliğinin Araştırılması Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi, 5(1), s. 25-29, Manisa.

Omwene, P. I., Öncel, M. S., Çelen, M., & Kobya, M. (2019). Influence of arsenic and boron on the water quality index in mining stressed catchments of Emet and Orhanlı streams (Turkey). Environmental Monitoring and Assessment, 191, 199. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7337-z>

Omotoso O.A. & Ojo, O.J. (2012). Assessment of quality of river Niger floodplain water at Jebba , central Nigeria : implications for irrigation, Water Utility Journal, 4: 13–24.

Özer, Ç., & Köklü, R. (2019). Aşağı Sakarya Nehri Su Kalitesinin Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi. Artvin Çoruh University Natural Hazards Application and Research Center Journal of Natural Hazards and Environment. 5(2): 237-246, DOI: 10.21324/dacd.483146

Özgenç, İ. (1993). Ovacık (Tavşanlı-Kütahya) fluorit yatağının jeolojisi ve oluşumu. Jeoloji Mühendisliği, 43, 5- 14.

Paliwal, K.V. (1972). Irrigation with saline water. New Delhi, IARI, 198p.

Richards, L. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Agriculture Handbook No: 60, U.S. Department of Agriculture. U.S. Govt. Printing Office.Washington, D.C.

Sağlam M.T. (1977). Sulama sularında mevcut olan karbonat ve bikarbonat iyonlarının toprak üzerindeki zararlı etkilerinin belirlenmesinde kullanılan bazı kıstaslar. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat Dergisi 8:129-137.

Salihoğlu, G. & Karaer, F. (2004). Ecological Risk Assessment and Problem Formulation for Lake Uluabat, a Ramsar State in Turkey, Environmental Management 33 (6), 899-910.

Schofield, C.S. (1935). The Salinity of Irrigation Water. Smithsonian Inst. Annual Report Vol. 1935,1936:275-287, USA.

Semiz, G. D. (2014) Sulama suyu açısından bor içeriğinin değerlendirilmesi: Uluabat Gölünü besleyen Orhaneli, Emet ve Mustafakemalpaşa Çayları. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 11 (1), 98-105.

Seth, R., Mohan, M., Singh, P., Singh, R., Gupta, V.K., Dobhal, R., Uniyal, D.P., & Gupta, S. (2015). “Assessment of Seasonal Variations in Surface Water Quality of Bageshwar District, Uttarakhand, India for Drinking and Irrigation Purposes”, Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences, 85 (2), pp.283–293.

Shrestha, S., & Kazama, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. Environmental Modelling and Software, 22, 464-475. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>

Sidhu, N., Rishi, M.S., & Kishore, N. (2015). “A Water Quality Index Approach To Appraise Temporal Variation And Heavy Metal Accumulation In Urban Storm Water Flow With Special Emphasis On Irrigation Utility, Chandigarh, India”

Sönmez, S.A., & Kaplan, M. (1996). Kumluca ve Finike Yörelere Tuz Stresi sulama sularının kalitelerinin belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(1):288-303.

Şimşek, G., Çanlı, M., Karadavut, U., Yazıcı, M. E., & Soğancı, K. (2017). Sulama yapılan alanların bazı su parametreleri açısından ayırma (discriminant) analizi kullanılarak incelenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4 (3), 339-346.

Tabaei, H.A., J.C. & Guitjens. (1991). Water Quality of Shallow Ground Water Reused for Irrigation. Irrigation and Drainage (Ed., W.F. Ritter), ASAE, 345. East 47th Street, New York, 260-266.

Tokatlı, C., Çiçek, A., Emiroğlu, Ö., Arslan, N., Köse, E., & Dayıoğlu, H. (2014). Statistical approaches to evaluate the aquatic ecosystem qualities of a significant mining area: Emet Stream Basin (Turkey). Environmental Earth Sciences, 71 (5), 2185-2197. DOI: 10.1007/s12665-013-2624-4

Tokatlı, C., Köse, E., Arslan, N., Emiroğlu, Ö., Çiçek, A., & Dayıoğlu, H. (2016). Emet Çayı su kalitesinin mevsimsel değişimi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21(2): 9-23.

Tokmak, S. (1995). Kumluca ve Finike Yörelerinde Tarımda Kullanılan Azotlu Gübrelerin Çevre Kirliliğine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Üstün, G.E., Karaer, F., & Solmaz, S.K.A. (2008). Bursa Nilüfer Çayının Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi, Su Tüketim, Arıtma, Yeniden Kullanım Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 3-5 Eylül 2008, s. 97-104

Üstün, G. (2011). Nilüfer Çayı'nda Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi. Ekoloji Dergisi, 20(81): 61-66.

Varol, M., Gökot, B., Bekleyen, A., & Şen, B. (2012). Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Tigris River (Turkey) using multivariate statistical techniques—a case study. River Research and Applications, 28 (9), 1428-1438. <https://doi.org/10.1002/rra.1533>

Varol, M., Gökot, B., & Bekleyen, A. (2013). Dissolved heavy metals in the Tigris River (Turkey): spatial and temporal variations. Environmental Science and Pollution Research, 20 (9), 6096-6108. DOI: 10.1007/s11356-013-1627-8

Zengin, M., Bayraklı, F. & Çetin, Ü., (2002). Properties of Irrigation Water Quality in Konya Closed Basin, S. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 16(29): (2002) 65-71, Konya.

Yurtseven, E., & Sönmez, B. (1992). Sulama Sularının Değerlendirilmesi. Tarım ve Köy İşl.Bk., Köy Hiz. Gn.Md., Toprak ve Gübre Araşt. Enst. Md. Yayınları No.181/T-63, 62s., Ankara, 1992.

Wilcox, L.V., (1955). Classification and use of Irrigation Waters. U.S. Dept. of Agric., Circular No. 696, 19 p.