

**T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**

**TARIMSAL SULAMADAN DÖNEN SULARIN BETON
KAPLAMALI KANALDA FİLDÖFER TEKNİĞİ İLE
İYİLEŞTİRİLMESİ VE YENİDEN KULLANIMI**

**Hazırlayan
Fırat SÖKMEN**

**Danışman
Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK**

Yüksek Lisans Tezi

ŞIRNAK, 2023

**T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**

**TARIMSAL SULAMADAN DÖNEN SULARIN BETON
KAPLAMALI KANALDA FİLDÖFER TEKNİĞİ İLE
İYİLEŞTİRİLMESİ VE YENİDEN KULLANIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Fırat SÖKMEN**

**Danışman
Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK**

**Bu çalışma; Şırnak Üniversitesi Bilimsel Araştırma
Projeleri Birimi tarafından 2022.FLTP.13.01.02 kodlu proje ile
desteklenmiştir.**

ŞIRNAK, 2023

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

SYGM tarafından yürütülen projenin hiçbir nümerik değeri, bu çalışmada kullanılmamıştır. Sadece HT13-2 tahliye kanalından, beton kaplamalı trapez kesitli kanala saptırılan ve tarımdan dönen sulardan, su numuneleri alınmıştır.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Tezi Hazırlayan

Fırat SÖKMEN

TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK

“Tarımsal Sulamadan Dönen Suların Beton Kaplamalı Kanalda Fildöfer Tekniği İle İyileştirilmesi ve Yeniden Kullanımı” adlı Yüksek Lisans tezi, Şırnak Üniversitesi Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu’na uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Fırat SÖKMEN

Danışman

Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK

İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda yardımına her zaman başvurup, doğru yönlendirmesiyle bilgisinden ve tecrübesinden her daim faydalandığım, akademik anlamda gelişmemi destekleyen ve her türlü desteği veren, değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK'e sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunuyorum. Aynı zamanda Harran Ovası'nda yapmış olduğumuz çalışmamızda değerli katkılarını esirgemeyen saygıdeğer hocamız Prof. Dr. Sinan UYANIK'a teşekkür etmek istiyorum.

Okul hayatım boyunca beni her konuda destekleyen ve yüksek lisans yapmam konusunda gerekli teşvik ve motivasyonu sağlayan abim Doç. Dr. Ferhat Şirin SÖKMEN'e, ihtiyaç duyduğum her anda fikirlerine başvurduğum Doç. Dr. Yunus AÇCI hocamıza ve hayatımın her anında yanımda olan aileme sonsuz sevgi, saygı ve şükranlarımı sunuyorum.

Fırat SÖKMEN

TARIMSAL SULAMADAN DÖNEN SULARIN BETON KAPLAMALI KANALDA FİLDÖFER TEKNİĞİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ VE YENİDEN KULLANIMI

Fırat SÖKMEN

Şırnak Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,

Yüksek Lisans Tezi, Nisan 2023

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK

ÖZET

Şanlıurfa Harran Ovası'nda tarımsal sulamalardan dönen yüzey suların tahliye kanallarında iyileştirilerek tekrar yeniden kullanımı kapsamında 2022 yılında çalışma yürütülmüştür. Yürütülen çalışmada 117 gün süreyle izleme ve değerlendirme yapılmış ve tarımdan dönen suların ikinci sınıf sular olduğu görülmüştür. Tarımdan dönen bu suların n kez tekrar tekrar tarımda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ovada yaygın şekilde üretimi yapılan tuza toleranslı pamuk bitkisi ile mısır bitkisinde dönen suların kullanımında sakınca olmadığı sonucuna varılmıştır. Harran Ovası projesinde konvansiyonel yöntemlerden sayılan karık sulamalara göre su tüketim hesapları yapılmış, ancak suyun karık ve border sulamaları yerine vahşi sulamaların uygulandığı sonucuna varılmıştır. Böylece yüzey akışlarla çok ciddi miktarlarda toprak erozyonun gerçekleştirildiği görülmüştür. Anonim bilgilerden Harran Ovası'nda yıllık $\cong 500$ milyon m³ tarımsal suyun ve önemli miktarda sedimanın Harran Ovası'ndan ve Türkiye'den ayrıldığı bilgisine erişilmiştir. Tarafımızca herhangi bir ölçüm yapılmamıştır. Toplam katı madde, askıda katı madde ve NTU değerleri haziran ayının ilk haftasından, eylül ayının son haftasına kadar görece olarak azalmaya başlamıştır. Fildöfer sisteminin giriş ve çıkışında maksimum ve minimum değerler; TKM için sırasıyla; 974-144 mg/L ve 733-40 mg/L; AKM için sırasıyla 733-40 mg/L ve 226-41 mg/L; NTU bulanıklık için sırasıyla 876-30 mg/L ve 780-25 mg/L aralığında değiştiği görülmüştür. Her üç parametre değerlerinin bitkinin olgunluk dönemine doğru azalım göstermesi, topraklarda özellikle makro porozitenin azalmasına ve toprakların sıkışmasına bağlanabilir.

Anahtar Kelimeler: Atık suların yeniden kullanımı, Sediman, Fildöfer, Dere Çakılı

**IMPROVEMENT AND REUSE OF WATER RETURNED FROM
AGRICULTURAL IRRIGATION IN CONCRETE COATED CHANNEL
WITH GABION TECHNIQUE**

Fırat SÖKMEN

Sirnak University Institute of Masters

Civil Engineering Department,

MSc., April 2023

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK

ABSTRACT

A study was conducted in 2022 in the Harran Plain of Şanlıurfa, focusing on the improvement and reuse of surface waters returned from agricultural irrigation through drainage channels. Monitoring and evaluation were carried out for a period of 117 days, revealing that the waters returned from agriculture were classified as Class II waters. It was concluded that these waters could be reused multiple times in agriculture.

The use of the recycled waters in the cultivation of salt-tolerant cotton, which is extensively grown in the plain, and maize was found to be without any drawbacks. Water consumption calculations were made for the Harran Plain project compared to conventional furrow irrigation methods, but it was found that wild irrigation methods were employed instead of furrow and border irrigation. Consequently, it was observed that significant amounts of soil erosion occurred due to surface runoff. Based on anonymous information, it was accessed that approximately 500 million m³ of agricultural water and a significant amount of sediment leave the Harran Plain and Turkey annually. No measurements were conducted by our team. The total solid matter, suspended solid matter, and NTU values started to decrease relatively from the first week of June to the last week of September. The maximum and minimum values at the inlet and outlet of the Gabion system were as follows: for TSM, 974-144 mg/L and 733-40 mg/L respectively; for SSM, 733-40 mg/L and 226-41 mg/L respectively; for NTU turbidity, the range was 876-30 mg/L and 780-25 mg/L. The decreasing trend of all three parameter values towards the maturity period of the plant can be attributed to a decrease in macro porosity and compaction of the soils.

Keywords: Reuse of wastewater, Sediment, Gabion, Creek Gravel.

İÇİNDEKİLER

TARIMSAL SULAMADAN DÖNEN SULARIN BETON KAPLAMALI KANALDA FİLDÖFER TEKNİĞİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ VE YENİDEN KULLANIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	
TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK.....	
KABUL VE ONAY.....	
TEŞEKKÜR	
ÖZET	.i
ABSTRACT	.ii
İÇİNDEKİLER.....	.iii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	.vi
TABLolar LİSTESİ.....	.vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	.viii
1. GİRİŞ.....	.1

BİRİNCİ BÖLÜM

BİRİNCİ BÖLÜMÜN BAŞLIĞI

1.1. TÜRKİYE’NİN SU POTANSİYELİ.....	2
1.2. TÜRKİYE’NİN SÜRDÜRÜLEBİLİR HİDROLİK POTANSİYELİ, FIRAT ve DİCLE HAVZALARININ KARŞILAŞTIRILMASI	2
1.3. ÇALIŞMANIN AMACI.....	3
1.4. LİTERATÜR.....	4
1.4.1. Literatür Özeti	4
1.4.2. Kullanılmış Suların Yeniden Kullanımına Ait Başlıklar	10
1.4.3. Çalışmanın Özgün Değeri	14
1.4.4. Çalışmanın Yaygın Etkisi/Katma Değeri	15
1.4.5. Tarımsal Sulamalar İçin Kullanılan Sularda En Önemli Olumsuz Sonuçlar	21
1.5. ÇALIŞMANIN KAPSAMI.....	22

İKİNCİ BÖLÜM

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. MATERYAL	25
2.1.1. Çalışmanın Gerekçesi Ve Lokasyonu	25
2.1.2. Şanlıurfa Ve Harran İklim Verileri	29
2.2. YÖNTEM.....	30
2.2.1. Fildöfer Çelik Kafesler	30
2.2.2. Toplam Katı Madde (TKM) Ve Askıda Katı Madde (AKM) Analiz Protokolü	31

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BULGULAR

3.1. TÜRKİYE’NİN SÜRDÜRÜLEBİLİR HİDROLİK POTANSİYELİ VE FIRAT-DİCLE HAVZASI İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	36
3.2. GÜNEYDOĞU ANADOLU PROJESİ (GAP) KAPSAMINDA HARRAN OVASI TOPRAK VE SU KAYNAKLARI POTANSİYELİNİN ÖNEMİ.....	38
3.3. SULAMALARDAN DÖNEN KULLANILMIŞ SULARIN YENİDEN KULLANIMI İÇİN ALINAN SU NUMUNELERİNDE KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI.....	40
3.4. KATI MADDE ÖZELLİKLERİ VE AKIŞKAN İÇERİSİNDE MADDE HAREKETİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	41
3.5. TOPLAM KATI MADDE (TKM: MG/L) VE ASKIDA KATI MADDE (AKM: MG/L).....	43
3.6. ERDEMLİ REGÜLATÖRÜNDE ÖLÇÜLEN VE HESAPLANAN MEVSİMLİK SU BÜTÇESİ (M3)	49
3.7. HARRAN OVASI İÇİN ŞEBEKEYE ALINAN HACİMSEL SU MİKTARININ (M3) UYGUNLUK VEYA TEZATLIK SENARYOSU	51
3.8. SULAMADAN DÖNEN SU MİKTARI VE KULLANIM ALTERNATİFLERİNDE SULARIN KALİTESİNİN KORUNMASI İÇİN, YAPISAL OLMAYAN VE YAPISAL ÇÖZÜM ÖNERİLERİ.....	53
3.9. 3.9. TARIMDAN DÖNEN TAHLİYE SULARINDA KİRLETİCİLER 5 ANA SINIFTA TOPLANABİLİR.....	59

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. SONUÇLAR	63
4.2. ÖNERİLER	64
KAYNAKÇA.....	67
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ	



KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

AAT	: Atık su Arıtma Tesisleri
AKM	: Askıda Katı Madde
CDI	: Composite Drought Indicator
CC	: Climate Change
CV	: Climate Variability
DEWS	: Drought Early Warning Systems
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC	: Electrical Conductivity
EPA	: United States Enviromental Protechtion Agency
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
Ha	: Hektar
HES	: Hidro Elektrik Santrali
HYA	: Harran Yedek Anakanalı
m	: Metre
m³	: Metreküp
M.Ö.	: Milattan Önce
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit
PYSA	: Perdeli Yapay Sulak Alan
TKM	: Toplam Katı Madde
TS	: Taban Suyu
WHO	: World Health Organization

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Türkiye'nin havzalara göre alansal büyüklük, yıllık ortalama yağış, yıllık havza verimi, yıllık toplam akış ve sulanabilir alan değerleri.....	37
Tablo 3.2. Farklı tarihlerde alınan su numunelerinde kimyasal analiz sonuçları	41
Tablo 3.3. Dane çaplarına göre danelerin boyut sınıflandırılması.....	43
Tablo 3.4. Erdemli regülatöründe alınan su numunelerinde 7 farklı tarihte elde edilen fildöfer giriş ve çıkışında yoğunluk (TKM ve AKM) ve NTU, pH ve tuzluluk değerleri.	49
Tablo 3.5. HT13-2 tahliye kanalından beslenen Erdemli regülatöründe farklı tarih ve saatlerde ölçülen debi (m^3/s) ve hacim (m^3) değerleri	50
Tablo 3.6. 2022 Yılı Harran Ovası şebekeye alınan mevsimlik su bütçesi.....	53
Tablo 3.7. Havzalara göre 1.000 ha üzeri sulama şebekeleri ve sulamadan dönen su miktarı	54
Tablo 3.8. Harran Ovası sulamasında hali hazırda dönen suları yeniden kullanmak için aktif olan regülatörler (DSİ, 2019).....	55
EK Tablo 1. Şanlıurfa ili Harran ilçesi- istasyon no:19270 2022 yılı kimi iklim verileri.....	73
Ek Tablo 2. Şanlıurfa 17270 numaralı istasyona ait 43 yıllık (1979-2022) uzun yıllar iklim parametreleri	74

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yerkürenin 2015 yılında su stresi altında olan Bölgeler, Ülkeler ve Kıtalar harita üzerinde gösterilmiştir (Falkenmark, 1989).....	5
Şekil 1.2. Yerkürenin 2040 yılında su stresi altında olan Ülkeler ve Kıtalar (Falkenmark, 1989).....	6
Şekil 1.3. MENA ülkelerinin 1901, 1941, 1981 ve 2021 yıllık ortalama yağışları (mm)	8
Şekil 1.4. Yerkürenin yıllık hidrolojik su döngüsü	9
Şekil 2.1. Harran Ovası Erdemli Regülatörünü besleyen HY40 ve HY41'in yağış havzası yerleşim planı	27
Şekil 2.2. Harran Ovası vaziyet planı (DSİ 15 Bölge Müdürlüğü, 2021).....	27
Şekil 2.3. HT13-2 Tahliye kanalı banketinde kurulu olan Erdemli PYSA sistemi hizmetalanı	28
Şekil 2.4. Harran Ovası sulama şebekesi içerisinde 2022 yılında inşa edilen Erdemli regülatörü	29
Şekil 2.5. HT13-2 Tahliye kanalı banketinde kurulu olan beton kaplamalı trapez kesitli kanal içerisinde.....	29
Şekil 2.6. Fildöfer çelik kafes ve suyun hareketi	30
Şekil 2.7. Toplam Katı madde (TKM) analiz protokolü	32
Şekil 2.8. Askıda Katı madde (AKM) analiz protokolü.....	33
Şekil 2.9. Erdemli regülatörü fildöfer sisteminde alınan su numunelerinde yürütülen analizler	35
Şekil 3.1. Erdemli Regülatörü su alma yapıları	39
Şekil 3.2. Akarsularda, göletlerde ve sulama projeleri kapsamında yer alan tahliye kanallarında sucul bitkilerin ve organik maddelerin yaşamsal döngüsü.....	44
Şekil 3.3. Akarsularda, göletlerde ve sulama projeleri kapsamında yer alan tahliye kanallarında TKM, AKM (yuvarlanarak, kayarak ve sıçrayarak) hareket eden sürüntü maddeleri.....	45
Şekil 3.4. Süspanse malzemelerin barajlarda, tahliye kanallarında ve kimi zaman taşkınlarla gelen sediman miktarının su içerisindeki hareketi	45
Şekil 3.5. Akarsularda şiddetli yağışlar sonucu taşkınlarla gelen erozyon malzemesinin su içerisindeki sıçrama hareketi	46
Şekil 3.6. Tarımsal Sulamadan Dönen Suların Yönetimi İçin Alternatiflerin Sıralanması (TÜBİTAK-MAM, 2017).....	57

1. GİRİŞ

Tarih boyunca su kaynaklarını koruyup, iyi yöneten uluslar, sektörel su tahsislerini dengeli ve koruyucu yaklaşımlarla hidrolik güçlerini sürekli artırmışlar, bu konularda başarısız olan toplumlar kurdukları devletleri ve toplumları kaybetmişlerdir. Sonuç olarak böyle topluluklar doğal varlık olan su ve toprak kaynaklarını yitirmişler ve beraberinde ulus devlet varlıklarını kaybetmişlerdir.

Bilindiği gibi medeniyetler ve devletler Nil, Dicle, Fırat, İndüs Nehirleri ve çevresinde gelişmiş ve yükselmiş, ancak tarımda aşırı sulama suyu kullanımları ve vahşi sulamaları uyguladıklarından dolayı kurulan devletler ya zayıflamış ya da tamamen yok olmuşlardır. Çin’de 4000 yıl önce ilk olarak Sarı Nehir Deltası’nda arazi ıslah çalışmaları başlatılmış, bu ülkede kralların başarı ve becerileri taşkın koruma aktivitelerine gösterdikleri önemle ölçülmüştür. Örneğin Yu, M.Ö. 2200 yılında su taşkınları kontrolü ile ilgili yapmış olduğu önemli çalışmalar sonucu halk tarafından kral seçilmiştir. Babil Hanedanlığının 6. Kralı Hammurabi M.Ö. 2000 yılında kendi ismiyle anılan sulama sistemlerinin oluşturulması, bunların devlet eliyle işletilmesi, su kaynaklarının korunması ile ilgili kanunlar çıkarmıştır. Milattan önce Nil Nehri’nden yararlanarak tarımsal sulama yapmışlardır. Öyle ki Mısır mitolojisine göre M.Ö. 3100 antik Mısır döneminde, Mısır’ın Menes ve Narmer hanedanı himayesinde Aşağı ve Yukarı Mısır birleşerek tek devlet kurmuşlardır. Mısır deltasında suyun temininde sulama kanalları inşa etmişler, ayrıca taşkından korunmak için de tedbirler almışlardır. Antik Mısırlılar Nil’den Nil’e su getirmek için Bahr Yousuf kanalını kazmışlar, halk tarafından Memphis’teki başkentin kralı ilan etmişlerdir (Gad, 2008; Kemp, 1991).

Mısır sulama tekniklerini o kadar etkili yaratmıştır ki, Yunanistan ve Roma kültürleri tarafından bu teknik kullanılmıştır. Mısır’ın İkinci Ara Dönemi’nde ($\cong$ M.Ö. 1782 - 1570), Aşağı Mısır’daki Avaris’e yerleşen Hyksos olarak bilinen insanlar tarafından yeni sulama yöntemleri tanıtılmış ve Mısırlılar bu teknikleri daha da geliştirmişler, örneğin genişletmiş oldukları kanalı kullanmışlardır. Nil’de yıllık su taşkınlarından dolayı Mısır’da yaşam güçleşmiştir. Ancak Anadolu’da 7000–8000 yıllar öncesinde tarım yapıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Bu nedenle Anadolu’nun çeşitli yörelerinde eski medeniyetlerden kalma 2800 yıl öncesine kadar uzanan, su ve sulama yapıları bulunmaktadır. Medeniyetlerin kaynağı olan su, yani “ab” Urdu dilinde insan yerleşimi anlamına gelen “abadi” sözcüğünün kökünü oluşturmaktadır (Shiva, 2007).

Su; hayattır, doğanın ortak mülküdür. Sınırı ve coğrafyası bulunmamaktadır. En önemlisi ikamesi olmayan bir yaşam hakkıdır. Hem besleme, hem arındırma hem de temizleme yeteneğiyle toplumların sahip olduğu önemli bir değerdir (Illich, 1985).

1.1. TÜRKİYE’NİN SU POTANSİYELİ

Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1.652 m³, 2020 yılında ise 1.346 m³ hesaplanmıştır. Bu veriler, kullanılabilir su miktarının, nüfus artışı ve su kaynaklarındaki azalmalar nedeniyle, her geçen gün daha da su fırsatlarının azaldığını göstermiştir. Türkiye’de, DSİ verilerine göre, yıllık ortalama yağış 574 mm bildirilmekte ve yıllık hacmin $\cong 447$ milyar m³ hesaplanmaktadır. Türkiye’nin teknik ve ekonomik yer üstü su kaynakları 94 milyar m³ ve çekilebilir emniyetli rezerv yer altı suyu kaynakları 18 milyar m³ olup, toplam 112 milyar m³ güce sahip olduğu hesaplanmaktadır. Kullanılan bu suyun sektörel dağılımına bakıldığında tarımsal sulama 44 milyar m³ (%77), içme, kullanma ve sanayi suyu 13 milyar m³ (%23) ve toplamda kullanılan su 57 milyar m³ verilmektedir (DSİ 2021). Suyun önemini anlamak ve tartışmak için küresel ölçekte su verimliliği an itibari ile yoğun şekilde tartışılmaktadır.

1.2. Türkiye’nin sürdürülebilir hidrolik potansiyeli, Fırat ve Dicle havzalarının karşılaştırılması

Türkiye’nin yağış iz düşümü alanı 781.482 km² verilmekte, yıllık ortalama yağış 614 kg/m² bildirilmektedir. En düşük yağış 394,8 kg/m² ile Konya kapalı havza, en yüksek ortalama yağış 999,9 kg/m² ile Doğu Karadeniz havzasında gerçekleşmektedir. Yıllık havza verimi en düşük Burdur göller havzasında 1,2 L/s/km² ve en yüksek Doğu Karadeniz havzasında 22,8 L/s/km² olarak hesaplanmaktadır. Doğu Karadeniz havzasını 22,7 L/s/km² ile Fırat-Dicle havzası izlemektedir. Bu nedenle Fırat-Dicle havzası bereketli hilali temsil etmektedir. Bu nedenle Fırat-Dicle havzasında 4.120.642 ha sulanabilir alan verilirken, toplam alanın (12.721.193) $\cong$ %32’sini temsil etmektedir. 9 vilayetten oluşan GAP eylem planında suyun hidrolik gücünü Fırat ve Dicle Havzası’nda vücut bulduğu söylenebilir.

Su ayak izi (Water Footprint) hangi mamul maddenin hangi kütleli (ton) veya hangi hacimsel (m³) su ile elde edildiğini tümüyle hesaplanabilir hale getirmiştir. Çünkü tatlı suyun, erişimi en kıt olan doğal kaynaktır. Ve alternatifi bulunmamaktadır

(Hoekstra and Chapagain 2007).

Türkiye’de tüketilen suyun alıcı ortama deşarjı ile su ve toprak kayıplarının anlamlı şekilde yok edilmesi ve yitirilmesi, doğal kaynakların antropojenik baskı kaldığının kanıtıdır. Türkiye’de “Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi’nde (SYGM, 2019)” 1000 ha ve üzerinde 331 sulama tesisinden dönen suların miktarı yıllık 3,3 milyar m³ olarak belirlenmiştir. Buna göre, yeniden kullanılabilir olan suların, %64’ünün (2,1 milyar m³/yıl suyun) tarımsal sulamada, %36’sının (1,2 milyar m³/yıl) ise çevresel kullanımda değerlendirilebileceği tespit edilmiştir. İklim değişikliğinin su kaynakları üzerine olan baskısını azaltmak, su kaynaklarının verimli kullanılmasını teşvik etmek için ve kullanılmış suların geri kazanılarak yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya çıkmıştır. Sektörel su tahsisinde en fazla suyun alıcı ortama kullanılmadan yararlanacak sektör tarımdır. Özellikle tarımsal sulama orijinli sediman miktarı ile zenginleşen kullanılmış sular, tekrardan kullanacak sektör yine tarım sektörü olacaktır. Suyun bu şekilde anlamlı ve dramatik kaybı gerek kütleli ve gerekse hacimsel olarak izahı mümkün olmamakta, su ile kaybedilen katma değerlerin astronomik rakamlara eriştiği bilinmekte ve geri kazanımı mümkün olmayan doğal toprak kaynaklarının yok olduğu görülmektedir. Suyun birçok önemli asli görevleri bulunur. Bunlar içme-kullanma suyu, sağlıklı ve dengeli beslenme için besin zincirinin tedariki, park-rekreasyon, sanayi, Hidroelektrik Santrali (HES), enerji üretimi vb. taleplerin karşılanmasıdır. Saymakla bitmeyecek olan doğal kaynak kimliğine sahip suyun amaca uygun kullanılmamasından dolayı, su kullanımı üzerine dünyada çok farklı çalışmalar yapılmaktadır.

1.3. Çalışmanın Amacı

Dünyada kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı her geçen yıl azalmaktadır. Çünkü bilinçsiz su tüketimi ve nüfusun her geçen gün hızla artması su fakiri olmamıza gerekçe olarak gösterilebilir. Ayrıca iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine olan baskısını azaltmak için, su kaynaklarının verimli kullanılması ve kullanılmış suların geri kazanılarak yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Su tüketiminin büyük bir kısmı tarımsal sulamalar için kullanıldığından dolayı, HT13-2 tahliye kanalından Erdemli Regülatörüne saptırılan sulardan sediman ve kirletici maddelerin beton kaplamalı trapez kesitli kanallarda çelik fildöfer tekniği kullanılarak

sediman tutulumun sağlanması, dönen suların kalitesinin arttırılması ve tekrardan kullanıma uygun hale getirilmesi hedeflenmektedir (Şekil 1.3.1).

1.4. Literatür

1.4.1. Literatür Özeti

Yirmi birinci yüzyılın ilk çeyreğinde suların geri kazanım uygulamalarında ortak akıl kullanılmış, halk sağlığını önemseyen, çevre ekosistemine zarar vermeyen standartlar geliştirilerek rehber dokümanlar hazırlanmıştır. Özellikle su kıtlığı yaşayan ülkeler için kullanılmış suların yeniden kullanımı, alternatif su kaynağı olarak öngörülmüş ve bu suların yeniden kullanılmasına başlanmıştır.

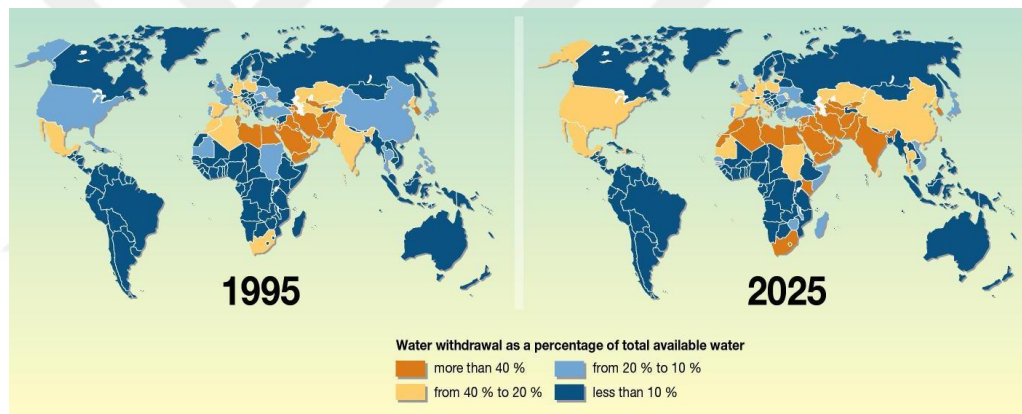
Dünyada suların geri kazanımı ile ilgili hazırlanan en önemli rehber doküman EPA (United States Enviromental Protechtion Agency)'dır. Su Geri Kazanım Rehberi olarak 1980 yılında yayınlanmıştır. EPA'nın amacı; geri kazanım sularının lokasyonlarının belirlenmesi ve listelenmesi ayrıca bu suların uluslararası mevzuatlara uygunluğu, ulusal mevzuatlarla aykırılıkların gözden geçirilmesi, geri kullanımlarda halkın algısı ve tepkisi, fayda ve risk analizlerin yapılması öncelikler arasında yer almıştır (EPA, 2012).

Özellikle tatlı su kaynaklarına sera gazı emisyonlarının, iklim değişikliği üzerine oldukça anlamlı etki yaptığı, su kaynaklarının miktarını ve kalitesini olumsuz yönde etkilediği kabul edilmiştir. Suyun kullanıldığı sektörel dağılım incelendiğinde; tarım ve gıda güvenliği, enerji üretimi, sanayi, içme-kullanma suyu temini, su içi ve çevre ekosistem koşullarının düzenlenmesi vb. alt taleplerde önemli yer tutmuştur. Küresel ölçekte toplam kullanılabilir suyun; %65'inden fazlası tarımsal sulamada, %20'si endüstride ve %10'u içme ve kullanma suyu için tüketmektedir (Metcalf and Eddy, 2003).

Kırsaldan kentsel alanlara göçü tetikleyen en önemli faktörden birkaçı; kontrolsüz nüfus artış hızı, kırsal yaşamda sosyal güvenlik şartlarının yetersizliği örnek olarak verilebilir. 2020 yılında küresel ölçekte kentte yaşayan insan popülasyonu 2,9 milyar olup an itibariyle, dünya nüfusu $\cong$ 8 milyar verilmektedir. 2030 yılında bu rakamın anlamlı şekilde artacağından dolayı kent yaşamı daha üst noktalara çıkacağı bildirilmektedir (<https://www.worldometers.info/world-population/>).

Nüfus hızla artarken, temiz suya olan erişim, nüfusun artışına paralel olarak artış

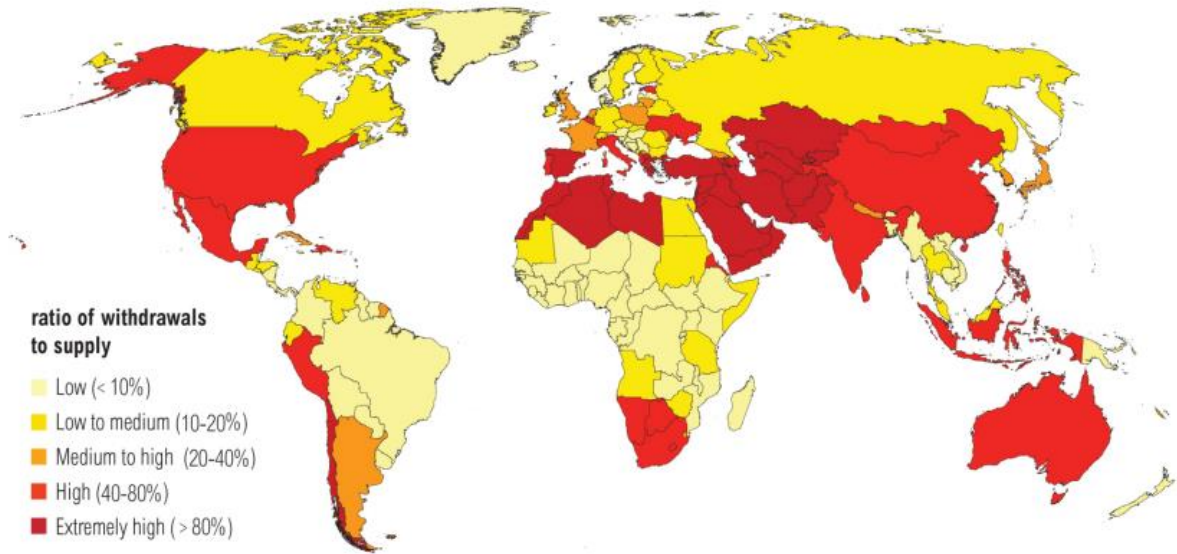
göstermektedir. Böylece tarımsal sulama kütle/hacim miktarı ciddi şekilde artmaktadır. Tarımsal sulamalarındaki bu talebin karşılanması, kullanılmış suların yeniden kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Çünkü su kıtlığının göstergesi için birçok indikatör kullanılır. Su kıtlığı tanımını yapmak için Falkenmark İndikatöründen yararlanılır. Bu indikatöre göre kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı ülke ve bölgelere göre sınıflandırılabilir. Buna göre; $>1.700 \text{ m}^3/\text{yıl}$ stres olmadığı, $1.700-1.000 \text{ m}^3/\text{yıl}$ su stresi yaşandığı, $1.000-500 \text{ m}^3/\text{yıl}$ su kıtlığının ciddi bir şekilde hissedildiği ve $<500 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olduğunda mutlak su kıtlığının göstergesidir (Falkenmark;1989). Yer kürenin küresel ölçekte 2015 ve 2040 yılında su stres haritalarına bakıldığında, tatlı su erişiminin son derece kısıtlı olduğu ve yakın gelecekte (2040), bu çemberin daha da artacağı söylenebilir. Su stres sorunlarının gideriminde kullanılmış suların yeniden kullanımı son derece önemli rol üstlenebilir (Şekil 1.1. ve Şekil 1.2.).



Kaynak: <https://www.grida.no/resources/5625>

Şekil 1.1. Yer kürenin 1995-2025 yılında su stresi altında olan Bölgeler, Ülkeler ve Kıtalar harita üzerinde gösterilmiştir (Falkenmark, 1989)

Water Stress by Country: 2040



NOTE: Projections are based on a business-as-usual scenario using SSP2 and RCP8.5.

For more: ow.ly/RiWop

 WORLD RESOURCES INSTITUTE

Kaynak: <https://reliefweb.int/map/world/water-stress-country-2040>

Şekil 1.2. Yer kürenin 2040 yılında su stresi altında olan Ülkeler ve Kıtalar (Falkenmark, 1989)

Türkiye’de 112 milyar m³ elverişli suyun bulunması ve 86 milyon nüfusun yaşaması nedeniyle, an itibariyle 1.346 m³ suyun kişi başına tahsisi, Falkenmark İndikatörüne göre sınıflandırıldığında ve su stresi yaşadığını kanıtlanmaktadır. Türkiye’de bu sonuçlar, su ve suya dayalı yaşamın önemli olduğu ve kullanılmış suların tekrar kullanımının gelecek için zorunluluk doğuracağı şimdiden görülebilir.

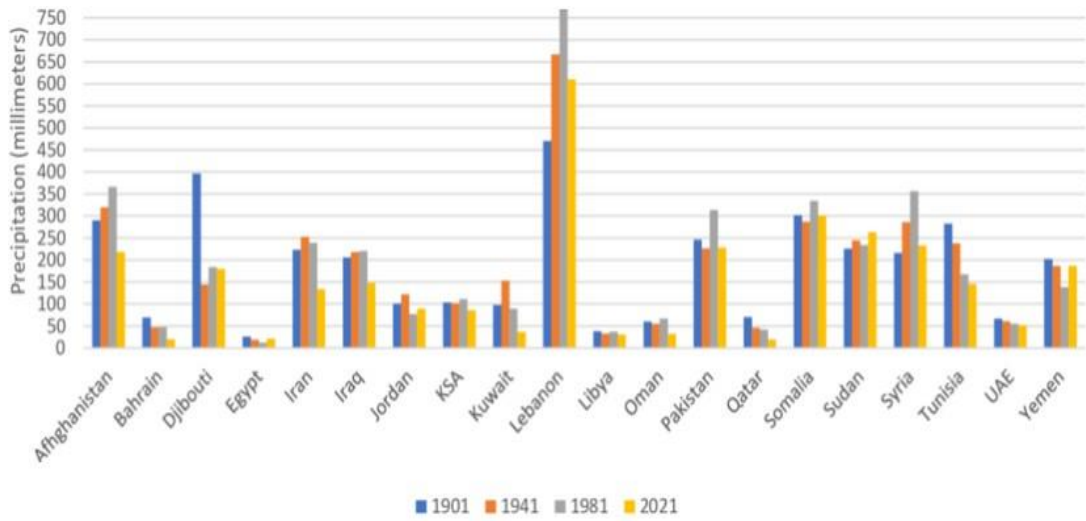
Jones et. at., (2021) bildirdiğine göre, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki kullanılmış sularda temel sorun sırasıyla; atık suları toplamak, arıtmak için altyapı oluşturmak ve en önemlisi finansal kaynakları temin etmektir. Bazı prosesler için özellikle ileri arıtma teknolojileri gerekli olabilir. Bu yaklaşım arıtılmış atık suların yeniden kullanımının tetikleyici bir sonucudur. Nitekim tatlı su kaynaklarını arıtmak en kolay yaklaşımdır. Arıtılmış atık suların yeniden kullanımı Ortadoğu, Kuzey Afrika gibi kurak ülkeler için önemli bir kaynak niteliğindedir. Atık Su Arıtma Tesisleri (AAT)’den geçen suların sadece tek bir fırsatı bulunmamaktadır. Atık su aynı zamanda bir besin ve enerji kaynağı potansiyeline sahiptir. Atık sular ileri arıtma yöntemleriyle kilit rol oynar. Ancak araştırmacılar, atık suyun yeniden kullanımının güvenli olması için güçlü mevzuat ve yönetmelik hükümlerine göre işletilmesi gerekliliğini vurgulamışlardır. Çünkü halkta önemli bir direnç bulunmaktadır. Bu direnç ise halkın arıtılmış atık suya karşı ön yargılı yaklaşımına dayanmaktadır. Dünyada atık su

(atıksu) tesislerinden (AAT'den) yıllık 359 milyar m³ atık su geçmekte, bu hacmin sadece 170,9 milyar m³ (%48) işlem gördüğü bildirilmektedir. Buna rağmen AAT'den geçen suların sadece %11'i kullanılmakta, kullanılmayan suların alıcı ortama deşarj edildiğini bildirmişlerdir.

Türkiye'nin atık sularındaki yaklaşımı ve performansı incelendiğinde, 2008 yılı kayıtlarına göre 8,7 milyar m³ kullanılmış su alıcı ortama verilirken, 2014 yılında bu rakam 12,7'e milyar m³ yükselmiştir. Bu sonuçlar göstermiştir ki; kullanılmış suların orijini tarımsal sulama, organize sanayi bölgeleri (OSB'ler), maden işletmeleri ve evsel atıklar olduğu görülebilir (SYGM TUBİTAK-MAM, 2017).

Türkiye'nin 78 milyon hektar alanının, 28 milyon hektarı tarımsal alan olarak verilmekte, bu alanın ekonomik olarak sulanabilir alanı ise 8,5 milyon hektar olduğu ve 2021 yılı sonu itibarı ile 6,5 milyon hektar sulamaya açıldığı bildirilmektedir. Sulamaya açılan bu alanın %80'i yer üstü kaynaklardan pompaj ve cazibe ile %20'si sulama kooperatifleri tarafından yer altı su kaynaklarından pompaj sulama ile gerçekleştirildiği bildirilmektedir (DSİ, 2022). Genel olarak su kıtlığının ve buna bağlı olarak kuraklığın oluş nedenleri; aşırı su kullanımı, antropojenik deformasyon, istikrarsız su politikası, ücret tarifesinde alansal bazlı su bedelinin ödenmesi ve hacim esaslı ücret tarifesi uygulanmaması şeklinde verilebilir.

Su kıtlığının yaşanmaması ve kuraklığın gerçekleşmemesi için kullanılmış atık suların geri kazanımları oldukça önem arz eder. Çünkü tatlı suların yerküre üzerinde nüfusa ve ülkelerin demografik yapılarına dayalı olarak adil paylaşılmadığı görülebilir. Örneğin Afrika'ya düşen ortalama yıllık yağış miktarı (mm) ile Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'ya düşen yağış miktarları çok büyük farklılıklar gösterebilir. Ortadoğu ve Kuzey Afrika ülkelerinin oluşturduğu topluluklara [The Middle East and North Africa (MENA)] ait ülkelerde uzun yıllar yağışlara bakıldığında ciddi yağış derinlikleri olduğu görülmüştür. En düşük yağışlar Mısır, Libya ve Körfez ülkelerinde gerçekleştiği söylenebilir (Şekil 1.3.). Suların bu denli düzensiz uzun yıllar MENA dağılım göstermesi toplumların kullanılmış sulardan geri kazanım politikalarını mutlaka gözden geçirmelerini zorunlu kılmaktadır. Temiz toplum ve sağlıklı yaşam için kullanılmış suların alıcı ortama deşarj edilmeden önce arıtılmasını gerektirmektedir. Kullanılmış suların geri kazanımında planlama ve yönetim; bu politikaların zaman zincirinde önemli yer tutar. 1980'li yıllardan sonra kalkınmış, ülkelerde sanayi devriminin ivme kazanması, yoğun çevre kirliliğinin oluşmasına sebebiyet vermiştir. Sonuç olarak bu kirlilikten en fazla etkilenen su kaynakları olduğu gözlemlenmiştir (Harmancıoğlu ve ark., 2002).

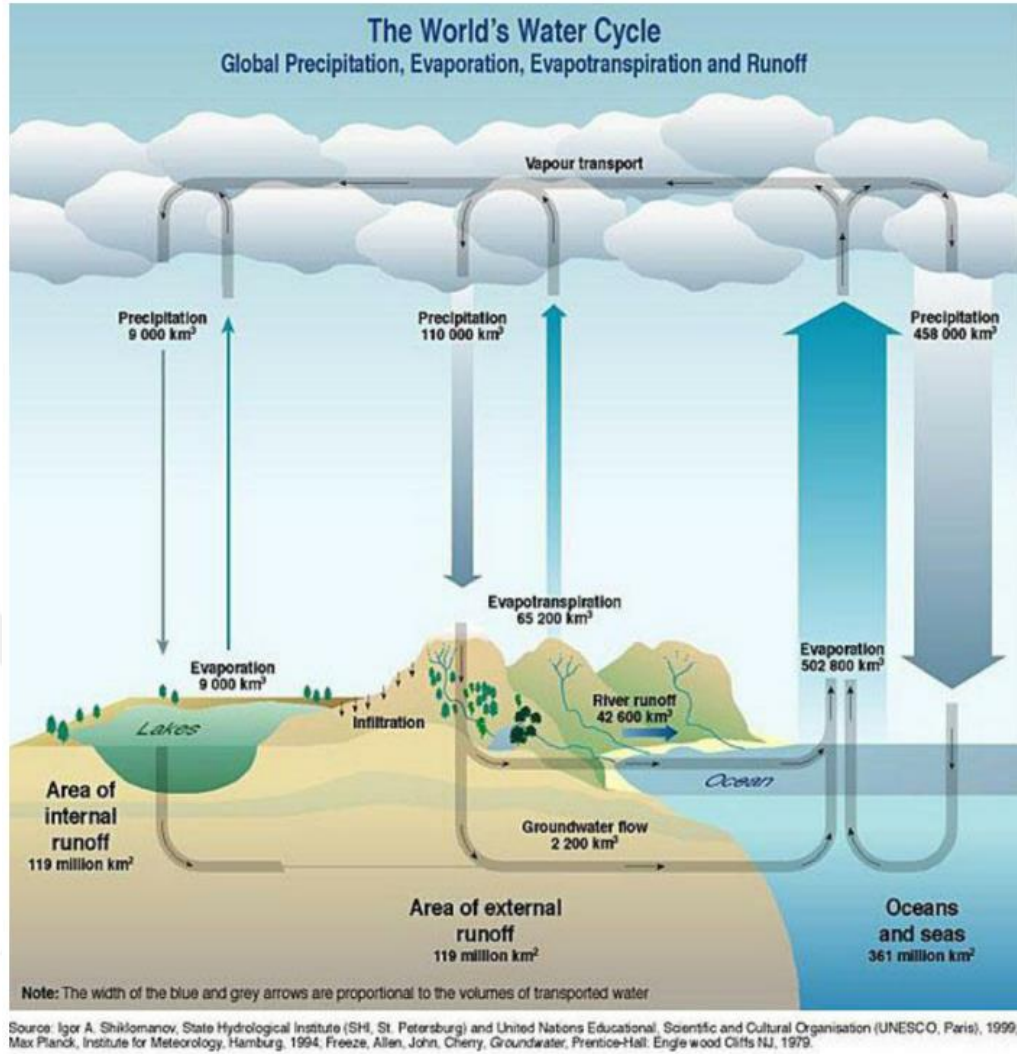


Kaynak: https://www.researchgate.net/figure/Trend-in-annual-precipitation-millimeters-year-in-various-countries-of-the-EMR-Data_fig2_366422208

Şekil 1.3. MENA ülkelerinin 1901, 1941, 1981 ve 2021 yıllık ortalama yağışları (mm)

Yıllık ortalama yağışların son derece düşük gerçekleştiği Basra Körfezi, Ortadoğu ve Afrika ülkelerinin bazılarında önemli su açığı bulunduğu bilinmektedir. Kullanılmış suların yeniden kullanımı bu açığın kapanmasına ciddi katkı sunacağı düşünülebilir. Bu durumda hassas bölgelerin korunması ve katma değeri yüksek nütrient değerlerinden kazanım sağlanması mümkün olabilir. Böylece MENA ülkeleri için kullanılmış suların yeniden kullanımı rehber niteliğinde görülebilir. Özellikle Florida ve Kaliforniya’da derin deşarj yolu ile nütrientlerin çevre üzerindeolumsuz etkiler yarattığı gözlenmiş bu suların ve nütrientlerin geri kazanımlarının sağlanması bir politika olarak geliştirilmiştir (EPA, 2012).

Şekil 1.4. de görüleceği gibi kategorik olarak yerküre ve atmosfer arasındayıllık su döngüsü incelendiğinde; karalara ve göllere düşen yağış miktarları sırasıyla 110.000 km³ ve 9.000 km³ şeklinde gerçekleşir. Buna karşın denizlere düşen yıllıkyağış 458.000 km³ tür, oysa karalar ve göllerden buharlaşan su miktarları sırasıyla 65.200 km³ ve 9.000 km³ şeklinde verilir. Buna karşın denizlerden 502.800 km³buharlaştığı hesaplanmıştır. Gerek karalarda gerekse göl ve denizlerde buharlaşan sular ile yağışlar birbirine eşit değildir. Çünkü denizlere düşen yağış denizlerden buharlaşan suya karşı daha düşüktür. Aradaki fark 44.800 km³ hesaplanan yağış farkıkaralardan ve yer altı suyundan denizlere mansaplanan kaynakları ifade eder. Bunlar karalardan 42.600 km³ ve yer altı sularından 2.200 km³ şeklinde saptanmıştır (Shiklomanov, 1998).



Kaynak: [world water cycle \(Source: Shiklomanov, 1993\) | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#)

Şekil 1.4. Yerkürenin yıllık hidrolojik su döngüsü

Entegre Su Yönetimi kavramı, yaşamsal olguyu toplu olarak ele alır. Sosyal ve ekonomik hedeflerle birleşerek bir bütünlük oluşturur. Bu politikanın amacında; paydaşları oluşturan aktörlerin görüşü, beklentisi ve ekolojik yaşamın uygun

koşullarda birlikte olması istenir. Beklentilerin karşılanmasında sosyal ve ekolojik bütünlük önem arz eder (Güney, 2015). Entegrasyon yönetiminde genel yaklaşım; su tasarrufu, atık suyun tekrar kullanımı, yağmur suyu hasadı, yeraltı suyu enjeksiyonu vb. amaçlar (EPA, 2012).

Kullanılmış suların geri kazanım sistemlerindeki planlamada; potansiyel kullanıcıların önemli bir kısmı ihtiyaç duyacakları suyun kütlesini yatırım programlarında gösterebilirler. Kimi sektörlerde kullanılmış sular direkt olarak prosese dâhil edilebilir, örneğin soğutma sistemlerinde olduğu gibi, suyun son derece ucuz maliyetinden dolayı tercih nedeni olabilir. Bu kullanım şekilleri yasal politikalarla güncellenebilir. Kullanılmış suların planlama aşamasında; suyun prodesteki döngüsü için uygun programlar kullanılarak fizibilitesi yapılmalıdır. Suların kullanımında optimizasyon programları ile farklı proseslerde kullanım önceliklerine göre hesaplanmalıdır. Hedeflenen kullanım proseslerinde stratejik öneme sahip yatırımlara öncelik verilmelidir.

Atık sular tarımsal, endüstriyel amaçlar için kullanılmasının yanında, olası yangınlardan korunmak için de kullanılabilir. Ancak böyle bir uygulama için ek bir proje bütçesi gerekebilir. Çünkü şehir şebeke suyu dağıtım sistemlerinde, yangın suyu hesaplamaları yapılmakla birlikte, yangın için öngörülebilecek su tahsisi şebekeye kapasite olarak yüklenmektedir. Bu nedenle ilave boru planlaması gerekebilir (Angelakis ve Snyder 2015).

Kullanılmış suların yeniden kullanımı, yüksek kaliteli su gerektirmeyen uygulamalar için güvenilir bir alternatif su kaynağı sayılabilir. Kanada'da kullanılmış suların yeniden kullanımı, küçük ölçekli eğitim biriminde rekreasyon alanlarda başarılı bir şekilde sonuç vermiştir. Britanya Kolombiyası'nda tarımsal ve peyzaj sulamada atık sulara olan ilgi ciddi bir şekilde artış göstermiştir (Mujeriego, et. al., 1996; BC MAFF, 2001).

1.4.2. Kullanılmış suların yeniden kullanımına ait başlıklar

1. Tarımsal sulamada,
2. Kentsel ve rekreasyonel alanlarda,
3. Yerinde gri su,

4. Endüstriyel kullanım ve

5. Yeraltı suyu besleme şeklinde açıklanmıştır (Marsalek et. al., 2002).

Tarımsal sulardan geri kazanılan suyun en uygun ve en yaygın uygulandığı saha yine kendi içerisinde tarımsal alanlardır. Nitekim arıtılmış atık su ile tarımsal sulamanın yoğun olarak kullanıldığı coğrafya Orta Doğu ve Akdeniz'de su sıkıntısı çeken bölgelerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Ancak diğer ülkelerde de bu uygulamalar artmaktadır. California'da kullanılmış suların 1999 yılından beri yoğun şekilde kullanıldığı bildirilmektedir (Asano et. al., 1992).

Kanada Britanya Kolombiyası Tarım, Gıda ve Balıkçılık Bakanlığı, kullanılmış suları yeniden kullanılması için, Sulama Sistemi Tasarımı Rehberini (BC MAFF 2001) hazırlamışlardır. Belediye Kanalizasyon Yönetmeliği (Municipal Sewage Regulation: MSR) ile kullanılmış suların, bitkinin ihtiyaç duyulan dönemlerinde topraktaki nem açığının giderilmesi amacıyla uygulanabileceğini bildirmiştir. Farmasötik aktif bileşikler ve cilt bakım ürünleri, üçüncül arıtılmış atık su ile konvansiyonel sulanan alanlardan kaçınılması gerektiği bildirilmiştir (Pedersen et. al., 2002).

Topraktaki tuz konsantrasyonları, toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelini etkiler. Bu sonuç bitkilerde uygun su ekstraksiyonuna müdahale demektir. Bitkilerde optimum verim seviyesine ulaşılması, ancak optimum bitki-toprak ilişkisi kurularak ürünün sulanması ile olasıdır. Üründe verim artış hızı ise toprakta uygun nem düzeyi ile mümkün olduğu bildirilmiştir (Feigin et. al., 1991).

Sulamada kullanılan atık su, toprakta tuzlanmayı veya sodifikasyonu (diğer katyonlara göre değiştirilebilir sodyum fazlalığı) teşvik edebilir. Çözünür tuzlar kök bölgesinde yoğunlaştığında tuzluluk sorunları ortaya çıkar. Böylece bitkilerin suyu ve besinleri emme kapasitesini sınırlayan ozmotik strese neden olur (FAO, 2007). Sonuç olarak, toprak tuzluluğu veya sodikliğindeki değişikliklerden toprak mikrobiyotası etkilenir. Mikrobiyal topluluklar üzerindeki bu etkiler, öncelikle toprak yapısındaki değişiklikler ve ozmotik potansiyeldeki azalmalarla ilişkilidir (Chowdhury et. al., 2011).

Konvansiyonel sulamalarda suların arıtılmadan kullanılması çiğ tüketilen sebze tarımı hariç düşük risk taşıdığı, buna karşın arıtma prosesinden geçen suların, toksik kimyasal seviyelerinin tolerans sınırlarında kalacaklarından dolayı tarımda

kullanılmasında sakınca olmadığı bildirilmiştir. AAT'den çıkan suların tarımda kullanılması isimli kitapta; sulama metotlarında atık su kullanımına dair ilke ve uygulamalar gözden geçirilmiştir. AAT'den geçen suların tarımsal sulamalarda kullanılması döngüsünde toprak, bitki ve çevre ile olan ilişkiler çalışılmıştır. Suyun yüksek performans ile verimli kullanımında; gübreleme, tuzluluk, azot, fosfor ve iz elementler ile mikrobiyolojik faaliyetlerin pozitif yönde etkili olduğu sonucuna varılmıştır (NRC, 1996).

Özellikle çiğ tüketilen sebze ve meyvelerin sulama teknikleri, tüketilen gıda üzerinde önemli bulaş riski taşıdığı örneğin damla sulama yönteminin bu riski azalttığı, çünkü virüs ve bakterinin tüketilecek gıda üzerinde bulaşık olamamasından dolayı bulaş seviyesini düşüreceği söylenebilir. Özellikle çiğ tüketilen sebzeler örnek olarak verilebilir (Oron et. al., 2001). Nitekim kullanılmış suların tekrar tarımsal sulamada kullanımı Kanada'da çok uzun yıllar içerisinde yürütülen çalışmalarla kanıtlanmıştır (Coote ve Gregorich 2000).

“British Columbia Toprak, Orman ve Su Kaynakları” departmanı, arıtılmış atık suların sulamada kullanılmasının sağlık yönleriyle ilgili raporunda; içerik olarak değerli bir su ve besin kaynağı olduğu sonucuna varmışlardır. Ancak halk sağlığının korunması için patojenlerin limitlerinin azaltılması gerektiği vurgulanmıştır (Parsons et.al., 1975). Buna karşın Epidemiyolojik çalışmalar, tarımsal ürünlerin sulanmasında hiç arıtılmamış veya minimum seviyede arıtılmış suların, sulamalarda temas yoluyla veya çiğ tüketilen sebze ve meyvelerde bulaşıcı hastalıkların görülebileceği endişesi paylaşılmıştır (Crook, 1998; Shuval, 1993).

Kullanılmış sular tarımsal amaçlı kullanıldıklarında, topraklarda derine sızma yoluyla alt katmanlara geçtiği, böylece adhezyon kuvvetleriyle toprak yüzeyinde adsorpsiyon oluşturduğu ve kil yüzeyine tutunduklarını açıklamışlardır. Kimi zaman patojenlerin toprak yüzeyine tutulduğu ve güneşin doğal ısıl işlemine maruz kaldıklarını bildirmişlerdir. Oysa sebze ve meyvelerde patojenik bakteriler mevsime, hava durumuna ve kontaminasyon derecesine göre birkaç günden ve birkaç haftaya kadar canlı kalabildiğini, virüsler bitkiler üzerinde günlerce yaşayabildiklerini ifade etmişlerdir. Virüslerin tipi, sıcaklık ve nem içeriği, pH, toprak dokusu, diğer mikroorganizmalar, katyonlar ve organik maddeler virüslerin topraktaki kalıcılığını ve

enfeksiyon hastalıklarına neden olabilecekleri sonucuna ulaşmışlardır (Blanc ve Nasser 1996).

Hogg ve ark. (1997), tarafından yürütülen çalışmada, Alberta eyaletinde 3.050 hektar (ha) ve toplamda 5.700 ha olan 65 adet sulama şebekesinde çalışılmıştır. Kanada'da Saskatchewan'da 2.620 ha ve Manitoba 53 ha alanda kullanılmış suların yeniden kullanımı ile üç farklı lokasyonda (Swift Current, Moose Jaw ve Northminster) proje izleme ve değerlendirmeye tabi tutulmuş, elde edilen veriler analiz edilmiştir. Topraklarda farklı bulaş riski bulunan virüs ve bakteriler olsa dahi uygun sulama yöntemleri uygulanarak, kullanılmış suların sürdürülebilir olacağı kanaatine varılmıştır. Biyosistemlerde değişikliklerin meydana geldiği belirtilmiş olsa da araştırmacılar, uygun metodoloji tercih edildiğinde atık su kullanımının tarımda sürdürülebilir olacağı sonucuna varmışlardır.

Alberta'da yem bitkilerinin (Bole ve Bell 1978), Saskatchewan'da yonca bitkisinde (Jame et al. 1984) ve British Columbia'da kiraz ağaçlarında. Neilson ve ark. (1991), klorlu sekonder atık su ile sulanan kiraz ağaçlarında, beş yıl yerine, iki yıl sonra bitkide ciddi şekilde büyüme gözlemlemişlerdir. Atık suların, hem yaprakta hemde toprakta besin seviyelerini bir dereceye kadar değiştirdiği, ancak topraklardatuzluluk seviyesini bir miktar artırdığı sonucuna varmışlardır.

Exall et. al., (2004) Atık su sulama projelerinde dengeli bir yaklaşım gerekir. Bunun için atık suyun kalitesi dikkatlice izleme ve değerlendirmeye tabi tutulmalıdır. Geri kazanılan sudaki nitrojen ve fosfor, bitki büyüme süreçlerine faydalı olsa dahi, sulardaki aşırı besin yükü, yer altı suyu kaynakları için risk taşıyabilir. Benzer şekilde toprakta tuz yığılması önemli drenaj sorununu beraberinde getirir. Bu nedenle yüksek performans değerlerine ulaşılabilceği sonucu paylaşılmıştır.

Kullanılmış suların yeniden kullanımı için golf sahaları ve halka açık alanlar son zamanlarda dünyada yaygın olarak gelişmektedir. Nitekim Florida'da, 2001 yılında arıtılan suyun %43'ü peyzaj ve halka açık alanların sulanmasında kullanıldığı, bu alanın büyüklüğü toplam golf sahasının yarısı olduğu sonucu bildirilmiştir (Florida DEP 2002).

Jeppesen, (1996). Sanayi sektörü de kullanılmış sular için oldukça önemli bir kullanım alanı olduğu, Japonya birçok ülkenin aksine geri kazanılan suyun birincil kullanım alanının tarımsal alan şeklinde deklare ettiğini bildirmiştir.

Funamizu et. al., (2001), kullanılmış suların kullanılabileceği farklı alanları saptamaya çalışan araştırmacılar; alternatif olarak atık sudaki ısı enerjisinin ısıtma ve iklimlendirmede kullanılabileceğini, çünkü Sapporo AAT'sinden çıkan suyun şebeke suyuna göre 10°C daha fazla olduğu, bu nedenle kış aylarında kar erimesinde bu suları kullanabileceğini önermişlerdir. Çünkü karın erimesi; karın erime hızına, atık suyun akış hızına veya şiddetine, karın sıcaklığına, karın yoğunluğuna ve özgül ısı kapasitesine (maddenin bir gramının sıcaklığını 1°C artırmak için gereken enerji miktarına) bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

Townshend, (1993).Evsel atık su kaynağını, tuvalet ve gri su şeklinde tanımlamıştır. Gri suyunun kullanım alanı, tuvalet sifonu ve sulama gibi içilebilir olmayan uygulamalar için alternatif bir su kaynağı olarak önermiştir.

Sanayinin sektörel su ihtiyacının karşılanması için, kullanılmış suların yeniden kullanımı büyük bir fırsattır. 1940'larda Baltimore, Maryland suyunun Bethlehem Steel tarafından yeniden kullanılmasıyla başlamış, Los Angeles bölgesindeki ham petrol rafinerilerinde ve elektrik tesislerinde soğutma amaçlı kullanılmasıyla geri kazanılmış belediye atık suları ayrıca kağıt sanayi, kimyasal üretimi, çelik üretimi, tekstil, petrol ve kömür ürünleri gibi endüstriyel proses uygulamalarında, beton üretimi, toz kontrolü ve temizliği için inşaat projelerinde kullanıldığını bildirmiştir (Asano ve ark. 1992).

1.4.3. Çalışmanın Özgün Değeri

Ülkemizde barajlar, regülatörler, tüm yer üstü ve yer altı su kaynaklarına ait su yapıları ile tarım sektöründe kullanılan suların %70'den fazlasının tüketildiği ve $\approx 6,5$ milyon ha alanın sulanabildiği bilgilendirme notlarından anlaşılmaktadır (DSİ, 2021). Gerek su kaynakları ve gerekse toprak kaynakları ülkeler için önemli doğal kaynaklar olduğundan dolayı kullanılmış suların yeniden kullanılmasına yönelik, dünyada son 20 yılda çok ciddi çalışmalar yürütülmektedir. Projede kullanılacak olan Perdeli Yapay Sulak Alanlar (PYSA) yönteminde suların hızlarının karakterlerinden dolayı kanal

yataklarında fildöfer sistemlerinde menderesler oluştururlar. Çünkü suların hızlarındaki değişkenlik ($\pm$) enerjinin fildöferde sönümlemesinden kaynaklanır. Böylece sedimanın fildöferin önünde ve arkasında çökelimin sağlanması amaçlanır. Bu çalışmada fildöferlerden geçen suların tekrar tekrar (n) kez kullanımına olanak sağlayacak su yapılarının regülatörlerin oluşturulması hedeflenmektedir.

1.4.4. Çalışmanın Yaygın Etkisi/Katma Değeri

PYSA küresel ölçekte ilk kez su yapılarında kullanılmaktadır. Projenin başarılı olması halinde su yapıları için tahsis edilen elverişli suların %70'den fazlası konvansiyonel yöntemlerle tüketildiğinden dolayı fildöferlerin çözüm olacağı düşünülmektedir. Çünkü PYSA su yapılarından olan tahliye kanallarında önemli bir görevi üstlenmekte, sedimanı tekrar kaynağında kullanımını hedeflenmektedir. Ayrıca fildöferden geçen kullanılmış suların n kez kullanılmasına olanak sağlanması amaçlanmaktadır. Konvansiyonel sularda efektif kullanılabilir alternatif fildöfer yapılarının modellenmesi yapılarak yaygın etki ve katma değer yaratılmaya çalışılmıştır.

Son yıllarda yaşanan şiddetli kuraklık nedeniyle, artan su taleplerinden dolayı kuraklık ve özellikle sulamalardan dönen suların varlığı kendisini ciddi şekilde hissettirmektedir. Bu nedenle atık sular alternatif su kaynağı olarak kullanılabilirdiğinden dolayı, su açığının önemli oranda kapanabileceği görülebilir. Alternatif su kaynakları işletim ve yönetim planlarının zaman kaybetmeden suyun kullanım ve yönetim hakkı kendinde olan DSİ tarafından Türkiye için oluşturulması gerektiği söylenebilir. Kuraklık sıkça yüzleştığımız ve özellikle Akdeniz ve Ortadoğu/Kuzey Afrika [Middle East/North Africa (MENA)] ülkelerinde; Cezayir, Bahreyn, Mısır, İran, Irak, İsrail, Ürdün, Kuveyt, Lübnan, Libya, Fas, Umman, Katar, Suudi Arabistan, Suriye, Tunus, Birleşik Arap Emirlikleri etkisini göstermektedir (Fragaszy et. al., 2020).

Yeterli alt yapısı uygun olmayan ve yeterli su kaynağı bulunmayan sulama sistemlerinde çiftçiler, suya erişimde çok büyük güçlükler yaşayabilirler. Böylesi sulama sistemlerinde suyun kaynağı atık suyun kullanımını zorunlu kılması durumunda, AAT'den geçirilmesi gerekmektedir. Oysa birçok ülkede bu sular

herhangi bir arıtma prosesinden geçmeden, doğrudan kullanıldığı bilinmektedir.

Arıtılmamış suyun sulamada doğrudan kullanılması kimi zaman insan, çevre ve gıda güvenliği için tehlike oluşturabilir. Ancak bu suların kullanımında insan sağlığını dikkate alan, toprağı ve bitkiyi bulaş riskinden koruyan parametrelerden oluşan suların yeniden kullanılması önerilmelidir. Bu amaçla, arıtılmış suyun hangi koşullarda ve hangi bitki türleri üzerinde kullanılacağı ön çalışmalarla saptanabilir. Bu önerileri dikkate alarak arıtılmış suların yeniden kullanılmasında risk oluşturmayacağı söylenebilir. Bu sınırlar, Türkiye için farklı tarihlerde Resmi Gazete’de güncellenerek yayınlanan “Yer üstü Su Kalitesi Yönetmeliğı’nde” açıklanmış ve uyulması gerekliliğı vurgulanmıştır. Yönetmelikte parametrelerin sınır değerleri, Amerika Çevre Koruma Ajansı (U.S.-EPA; U.S-Environmental Protection Agency. 2008) ve Avrupa Birliğı Su Çerçeve Direktifi (Water Framework Directive [2000/60/EC](#)-E.U-WFD) kriterleri dikkate alınarak kullanımları öngörölmüştür (U.S-EPA, 2004; and E.U-WFD,2000). “Avrupa Birliğı Su Çerçeve Direktifi” Nehir Havzası Yönetim Planlarının ilkelerini kapsar ve üye ölkeler için bir program ve zaman çizelgesinden oluşur. Farklı amaçlar için kullanılan suların kriterleri de farklılık gösterir. Örneğın içme suyu direktifi (98/83/EC), yer altı suyu direktifi (80/68/EEC) ve Nitrat Direktifi (91/676/EEC) vb. bulunmaktadır.

Dünya nüfusu 2023 yılı başında $\cong 8$ milyar iken, 2050 yılında projeksiyon $\cong 9,8$ milyar seviyelerine yükseleceğı hesaplanmaktadır. Yukarıda gösterildiğı gibi birçok kaynak, bu değerlere yakın verilmektedir (UN, 2017). Artan dünya nüfusu hızlı şekilde yükselmesine rağmen, doğal su ve toprak kaynakları sabit kalmaktadır. Bu durum gıda üretiminin arz güvenliğini riske etmektedir. Dünyadaki kentleşme hızının artması sonucu, 2030 yılında ekili alanların %1,8-%2,4 oranlarında yok olacağını ifade etmektedirler. Çünkü her geçen gün tarım arazileri kentsel yapılaşmaya doğru kaymaktadır (d'Amour et al. 2017). 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye’de 11 ilde meydana gelen 7,8 ve 7,6 şiddetinde sismik hareketlerin tarım alanlarının yoğun kullanıldığı ve sivilaşmanın bu nedenle gerçekleşmesi sonucu çok ciddi şekilde can ve mal kaybına neden olmuştur. Bu doğal afet ikazı gerek tarım toprakların gerekse de doğal su kaynaklarının sadece gıda güvenliği arzında kullanılmasının zorunluluğunu işaret etmektedir. Çünkü tarım toprakları düz ve düze yakın olup toprak agregalarının su tutma kapasiteleri sivilaşmaya neden olduğu bilinmektedir. Bunun sonucu $\cong 50.000$

insanın kaybedildiği söylenebilir. Oysa artan nüfusun gıda ihtiyacını karşılamak için daha fazla ekim alanına ihtiyaç duyulurken, kentleşme, sanayi, altyapı ve ulaşım için arazi kullanım taleplerinin artması, buna karşın toplam ekili alanların azalması endişe verici bir sonucun habercisi sayılabilir. Özellikle iklim değişikliği kurak ve yarı kurak bölgelerde bu risklerin daha da artacağını bildirilmişlerdir (Challinor ve ark, (2014).

Bir başka yaklaşımda Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu (The United Nations Children's Fund: UNICEF) İklim değişikliği ile bugün için 3,6 milyar insan su kıtlığı yaşarken, 2030 yılına kadar 700 milyon insan yoğun su kıtlığından dolayı göç etmeleri beklenmektedir. 2040 yılına kadar, 4 çocuktan 1'i şiddetli su stresinde kalacağı, 2050 projeksiyonuna göre 5-6 milyar insanın su kıtlığı yaşayacağı tahmin edilmektedir. Bu sonuçların nedeni, iklim değişikliğinden dolayı düzensiz mevsim geçişleri ve buna bağlı olarak su taleplerinin ciddi değişim göstermesidir. (<https://www.unicef.org/wash/water-scarcity>).

Güçlü tahminler 2025 yılına kadar dünya nüfusunun %60'nın su kıtlığından etkileneceğini bildirmişlerdir (Rijsberman, 2006). Bunun içindir ki birçok ülkede arıtılmış veya arıtılmamış atık sular tarımsal sulamalarda yoğun olarak kullanılmaktadır (Drechsel, 2010). Nitekim, dünyada arıtılmadan sulanan alan 20 milyon hektar verilmektedir. Arıtılmış atık suların tarımda kullanılması insan sağlığına, çevreye ve en önemlisi ekonomiye fayda sağladığını bildirmişlerdir. Çünkü iklim değişkenliği [climate variability (CV)] ve iklim değişikliği [climate change (CC)] nedeniyle, atık sular alternatif su kaynağı kabul edilmiş ve tarımsal sulamada kullanımına özen gösterilmiştir (WWAP, 2017). Çünkü gıda güvenliği için tarımsal sulamalar kesintisiz sürdürülebilir olmalıdır. Tarımda atık su kullanımının faydalarından en önemlisi, tatlı su kaynakları üzerindeki baskının azalmasıdır. Kullanılmış suların yeniden kullanımı küresel su kullanıcısı olan tarım sektörü için alternatif bir su kaynağıdır. Çünkü mevcut tatlı suların %70'inden fazlası tarım için kullanılmaktadır. Böylece tarımda üretim artmakta ve gıda güvenliği risk altında kalmamaktadır (Corcoran et. al., 2010).

Tarım sektöründe atık suyun kullanımı için bazı şartların yerine getirilmesi gerekir. Çünkü toplam kullanılabilir tatlı suyun %70'i tarım sektöründe kullanılmaktadır. Suyun tuzluluk şiddeti, patojenler, besinler ve ağır metaller suyun en önemli kirleticileridir (Norton-Brandão, 2013).

Bir ülkede suyun verimliliği, suyun derivasyonunun gerçekleştiği kanal sistemlerinin performanslarıyla sorgulanmalıdır. Verimliliğin artması, ülkelerin gelişmişliği ile sıkı bir korelasyon olduğu söylenebilir. Gelişmiş ülkeler sulama suyundaki verimliliği modern sulama teknikleri ve yöntemleriyle çözmektedir. Basıncılı sulamalarda damla ve yağmurlama sulama yöntemleri uygulandığında su kayıpları oldukça düşük gerçekleşmekte, bu uygulamaları gerçekleştirmek için ülkelerin yatırım programlarına ciddi kaynak aktarımları gerekmektedir. Özellikle tarımsal sulamalarda sadece düşük su verimliliğinin önemi kadar, sulamalarla kaybolan sediman/toprak erozyon miktarının da sorgulanması gerekmektedir. Ayrıca içme-kullanma ve sanayi sektöründe kullanılan suyun kaçak kayıp oranları da su verimliliğini ciddi şekilde düşürmektedir.

Kuraklık su kıtlığı çeken bölgeleri etkilediğinde, gıda ve su güvenliği için önemli yansımaların yanı sıra daha geniş sosyal ve çevresel sistemlerin istikrarı için ciddi sorunlar ortaya çıkarır. Bu etkileri azaltmak için, kuraklık koşullarının başlangıcını saptamak MENA ülkelerinden olan dört ülkede; Fas, Tunus, Lübnan ve Ürdün’de kuraklık erken uyarı sistemleri (drought early warning systems: DEWS)’den elde edilen bileşik kuraklık verileri (composite drought indicator: CDI) sayesinde elde edilen dataların, bilgi ve nümerik paylaşımından; çiftçiler, kuruluşlar ve ilgili tüm sektörler yararlandıkları bildirilmişlerdir (Güneş ve ark.,2022).

Atık suyun tarımda kullanımı insanlık tarihiyle birlikte devam etmiştir. Tunç Çağı boyunca, tarih öncesi Sümer, Akad, Babil, Asur, Mısır; MÖ 3300-MÖ 1200 yaşamış uygarlıklar, evsel atık sularını tarımda kullanmışlardır (Angelakis and Gikas, 2014). Nitekim atık suyun yeniden kullanımına dair ilk bulgu, umumi tuvaletleri kullanan Yunan ve Roma uygarlıkları büyük şehirlerin Atina ve Roma çevrelerinde, deşarj olan evsel atık sulardan faydalanmalarıdır. 1800 yıllarında Amerika’da tarımsal amaçlı kullanmaya başlamıştır (Tzanakakis, 2007). Ancak 1900 yıllarında arıtılmamış atık suların kullanımı kolera ve tifo salgınlarının atık sularla bulaştıkları görülmüştür (Felizatto, M. 2001). Bu tarihlerden sonra birçok ülkede Halk Sağlığı Yasası üzerinde çalışmalar başlatılmıştır. 18. ve 19. yüz yılda İngiltere’de başlayan Sanayi Devrimi ile birlikte, hem tarımsal sulamalardan, hem de evsel ve endüstriyel atıklardan mansaplanan atık suların kullanımına olan talepler, küresel ısınmayla birlikte çok ciddi artışlara neden olmuştur. Atık sulara olan aşırı talep karşısında birçok çalışma

yürütülmüş, konu hakkında talimat, yönerge ve suyun verimliliği hakkında ulusal ve uluslararası “Atıkların Yeniden Kullanımına” ait düzenlemeler yazılmış ve uygulamaya konulmuştur. Dünya Sağlık Örgütü [World Health Organization (WHO)], halk sağlığını korumak ve tarımda atık su ve kullanımını kolaylaştırmak amacıyla Atıkların Yeniden Kullanımı Kılavuzu’nu hazırlamışlardır (Carr, R. 2005).

Tarımda atık suyun güvenli kullanımına ilişkin 1989 Dünya Sağlık Örgütü (WHO) yönergeleri, atık suyun yeniden kullanımını düzenlemek için uzun çalışmalardan sonra standartlar geliştirmiş ve yönergelerle suların kalitesi ve kullanımı hakkında farklı tarihlerde yönergeler hazırlamışlardır. Daha sonra epidemiyolojik çalışmalardan, kantitatif mikrobiyal risk değerlendirmelerinden ve diğer bilgilerden elde edilen verilerle yönergeler hazırlanmış ve bazı bölümleri revize edilmiştir. Atık su tarımda kullanıldığında çoğunlukla bitkileri sulamak için kullanılır. Ancak çiğ tüketilen sebze ve meyveler, sağlık açısından minimum riskle kullanılmalıdır. İnsanların atık sudaki patojenlere maruz kalmasından kaynaklanan sağlık risklerini azaltmak için kaç tane patojene (E. coli veya fekal koliforma) izin verildiği değil, çok kaç tane patojenin sebze veya meyve ile birlikte oral olarak tüketildiğidir şeklinde açıklanmıştır (WHO, 2006).

Bilinçli atık su kullanımı, gübre kullanımında tasarruf yapılmasına olanak tanır. Su kütlesinde bulunan makro [(macro nutrients) nitrogen and phosphorous] ve mikro besin kaynağı [micro nutrients (Ca, Mg, B, Mg, Fe, Mn or Zn)] bitkide önemli besin döngüsü sağlar, verim artışı gerçekleşir, zirai ilaç kullanımı azalır, gerek gübre gerekse zirai ilaçlama maliyetleri düşer, böylece üründe gelir artar (Liu and Haynes, 2011). Tarımsal sulamada atık suyun kullanılmasının diğer önemli faydaları; alıcı ortama deşarj olacak su kütlesi azalır, atık su kurulumuna ve kullanımına yardımcı olur ve böylece yer altı su rezervleri korunur (Moscoso and Egocheaga, 2002).

Atık suda bulunan patojenler ve kimyasal maddelerin konsantrasyon düzeyleri, sosyo-ekonomik seviyelere bağlı olarak gelişmiş ülkelerde, gelişmekte olan ülkelere göre daha düşük olabilir. Enteric pathogens sağlık açısından en riskli türü oluştururlar (Jiménez et. al., 2010). Atık su kaynaklı hastalıklar kronik veya akut olabilir. Akut risk, bir kirleticinin düşük enfeksiyöz dozlarına kısa sürede maruz kaldığında hasta olma riskine karşılık gelir. Kronik risk ise, uzun süre maruz kaldıktan sonra insan sağlığını etkileyen kimyasal nitelikteki kirleticilerin varlığını ifade eder. Bu nedenle arıtılmamış

atık suların tarımsal sulamalarda kullanılması halinde insan sağlığı için ciddi riskler oluşturur. Fosfor ve nitrat gibi besinler atık sulara veya yer altı sularına karışarak diğer habitatların ötrofikasyonuna (eutrophication) veya toksisitesine (toxicity) neden olabilir (Craun et. al., 1994). Antropojenik faaliyetlere maruz kalmayan topraklardaki metal konsantrasyonları, öncelikle ana materyale bağlanır ve toprakta canlılar için toksik olmayan seviyelerde bulunabilir. Nüfus artışı, sanayileşme sonucu atık sularla sulanan topraklarda bu tür kirletici maddelerin varlığının artması kaçınılmazdır (Guadarrama-Brito and Fernández, 2015).

Atık sularda amonyum, nitrit ve nitrat bileşikleri bulunabilir. Bu bileşikler tarım için yararlı olsalar bile, içme ve kullanma sularında “zararlı” kabul edilirler. Çünkü amonyum, nitrit ve nitratın, sularda sınır değerleri çok düşüktür. Sularda nitrit (NO_2) ve nitrat (NO_3) bulunabilir. Azotun “Azot döngüsü ve Azot Fiksasyonu” sonucu, NH_4 (amonyum) 0,5 mg/L, NO_2 0,5 mg /L ve NO_3 50 mg /L şeklinde kritik seviyeleri ifade ederler. Çünkü azot, bitkilerin temel besin kaynağıdır. Azotun her üç azot bileşiği suni gübrelerde bulunmakta ve bu nedenle bitki gelişimi için azot kullanımı gerekmektedir. NH_4 okside olunca önce NO_2 ’e daha sonra nitrit’in bakteriler yardımıyla tekrar okside olması sonucu NO_3 ’e dönüşürler. Toprakta nitrat miktarı arttıkça gerek sulama suları ve gerekse yağışlarla, toprakta fazla olan nitrat yeraltı sularına karışabilir. Yer altı sularında 15 mg/L’nin, yerüstü sularında 37 mg/L üzerinde nitrat değerinin bulunması, sularda ciddi kirliliğe neden olabilir. Sonuç olarak kabul edilebilir nitrat seviyesi 50 mg/L’nin üzerine çıkmaması gerekmektedir. Atmosferde %78 oranında azot bulunur. Çünkü bitki yaşam döngüsü sonlandıktan sonra bitki atığının çürümesiyle azot tekrar toprağa geçer. Döngü sürekli bu şekilde devam eder. Bu nedenledir ki anızların kesinlikle yakılmaması gerekir. Nitrat kirliliğin temel nedenleri; evsel ve endüstriyel atıklar, atmosfere salınan gazlardan oluşan asit yağmurları, bilinçsiz yapılan tarımsal sulamalar örnek olarak verilebilir. Su, tüm canlılar için temel ihtiyaçtır. Yaşamın pek çok alanında kullanılan su kaynakları, her geçen gün kirlenmekte ve tükenme tehlikesine maruz kalmaktadır. Dünya nüfusu 8 milyar, Türkiye nüfusu 86 milyon sınırındadır. Su kıtlığı çeken ülkeler arasında bulunmayan Türkiye, nüfus artışıındaki hızlı artış ve küresel ısınmanın etkisi ile yakın gelecekte su kıtlığı çekecek ülkeler kategorisine girmesi kaçınılmazdır. Sonuç olarak, tarım sektörü atık suların önemli tüketicisidir. Çünkü ortak akıl, dünya gıda güvenliği için tarımsal alanların sulanmasını

önermektedir. Özellikle yeterli suya erişimi olmayan ülkelerde suyun verimliliğinin artırılması için kullanılmış suların yeniden kullanımı çözüm olarak görmektedir. Bu nedenle atık suların yeniden kullanımında tercih edilecek ve yetiştirilecek ürün kataloğu, toprakların fiziko-kimyasal, mikrobiyolojik özellikleri, kullanılmış suların mevsim içerisindeki kütle ve hacimsel dağılımı, insan sağlığında oluşacak riskler mutlaka detaylı incelenmelidir. Her ürün her atık su için kullanılmamalıdır. Çünkü kullanılmış sular üzerinde baskı çok artmıştır. Bu nedenle kullanılmış suların yeniden kullanımında Türkiye için mutlaka risk haritaları çıkarılmalıdır.

Dünyada nüfus artışına bağlı olarak artan gıda ihtiyacı nedeniyle, tarımsal su ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Çünkü sulamanın tanımı, bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyun, doğal yollarla (yağışlarla) karşılanamayan miktarın, belirli gün aralığında, yeter miktarda etkili kök bölgesine uygulanmasıdır. Sulamanın yapılabilmesi için yeterli yağışın olmaması ve topraklarda uygun nem düzeyinin bulunmaması gerekmektedir. Çünkü gerek onlarca ülke ve gerekse Türkiye su zengini bir ülke değildir. Bu nedenle alternatif suların, etkin kullanılması oldukça önem arz eder. Genel bir yaklaşım kurak ve yarı kurak lokasyonlarda bitkilerin mevsimlik su talepleri, Türkiye gibi klimatolojik değerlere sahip ülkelerde, bitkilerin net su ihtiyacı 500-750 mm arasında değiştiği söylenebilir. Buna rağmen mevcut kullanılabilir su kaynaklarının $\frac{3}{4}$ 'ü tarımsal amaçlı kullanıldığından, sektörel su paylaşımında İçme-Kullanma ve Organize Sanayi Bölgelerinde yoğun su ihtiyaçlarının karşılanmasında dengenin kurulması gerekmektedir. Ancak Organize Sanayi Bölgelerinin su taleplerinde kimi zaman su kısıntısı yaşamaktadır. Bunun da en önemli nedeni suyun tarımsal sulamalarda efektif kullanılmamasından kaynaklanmaktadır.

1.4.5. Tarımsal sulamalar için kullanılan sularda en önemli olumsuz sonuçlar

Harran Ovası Sulamalarında yüzey ve derine sızma kayıplarının %50 nin üzerinde gerçekleştiği ve sulama randımanlarının %40 dolayında hesaplandığı bildirilmiştir. Tatlı su kaynaklarından erezyon sonucu oluşan kayıpların tekrar kazanımlarının mümkün olmadığından toprak erozyonu sonucu önemli kayıplar yaşandığı bildirilmiştir. Vahşi sulamalar sonucu, verimli yüzey toprakların kaybedilmesi ile birlikte, bitki besleme için kullanılan gübrelerin derine sızan su ile birlikte yıkanması ve alıcı ortama tekrar kullanım imkanı olmadan mansaplanması ilk akla gelen

gerekçeler olabilir. Sonuç olarak suların, toprakların ve kullanılmadan bitki besin elementlerinin kayıpları ekonomik olarak tartışmanın çok ötesinde milli bir politika olması gerektiği ifade edilmiştir (TÜBİTAK-MAM, 2019).

1.5. Çalışmanın Kapsamı

Ülkelerin nüfus artışına bağlı olarak artan gıda ihtiyacı nedeniyle, tarımsal su ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Tarımsal sulama, bitkilerin ihtiyaç duyduğu ancak doğal olarak yağışlardan ve yer altı suyundan karşılayamadığı miktarı, açık kanallar veya basınçlı borularla yapay olarak getirilmesi işlemidir. Tarımsal sulama, kurak (arid) bölgelerde ve yağışın olmadığı dönemlerde bitkinin ihtiyaç duyduğu zaman aralığında, yeterli miktarda bitkinin etkili kök bölgesine tercih edilen sulama yönetimleriyle uygulanma biçimidir. Bilinen bir gerçek birçok sulama uygulamalarında, ihtiyacın iki veya üç katı su verilmesidir. Bunun birçok nedeni olabilir. Eski şebekelerin cazibe sulamalara uygun olmaması, çiftçi alışkanlıkları, özellikle gece sulamalarında suyun şebekede kontrolsüz kalması/akması, fazla suyun fazla ürün getirir yaklaşımı sayılabilir. Harran Ovası'nda sulu tarım yapılan alanlarda pamuğun yanı sıra mısır bitkisinin yoğun olması ve fakat mısır bitkisinin kök bölgesinde göllendirme yaparak ki her yıl yanlış uygulanan yaklaşım olmasına karşın halen uygulanmaktadır. Nedeni mısır bitkisinde çiçeklenme döneminde atmosferde nisbi nem miktarının artırır düşüncesi ve çiçekte döllenme hızının artacağı düşüncesi, vahşi sulamaların yapılmasını tetiklemekte ve su verimliliği düşük gerçekleşmesine neden olmaktadır. Suyun verimli kullanılmamasından dolayı, kullanılmış suların geri kazanılarak yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Sektörel bazda su kullanımının yoğun yapıldığı ve aynı zamanda su kullanımına bağlı olarak, yeniden kullanım imkânı en fazla olan tarımsal sulamadan dönen suların, kalitesinin iyileştirilerek yeniden kullanılması, su kaynaklarının korunması ve verimli kullanımı açısından büyük öneme sahiptir.

GAP Bölgesinde “Sulamadan Dönen Suların Kontrolü ve Yeniden Kullanımı İçin İyileştirilmesinin Araştırılması Projesi” verilerine göre; 2016 yılında cazibe sulama ve 2017 yılında basınçlı sulama örnekleme noktalarında kirlilik durumu ve tuzluluk değişimleri ortaya konmuştur. Buna göre, genel sulama suyu kriterleri dikkate alındığında, dönen suların analiz sonuçları su kalitesinin az-orta kullanım

kısıtlamasında olduğu görülmüştür. Buna rağmen, Harran Ovası'nda iki noktada tuzluluğun arttığı ve genel sulama suyu karakterinin yüksek kullanım kısıtlamasına doğru gerilediği görülmüştür.

Sulama suyunun yetersiz olduğu yerlerde su ihtiyacını tamamlamak için tarımdan dönen kullanılmış suların yeniden kullanımı önemli bir alternatiftir. Bu alternatif; sorunu çözenin yanı sıra, alıcı ortamlarda su kirliliği problemlerini de azaltacaktır. Çünkü bu suların kalitesi, temiz sulama suyu kalitesinden $\cong\%20\pm5$ daha düşüktür. Ancak tarımdan dönen tahliye sularının doğrudan kullanılması durumunda, sulanacak bitki türü önceden tayin edilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Çünkü bitkilerin özellikle tuza karşı gösterdikleri tepkiler de farklıdır. Tuza çok hassas bitkilerin sulanmasında, dönen suların kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Tuza dayanıklı bitkilerde, ağaçlarda, çalı ve yem bitkilerinde kullanılmasında ise bir endişe yaratmayacağı düşünülmektedir. Tarımdan dönen suların tekrar kullanılmasında temel endişelerden bir diğeri, tekrar kullanılan sularda sediman yükünün fazla olmasıdır ki bu da dikkatli bir yönetim ve planlama gerektirir. Yüksek oranda tuz, selenyum ve diğer iz elementleri içeren yüzey altı drenaj sularının arıtılması, en son başvurulacak alternatif seçeneğidir. Çünkü arıtma maliyetinin yüksek olması gerekçe olarak gösterilir (Tanji, K.K. and Kielen, N.C. 2002).

Tuzluluk ve sodyumluluk (sodicity) tahliye suyunun tekrar kullanıma uygun olup olmadığını belirleyen temel parametrelerdir. Bunlara ek olarak tahliye suyunda iz elementlerinin varlığı (B, Se ve Mo) ürün verimi, ürün kalitesi, sucul hayat, tüketici ve çevre kalitesi üzerinde potansiyel tehlike oluşturabilir (Oster and Grattan, 2002).

FAO, (1997), tahliye suyunun tekrar kullanımı döngüsel, karıştırma (paçallama) veya ardışık kullanım şeklinde olabileceği, farklı tuzluluktaki suların döngüsel kullanımı önerilebileceği, döngüsel sulamanın ürünlerin çeşitli büyüme evrelerinde başarıyla uygulanabileceği, ayrıca tuza dayanıklı ve hassas ürünlerin rotasyonunda kullanılabileceği bildirilmiştir.

Çukurova Bölgesi'nde yapılan bir çalışmada 7.110 ha'lık bir arazide 1,2-4,0 dS/m tuzluluğa sahip drenaj suları sulamada tekrar kullanılarak, bunun taban suyu (TS) seviyesi ve tuzluluğu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kritik drenaj sorunu (TS derinliği $<1,0$ m) bulunan alanlar; sulama mevsimi başında %11,3 iken, mevsim ortasında artarak %31,4'e çıkmıştır. Sulamanın en yoğun olduğu

dönemde çalışma alanının %97,5'inde TS derinliği 0,0-1,5 m arasında değerler almıştır. Sulamada düşük kaliteli drenaj sularının kullanılması nedeniyle TS tuzluluğu sulama mevsiminde alanın %92,1'inde, diğer dönemlerde ise alanın yaklaşık %97'sinde çok yüksek düzeylere (5,0-10,2 dS/m) ulaşmıştır. Sulama mevsimi sonunda arazinin %64'ünde 0-1 m'lik toprak katmanında tuzluluk sorunu ortaya çıktığı ve kış yağışlarının yıkamada etkili olmadığı belirtilmiştir (Çetin ve ark., 2008).

Harran Ovası'nda 2008 yılında yapılan bir çalışmada, sulamada tekrar kullanılan drenaj sularının biriktirildiği regülatörlerden alınan numunelerde tuz içeriğinin 360-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği, sulamanın en yoğun olduğu temmuz ve ağustos aylarında drenaj kanal suyu tuzluluk değerlerinin 400-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği belirtilmiştir. Tahliye kanallarındaki suların tuz içeriği, Fırat Nehri suları ile karıştırıldığında karışımın tuzluluk değerlerinin 300-600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerlerine düşeceği belirtilmiştir. Vahşi sulama yapılan dönemlerde, suyun doğrudan tahliye kanalına dökülmesi nedeniyle tahliye kanallarındaki tuz konsantrasyonlarının düşmekte olduğu, dolayısıyla tahliye kanal sularının, sulamaların yoğun olduğu aylarda kullanılmasında önemli bir sorun oluşturmadığı belirtilmiştir (Bahçeci, 2014).

Perdeli Yapay Sulak Alanlar (PYSA) yaklaşımına göre; **Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından imalatları yapılan “Sulamadan Dönen Suların Kalitesinin İyileştirilmesi İçin Perdeli Yapay Sulak Alan Pilot Projesi”** fildöfer kafes sistemlerinin memba ve mansabından farklı tarihlerde su numuneleri alınmıştır. HY40 ve HY41 yedek kanallarının hizmet alanlarında kullanılmış suların tekrar kullanılması amaçlanmıştır. Tarımdan dönen suların miktarındaki fiziksel değişimlerin izlenmesi, son derece uygun olması nedeniyle, Fırat-Dicle Havzası (Harran Ovası Sulaması) çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada kullanılan su numuneleri ve numune alma tarihleri, Şırnak Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenen bütçe ile yürütülmüştür.

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışmanın Gerekçesi ve Lokasyonu

Çalışmanın esin kaynağı “Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı” Su Yönetimi Genel Müdürlüğünün (SYGM) “GAP Bölgesinde Sulamadan Dönen Suların Kontrolü Ve Yeniden Kullanımı İçin İyileştirilmesinin Araştırılması Projesi” çalışması yüklenicisi 2017 yılında TUBİTAK-MAM (Marmara Araştırma Merkezi) Başkanlığı tarafından Harran Ovası’nda yürütülmüştür. Projedeki amaç Türkiye’nin su kaynaklarının tüm sektörlerde kullandıktan sonra, kullanılmış suların nitelik ve nicelik değerlerinin saptanması ve konu hakkında devletin arşivlerinde sağlık bilgilere erişiminin sağlanması olduğu anlaşılabılır. Benzer çalışma yine SYGM tarafından “Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerin Değerlendirilmesi Projesi Teknik Destek Hizmet Alım İşİ” farklı bir yüklenici tarafından Harran Ovası’nda ve tüm Türkiye sathında gerçekleştirilmiştir. Yine bir başka çalışma SYGM tarafından “Sulamadan Dönen Suların Kalitesinin İyileştirilmesi İçin Perdeli Yapay Sulak Alan Pilot Projesi” Harran Ovası’nda tamamlanmıştır. Her üç proje kullanılmış suların yeniden kullanımı farklı bir yüklenici tarafından yürütülmüştür.

Her üç proje kullanılabilir suyun %75’inden fazlası tarımsal sulamalardan dönüş yaptığı bu nedenle izlenmesi ve değerlendirilmesinin önemli olduğu, kullanılmış suların kütlesinin tespiti ve kullanılmış suların nerede ve nasıl tüketilebileceğini, ayrıca kaybolan suların milli ekonomide karşılığı ve yaratacağı katma değeri hesaplamayı amaçlamaktadır.

Bir barajdan 50 m³/s ile çalıştırılacak HES türbininden elde edilecek enerjinin cari değerinin ve yaratacağı katma değerin bilinmesi halinde, kullanılmış suların yaratacağı etki daha net anlaşılabılır. Türkiye için realite ve hedef 1 m³/s suyun dahi kaybedilmemesidir. Çünkü son çeyrek asırdır hepimizin bildiği gibi küresel ısınma kuraklık ve taşkın benzeri doğal afetlerin yaşanması, sürdürülebilir Gıda Güvenliği arzı için her damla suyun önemi “SYGM” tarafından gerçekleştirilen her üç projenin çıktılarında görülebilir.

Suyun tartışmasız doğal kaynak olarak önemi ve kaynağın son derece kısıtlı

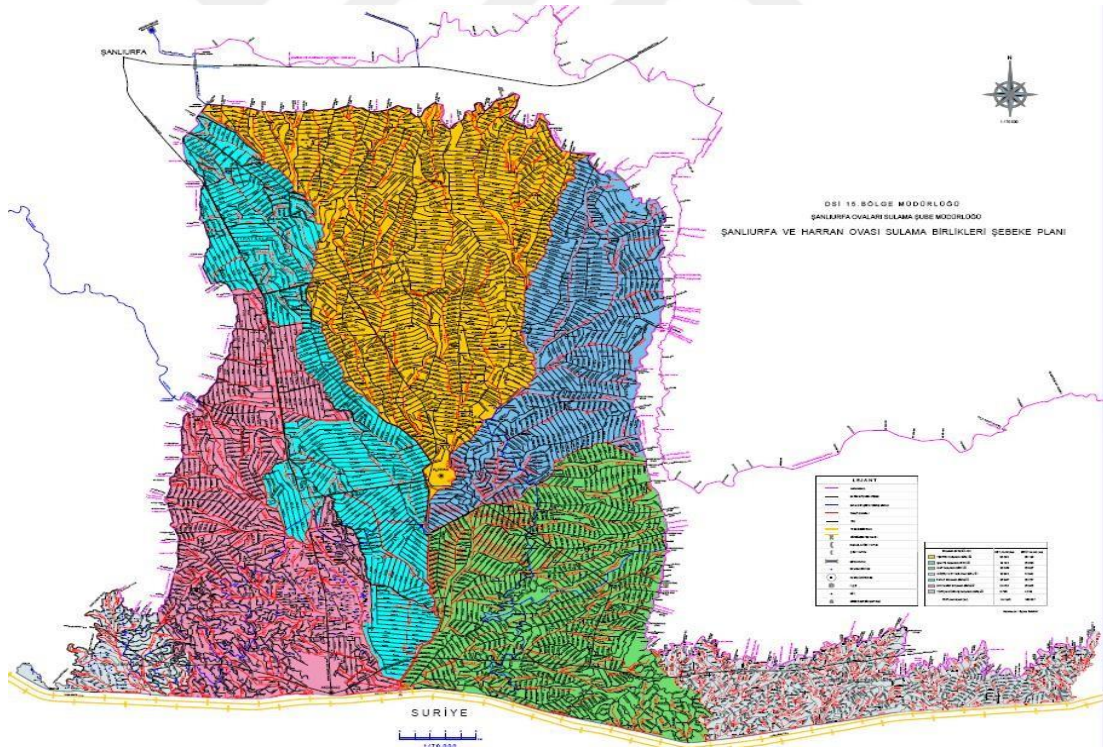
olmasından dolayı ard arda projeler yapılmıştır. Her üç proje farklı üniversitelerden oluşan bilim insanlarının bulunduğu bir ekip tarafından yürütülmüş ve çok ciddi bulgular elde edilmiştir.

Yürüttüğümüz çalışmada SYGM bulguları kesinlikle kullanılmamıştır. Yukarıda ifade edildiği gibi tematik olarak çalışmanın algoritması oldukça çalışılmaya değer görülmüş ve Türkiye için benzer çalışmaların Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından gerçekleştirilen özellikle konvansiyonel (açık kanal şebekelerinden oluşan) projelerde lisansüstü çalışmalarının son derece yararlı olacağı söylenebilir. Çünkü doğal kaynakların yeniden kazanılması, örneğin su ve toprak gibi kaybedilen ya olanaksız, ya pahalı veya kazanılan suyun yeniden kullanımında sınırlar bulunduğu çalışmalarla ortaya konulduğu görülebilir.

Türkiye'nin kullanılabilir toprak ve su kaynakları alansal büyüklük olarak Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) 1,8 milyon hektar alan ile ilk sırada yer almakta ve 9 vilayet bulunmaktadır Bunlar içerisinde en fazla sulanabilir alan Şanlıurfa il sınırlarında yer almaktadır (Şekil 2.1. ve Şekil 2.2.). Çalışma Şanlıurfa Harran Ovası'nda Erdemli regülatöründe gerçekleşmiştir (Şekil 6.). Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 1990-1995 tarihleri arasında imalatları gerçekleştirilen su yapıları (kanal, kanalet, tüm sanat yapıları, tahliye kanalları vb. diğer yapılar) 1995 yılında işletmeye açılmıştır. Projenin uygulandığı lokasyon; Harran İlçe- Erdemli Köyü sınırlarında yer alan Erdemli regülatörü yağış havzasıdır (Şekil 2.3., Şekil 2.4. ve Şekil 2.5.). PYSA fildöfer sisteminden deşarj edilen sular, HYA geri dönüşüm suyuna mansaplanarak, bir sonraki sulama sisteminde (şebekesinde) kullanılmak üzere HYA kanalının debi kapasitesinin arttırılması öngörülmüştür. Burada nihai amaç suyun n kez tekrar tekrar kullanımının sağlanmasıdır. Böylece konunun başlığını, öngörülen projenin amacını ve tasarlanan metodolojinin verimliliğinin araştırılması öngörülmüştür. Ayrıca dünyada kapsamlı böyle bir proje uygulanması geniş alanlarda çalışılarak rehber niteliğinde olması hedeflenmiştir.



Şekil 2.1. Harran Ovası Erdemli Regülatörünü besleyen HY40 ve HY41'in yağış havzası yerleşim planı



Şekil 2.2. Harran Ovası vaziyet planı (DSİ 15 Bölge Müdürlüğü, 2021)



Şekil 2.3. HT13-2 Tahliye kanalı banketinde kurulu olan Erdemli PYSA sistemi hizmet alanı

Çalışma sahası Erdemli regülatörünü HT13-2 tahliye kanalında Erdemli regülatörü aracılığıyla saptırılan suyun toplam debisinin sulama aralıklarına ve sulama sayılarına göre değişkenlik göstereceğidüşünülmüş ve düşüncenin bulgulara yansıdığı görülmüştür. Erdemli regülatörünü besleyen HT13-2 tahliyekanalının yağış havzası HY40 ve HY41 Harran yedek kanallarından oluşmakta ve ardışık gelen 40 ve 41 yedek kanallarından oluşmaktadır. Notasyana göre bu iki yedek kanalın proje üzerinde bir birini takip eden kanallar olduğu anlaşılmaktadır. HY40 kanalı üzerinde 21 adet tersiyer mertebesinde farklıkapasitelerde kanalet şebekesi bulunmakta ve 599,6 hektar (ha) alana hizmet etmektedir. HY41 kanalı üzerinde bu kez 19 adet tersiyer mertebesinde farklı kapasitede kanalet şebekesi bulunmakta ve 462 ha hizmet götürdüğü anlaşılmaktadır. Her iki yedek kanalın toplam yağış havzasının 1058,6 hektar olduğu hesaplanmıştır. Fildöfer sistemini besleyen HY40 kanal kapasitesi Harran kanalı üzerinde 74+900 km'sinde 2090 L/s ve HY41 76+180 km'sinde 5020 L/s debi ile aktığı projeden görülebilmektedir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.4. Harran Ovası sulama şebekesi içerisinde 2022 yılında inşa edilen Erdemli regülatörü



Şekil 2.5. HT13-2 Tahliye kanalı banketinde kurulu olan beton kaplamalı trapez kesitli kanal içerisinde

2.1.2. Şanlıurfa ve Harran iklim verileri

Şanlıurfa 17270 numaralı istasyona ait 43 yıllık (1979-2022) uzun yıllar iklim parametreleri; aylık ortalama hava basıncı, sıcaklık, farklı derinlikte toprak sıcaklığı, nisbi nem, bulutluluk, toplam yağış, kar yağışı, yağmurlu gün sayısı, karlı gün sayısı, sisli gün, çığlı gün, orajlı gün, rüzgâr hızı, fırtınalı gün, rüzgârın esme yönü vb. çok

detay bilgiler derlenmiştir. 19270 numaralı Harran istasyonu son yıllarda aktive edildiğinden dolayı uzun yıllar parametrelerine erişim mümkün olmamıştır. Ana hatlarıyla aylık ortalama; sıcaklık, nisbi nem ve yağış verilerine ulaşılmıştır. 2022 yılı yağış $200,3 \text{ kg/m}^2$ gerçekleşmesi ve Harran Ovasının çok kurak iklime sahip olduğu, çünkü nisbinemin %50,3-74,6 aralığında gerçekleştiği görülmüştür. 1995 yılından sonra Harran Ovasında nisbinemin görece artması, ovada evaporasyon dinamiklerinin gerçekleşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Öyle ki ovada aşırı ve vahşi sulama yapılmasından dolayı günlük buharlaşma derinliğiclass A pan leğeninde çok yüksek gerçekleştiği söylenebilir. 17270 nolu Şanlıurfa istasyonunda uzunyıllar aylık ortalama buharlaşma değeri temmuz ve ağustos ayları için 304,4 ve 305,3 mm bildirilmektedir (Ek Tablo 1. ve Ek Tablo 2.).

2.2. Yöntem

2.2.1. Fildöfer çelik kafesler

HT13-2 tahliye kanalına paralel 2022 yılı ilk çeyreğinde trapez kesitli beton kaplamalı kanal içerisinde **Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından imalatları yapılan “Sulamadan Dönen Suların Kalitesinin İyileştirilmesi İçin Perdeli Yapay Sulak Alan Pilot Projesi”** tarafından imalatı yapılan portatif fildöfer kafeslerde farklı tarihlerde alınan su numunelerinde; fiziksel ve kimyasal analizler için laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür. Böylece dönen suların karakterizasyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır (Şekil 2.6.)



Şekil 2.6. Fildöfer çelik kafes ve suyun hareketi

Erdemli Regülatöründen beslenen kullanılmış suların yeniden kullanımı amacını taşıyan ve PYSA algoritmasına uyumlu fildöfer sisteminin giriş ve çıkışlarında farklı zaman dilimlerinde debi ölçümü yapılmış ve süreklilik denkleminde debiler hesaplanmıştır. Hız  l  mleri  niversal Elektronik Moline (Current meter, CM-32) ile gerçekleştirilmiştir. HACH HQ40d Multi dijital serisi kullanılarak pH ve EC değerleri  l  lm ştir. Bulanıklık HACH ile ölçülmüş ve NTU değerleri okunmuştur. Toplam katı madde (TKM) ve askıda katı madde (AKM), laboratuvar koşullarında aşağıda verilen protokole göre saptanmıştır.

2.2.2. Toplam Katı Madde (TKM) ve Askıda Katı Madde (AKM) Analiz Protokolü

Kullanılmış sularda süspanse maddelerden oluşan sediman yoğunluğundan alınan su numunelerinde toplam katı madde (TKM) ve askıda katı madde (AKM) analizleri aşağıda verilen protokole göre çalışılmıştır. Ayrıca aynı ölçüm tarihlerinde alınan numunelerde akış şeması verilen protokole göre suların fiziksel ve kimyasal analizleri, Harran  niversitesi  evre Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (şekil 2.7., 2.8. ve 2.9.).

1. Sıcaklığı 103-105  C olan etüve numune adına göre kodlaması yapılmış boş krozeler konulur ve 1 saat bekletilir.



1. Kroze

2. 1 saat sonra krozeler alınıp desikatörde 1 saat neminin alınması sağlanır.



2. Desikatör

3. 1 saat sonunda desikatörden alınan krozeler hassas terazide tartımı yapılır. Bu işlem formülde “**dara**” olarak tanımlanır.

4. İyice karıştırılmış numuneden sonuç verebilecek miktarda alınarak krozelere konur.

Genellikle 30 – 50 ml numune yeterlidir.

5. Numune + kroze hassas terazide tekrar tartımı yapılır. Bu işlem “**ilk tartım**” olarak kaydedilir.

6. 1 gün (24 saat) boyunca etüvde bekletilir.

7. 1 gün sonra krozeler desikatöre alınır ve 1 saat bekletilir.

8. 1 saat sonra krozeler hassas terazide tartımı yapılır. Bu işlem formülde “**etüv sonrası**” olarak adlandırılır.

9. Sonuçlar aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$\text{TKM (mg/l)} = (\text{A}-\text{B}) \times 10^6 / \text{V}$$

A= Etüv Sonrası [Kroze + Numune]

(mg) B= Dara (mg)

V= Numune hacmi (mL)

Şekil 2.7. Toplam Katı Madde (TKM) analiz protokolü

Filtre kağıdının hazırlanması

1. Kaplara numara verilir.



1. Filtre kâğıdı

2. Filtre kâğıdı pens ile kabın üzerine konur.

3. Filtre kâğıdı + kap etüve yerleştirilir.

4. 103 – 105 °C’lik etüvde 1 saat kurutulur.

5. 1 saat sonunda etüvden çıkartılır ve soğuması için desikatöre konur.

6. 1 Saat desikatörde soğutulan filtre kâğıdı hassas terazide tartılır. Bu işlem formülde “**filtre dara**” olarak adlandırılır.

Şekil 2.8. Askıda Katı madde (AKM) analiz protokolü

ANALİZ YÖNTEMİ

1. Filtre kâğıdının hazırlanması işlemi bittikten sonra aşağıdaki işlemler yapılır.
2. Filtre kâğıdı filtre setine yerleştirilir.



2. Vakum Filtrasyon Seti

3. Süzme işlemi yapılacak numune hacmi seçilir ve numune karıştırılarak mezüre konur.
4. Filtrasyon setine yerleştirilmiş olan filtre kâğıdının üzerine alınan numune boşaltılır ve vakum pompası çalıştırılır.



3. Süzme işlemi

5. Tüm suyun filtrede süzülmesi beklenir, suyun tümü süzildükten sonra vakum pompası kapatılır.

6. Filtre kâğıdı pens ile alınarak kabın üzerine konur.	
Kap + filtre üzerindeki kalıntı + filtre kâğıdı 103-105 °C olan etüve konur ve 1 saat kurutulur.	
7. Kap + filtre üzerindeki kalıntı + filtre kâğıdı soğuması için desikatöre konur.	
8. 1 saat sonra hassas terazide tartılır. Bu işlem formülde “ etüv sonrası ” olarak tanımlanmıştır.	
$AKM (mg/l) = \frac{(A-B) \times 10^6}{\text{Alınan numune hacmi (ml)}}$	A= Filtre Kâğıdı + filtre üzerindeki kalıntı[etüv sonrası](g) B= Filtre dara (g)



Şekil 2.9. Erdemli Regülatörü fildöfer sisteminde alınan su numunelerinde yürütülen analizler

Çalışma alanından alınan numunelerde suların elektriksel iletkenliği (Electrical Conductivity: EC), bulanıklık ve [Nephelometric Turbidity Units (NTU)] değerleri ölçülmüştür. Araştırma sonucunda edilen mevsimlik hacimsel su değerleri aylık ve mevsimlik olarak hesaplanmış birim alanların(ha) su tüketimleri saptanmıştır. Tahliye kanallarında akan suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerinde tahliye kanallarından akan drenaj sularının EPA (Environmental Protection Agency) yönergelerine, yer üstü su kalitesi yönetmenliğinde belirtilen kriterlere göre değerlendirilmiştir (Resmi Gazete: 30.01.2012, Sayı:28483; 10.08.2016 Sayı: 29797 ve 16.06.2021 Sayı:31513).

3. BULGULAR

3.1. Türkiye'nin sürdürülebilir hidrolik potansiyeli ve Fırat-Dicle havzası ile karşılaştırılması

Türkiye'de toplam 25 adet yağış havzası bulunmaktadır. Toplam yağış havzası 781.482 km², ortalama yağış 614 kg/m², yıllık havza verimi 8 L/s/km², yıllık toplam akış 185 km³ ve sulanabilir alan 12.721.193 ha verilmektedir (Tablo 3.1.). Fırat-Dicle havzaları; toplam havza alanının %22.6'nı, toplam havza veriminin %11.4'ünü, yıllık toplam akışının %30.4'ünü ve toplam sulanabilir alanın %32.4'ünü bu havzalar (Fırat-Dicle) karşılamaktadır. Hidroelektrik Santralleri (HES'ler) benzer tepki vermektedir. Türkiye'nin çok önemli barajları Fırat-Dicle üzerinde bulunmaktadır. DSİ'nin 2022 yılı verilerine göre; Toplam HES kurulu güç kapasitesi 31.618 MW, ortalama üretim kapasitesi 100.293 GWh paylaşılmaktadır. Toplam kurulu güç kapasitesi 98.362 MW, ortalama üretim kapasitesi 573.841 GWh bildirilmektedir. Türkiye'de HES'lerde kapasite kullanım oranı %38,8 ve HES'lerin toplam üretime katkısı %33.8'dir. Bildirilen oranların düşük gerçekleşmesi, son yıllarda yaşanan kuraklığa bağlanabilir. An itibarıyla HES'in verimliliği diğer yakıt türlerine göre oransal olarak daha düşüktür (DSİ, 2021).

Tablo 3.1. Türkiye'nin havzalara göre alansal büyüklük, yıllık ortalama yağış, yıllık havza verimi, yıllık toplam akış vesulanabilir alan değerleri.

Sıra	Havzaadı	Yüz Ölçümü (km ²)	Ortalama yağış (kg/m ²)	Yıllık havza verimi (L/s/km ²)	Yıllık Toplam akış	Sulanabilir alan (ha)
1	MERİÇ- ERGENE	14.444	619,3	3,6	1,627	458.038
2	MARMARA	23.107	702,3	10,2	7,442	244.398
3	SUSURLUK	24.332	655,1	6,5	4,963	355.233
4	KUZEY EGE	9.974	617,1	6,4	1,985	186.318
5	GEDİZ	17.034	586,1	3,3	1,776	394.261
6	KÜÇÜK MENDERES	7.060	630,4	2,8	0,624	66.987
7	BÜYÜK MENDERES	26.133	612,3	3,7	3,047	451.276
8	BATIAKDENİZ	21.224	759,5	9,8	6,499	199.330
9	ANTALYA	20.331	774,8	20,3	12,944	298.968
10	BURDUR GÖLLER	6.306	489,7	1,2	0,234	109.298
11	AKARÇAY	7.983	480,6	1,5	0,375	199.485
12	SAKARYA	63.358	472,8	3,2	6,485	821.019
13	BATIKARADENİZ	28.930	760,1	11,9	10,797	113.117
14	YEŞİL IRMAK	39.628	539,5	5,6	7,046	630.364
15	KIZIL IRMAK	82.197	449,4	2,7	7,004	1.033.927
16	KONYA KAPALI	50.038	394,8	1,5	2,407	891.123
17	DOĞU AKDENİZ	21.807	580,1	11,3	7,559	164.855
18	SEYHAN	22.242	560,9	8,9	6,200	262.327
19	AĞSİ	7.912	818,5	7,2	1,782	403.086
20	CEYHAN	21.599	628,8	11,5	7,734	598.912
21	FIRAT-DİCLE	176.657	548,9	22,7	56,316	4.120.642
22	DOĞU KARADENİZ	22.845	999,9	22,8	16,426	216
23	ÇORUH	20.249	709,2	10,9	6,981	84.334
24	ARAS	28.115	480,7	5,1	4,480	491.896
25	VANKAPALI	17.977	479,7	4,6	2,602	141.783
		781.482	614	8,0	185	12.721.193

3.2. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında Harran Ovası toprak ve su kaynakları potansiyelinin önemi

Türkiye'de havzaların toplam tarım alanı 25 havza için Tablo 3.1.' de verilmiştir. Toplamda 25 havzanın sulanabilir alan büyüklüğü 12.721.193 ha olarak hesaplanmıştır. Ancak fiilen sulanan alan içerisinde Fırat ve Dicle ilk sırada yer almıştır. Toplam sulanabilir alanlarda sulama sistemleri, konvansiyonel yöntemler tercih edildiğinden dolayı su verimliliğindeki performans oldukça düşüktür. Yapılan çalışmada 25 havzadaki 1000 hektar üzeri tarımsal sulamadan dönen deşarj suyu 3.208 milyon m³/yıl olarak bildirilmektedir. Bu potansiyelin 2.351 milyon m³/yıl verilen değeri, dönen suyun yeniden kullanımı şeklinde önerilmektedir. Kullanım oranı %73 olarak gerçekleşmiştir.

Buna göre modül 1,0 L/s/ha alındığında, 235.000 ha alanın sulanabileceği kestirilebilir veya önerilebilir. DSİ kayıtlarına göre Fırat Dicle havzası içerisinde Harran Ovası sulamaları ≈ 150.000 hektar olması durumunda, 2.350,65 milyon m³/yıl su ile ≈ 235.000 ha tarım alanı, dönen su ile sulanabileceği hesaplanabilir. Daha önce belirtildiği gibi çalışmanın yürütüldüğü Harran Ovası sulamalarında tahliye kanalları üzerinde kati projesi yapılmış ve inşası tamamlanmış 9 adet regülatör bulunmaktadır. Fırat Havzası üzerinde kurulu bulunan Atatürk Barajı'ndan T1 ve T2 tünelleri ile alınan suların tarımda kullanıldıktan sonra tahliye kanallarına mansaplanan yüzey akışlardan (runoff) oluşan suların tekrar kullanımları amaçlandığından, tahliye kanalları üzerinde regülatör suyapıları inşa edilmiştir. Regülatörlerin hangi tahliye kanalının üzerinde bulunduğu ve priz debisi (m³/s) ile kaç hektar alan sulanacağı bilgileri regülatörlerin kataloğunda gösterilmiştir. Genel olarak regülatörler Harran ana kanalının hizmet sahası içerisine giren tahliye kanallarının taşıdığı suları, HYA ana kanalına deşarjları ile kullanılmış suların yeniden kullanılabileceği görülmüştür. 2022 yılının ilk çeyreğinde HT13-2 tahliye kanalının akışa göre sağ tarafında, kanal banketi üzerine DSİ yönetimi tarafından beton kaplamalı trapez kesitli kanal inşa edilmiştir. İnşa edilen kanal, HT13-2 tahliye kanalının mansap suyunu kullanmıştır. HT13-2 tahliye kanalı ile beton kaplamalı kanalın birleşim noktasındaki regülatöre Erdemli Regülatörü adı verilmiştir. Böylece regülatörü sayısı on olmuştur (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Erdemli Regülatörü su alma yapıları

Şanlıurfa DSİ 15. Bölge Müdürlüğü yönetimi tarafından alınan anonim bilgiler; Harran Ovası sulamasında dönen suların başarılı bir şekilde kullanılması nedeni ile 2023 yılında yeni projelendirilen regülatörlerle tarımdan dönen suların daha sık şekilde yeniden kullanımı amaçlanmıştır. Böylece Atatürk Barajı’ndan ovaya gelecek olan suyun yıllık bütçesinde önemli oranda tasarruf sağlanacağı ifade edilmiştir. Sonuç olarak Güney Doğu Anadolu Projesi (GAP) için önerilen 1.8 milyon ha sahanın sorunsuz şekilde sulanması gerçekleştirilecektir.

Sulamadan dönen suların yeniden tarımda kullanılması ve alıcı ortama deşarjının önlenmesi, bir projenin başarı öyküsüdür. “GAP Bölgesinde Sulamadan Dönen Suların Kontrolü ve Yeniden Kullanımı için İyileştirilmesi Projesi” kapsamında yapısal olmayan alternatifler; yasal ve idari çözümler, çiftçi eğitimi, suların fiyatlandırılması, sulama sistemlerinin rehabilitasyonu veya sulama sistem algoritmasının değiştirilmesi, sulama yönetimi ve su verimliliği hakkında kamu spotlarının paylaşılması sonuç ve öneriler kısmında detaylı şekilde verilmiştir (TÜBİTAK-MAM, 2017). GAPsulama projeleri kapsamında Türkiye’nin en önemli iki büyük (Fırat ve Dicle) havzası yer almaktadır. GAP projesi kapsamında iki

havzanın tarımsal potansiyeli sanayi ve demografik yapısı için kullanılabilir su kapasitesinin yeterli olacağı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. İki havzat toplamı 176.657 km² verilmektedir. Her iki havzanın ortalama yıllık toplam akış miktarı $\cong$ 56.32 km³tür. GAP projesi kapsamında her iki havzanın hizmet alanı dokuz vilayetten oluşmaktadır. Bunlar sırası ile Kilis, Gaziantep, Şanlıurfa, Adıyaman, Mardin, Diyarbakır, Batman, Siirt ve Şırnak'tır. Dokuz ilin toplam alanı 75.410 km² dir.

3.3. Sulamalardan dönen kullanılmış suların yeniden kullanımı için alınan su numunelerinde kimyasal analiz sonuçları

Türkiye’de kullanılmış suların yeniden kullanımı %75 oranında yoğun kullanıldığı tek sektör tarımdır. Bu nedenle memba-mansap arasında suyun kirliliği daha çok; endüstriyel, evsel, aşırı gübreleme, pestisit ve sediman birikimi şeklinde verilebilir. Tarımdan dönen sular mevsim boyuncamayıs-ekim ayları arasında yapılan ölçümlerde pik sıcaklık değerinin temmuz ve ağustos aylarında gerçekleştiği söylenebilir. Ek Tablo. 1.1. ve Ek Tablo 1.2.’deki nümerik değerlere bakılarak tezimiz doğrulanabilir. Çünkü canlıların sıcaklıkla su tüketimi arasında güçlü ve paralel ilişki bulunmaktadır.

Kullanılmış suların yeniden kullanımının cazip hale getirilmesi; tarımsal sulama, sanayi ve içme-kullanma amaçlı su tüketimlerinde, su tarifelerinin suyun verimli kullanılmasını özendirecek tekniklerin kullanılması ve eğitimlerin verilmesi ve sektörler arasında (içme-kullanma, tarım,sanayi) su tüketim dengesinin reel ölçekte belirlenmesi yararlı olabilir. Kullanılmış suların yenidenkullanımında EPA, WHO (World Healt Oganization) ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmenliğinde belirtilen kriterlere ve 14 Nisan 2015, 29327 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “**Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik**” te Madde 7 ve Tablo 3.2. “**Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri**” ne göre değerlendirildiğinde; BOİ5 ve KOİ, ve diğer parametrelerin uygun olduğu ve suların kimyasal analiz sonuçları ile beraber suların elektriksel iletkenlik (EC) değerler ile birlikte bakıldığında suların genel kompozisyonu, ikinci sınıf suları karakterize ettiği söylenebilir. Nitrat yönüyle de, tehlikeli risk grubuna girmediği çünkü yukarıda anılan yönetmeliğin su kaynakları sınıflandırmasına göre 50 mg/L’nin çok altında kaldığı tespit edilmiştir. Çünkü nitrat kirliliğinin yüksek çıkması, bitki

besleme için kullanılan azot ve fosfor bileşikleri, alglerin ve yüksek yapılı organizmaların hızla büyümesineneden olur ve bu sonuç olarak suların bozulmasına ve ötrofikasyon yaşanmasına neden olur.

Erdemli regülatöründen 3 farklı tarihte alınan su numunelerinden 13 parametrenin analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılmış suların hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri bakımından kullanımında sakınca olmadığı görülmüştür. Erdemli regülatöründen geçen HT13-2 tahliye kanalının sularına ait kimyasal analizleri 3 farklı zaman diliminde 13 parametrede okumaları yapılmıştır. Sonuçlar BOİ₅ ve KOİ her üç tarihte benzer tepki vermiştir. Yapılan üç analizde elde edilen değerler arasında anlamlı farklılık gerçekleşmemiş ve sonuçlar stabil seyir takip etmiştir (Tablo 3.2.).

Tablo 3.2. Farklı tarihlerde alınan su numunelerinde kimyasal analiz sonuçları

Parametre	Erdemli Reğülatörü	Erdemli Reğülatörü	Erdemli Reğülatörü
	01.07.2022	28.07.2022	27.08.2022
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ: mg/L)	<10	<10	<10
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅ : mg/L)	<4	<4	<4
Bor (mg/L)	0,165	<0,01	<0,01
Kalsiyum (mg/L)	74,07	65,34	70,22
Klorür (mg/L)	90,50	27,24	25,32
Magnezyum (mg/L)	17,68	18,26	19,15
Nitrat (mg/L)	12,34	10,43	9,82
Nitrit (mg/L)	0,10	0,09	0,07
Sodyum (mg/L)	32,65	30,84	31,24
Toplam Azot (mg/L)	3,41	3,02	2,30
Toplam Fosfor (mg/L)	0,405	0,358	0,228
Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	0,45	0,51	<0,2
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	215	224	231

3.4. Katı madde özellikleri ve akışkan içerisinde madde hareketine etki eden faktörler

1. Dane özgül ağırlığı, katı maddelerin özgül ağırlığı, danecikleri oluşturan mineral ve kayalara göre değişiklik gösterir ve 2.5-2.7 gr/cm³ arasında değerler alır. Ancak, tabiattaki daneciklerin önemli bir kısmı kuvars kökenlidir ve özgül ağırlıkları 2.60-2.65 gr/cm³ aralığındadır.

2. Dane Biçimi, Daneciğin biçimini (şekli) ifade etmek üzere küresellik (daneciğin hacmine eşit kürenin yüzey alanının daneciğin yüzey alanına oranı) ve yuvarlaklık gibi parametreler kullanılmakla beraber en çok kullanılmaktadır.

3. Çökelme Hızı, Durgun bir suya ilk hızsız olarak bırakılan bir daneciğin hızı, ağırlığının (G) etkisiyle giderek artar. Bunun yanı sıra, hareket yönüne zıt doğrultudaki direnç kuvveti (F) ise hızın karesiyle ters orantılı olarak artış gösterir. G ve F kuvvetlerinin eşit olduğu anda ivme sıfır olur ve danecik o andaki hızı ile düşmeye devam eder. İşte daneciğin sabit hıza eriştiği bu denge durumundaki hızına çökelme hızı adı verilir. Daneciklerin çökelme hızını etkileyen faktörler şunlardır: Suyun viskozitesi, danenin çapı, özgül ağırlığı ve biçimidir.

4. Katı madde taşınım debisini hesaplarken, madde taşınmasına etki eden değişkenlerin neler olduğu iyi tespit edilmelidir. Çünkü akarsularda katı madde taşınımına etki eden çok sayıda değişken bulunmaktadır. Katı madde hareketi, çok sayıdaki fiziksel özellik ile tanımlanabilir:

- a. Akımla ilgili değişkenler; Su derinliği (h), ortalama hız (V), kayma hızı (U)
- b. Akışkanla ilgili değişkenler; Özgül kütlesi (ρ), viskozitesi (ν)
- c. Katı Madde ile ilgili değişkenler; Katı maddenin özgül kütlesi (ρ_s), dane çapı (D)
- d. Yerçekimi ivmesi (g)

5. Kayma gerilmesi yaklaşımı; Kayma gerilmesi yaklaşımına göre akarsularda katı maddenin harekete başlamasını sağlayan faktör, tabandaki kayma gerilmesidir. Suyun kaldırma kuvveti ile sürüklenme kuvveti parçacık etrafında bir akım oluşturur. Bundan dolayı bu iki kuvvet arasındaki basınç farkı sebebi ile kayma gerilmesi meydana gelir. Su içerisindeki bir parçacığın harekete başladığı sırada, etki eden devirici ve koruyucu kuvvetler birbirine eşittir. Devirici kuvvet momenti koruyucu kuvvet momentinden büyük olduğundan, katı madde kayar sonar çöker ve sediman birikimi gerçekleşir.

Dane boyutu ve dane çaplarına göre danelerin boyut sınıflandırılmasında genellikle taneciğin geçebildiği elek çapı kullanılır (Tablo 3.3.).

Tablo 3.3. Dane çaplarına göre danelerin boyut sınıflandırılması

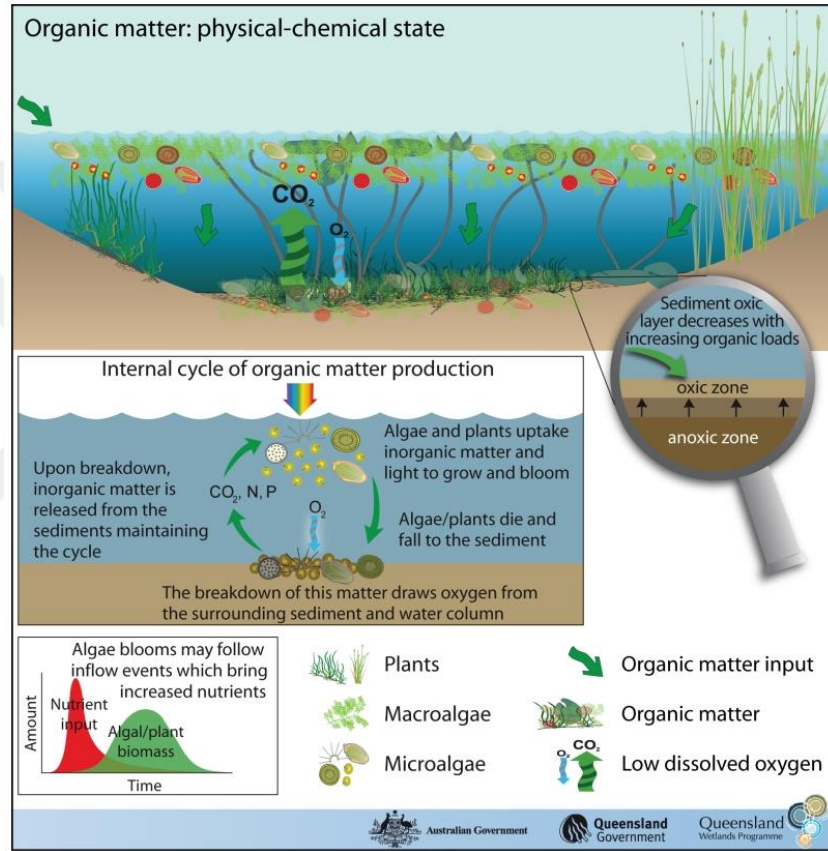
Adı	apı (μm)	Adı	apı (mm)
Kil	<2	İri kum	0.6-2
İnce silt	2-6	İnce akıl	2-6
Orta silt	6-20	Orta akıl	6-20
İri silt	20-60	İri akıl	20-60
İnce kum	60-200	Taş	60-200

Katı tanelerinin yer kabuğundan sökülmesi sonucu fiziksel olarak aşınma ve aşındırma sonucuerozyon meydana gelir ve suların yoğunluğu artar. Havza erozyonu sonucu yıkanmış malzemeler su kaynaklarına geldikten sonra farklı amaçlar için kullanılır. Su kaynağında bir kısım katı madde çökelirken, bir kısım askıda katı madde farklı amaçlar için kullanılan sularla birlikte kullanım alanlarına doğru akışa geçerler. Katı maddelerin sürüklenme gücünün azaldığı noktalarda çökelir vebirikirler. Bunun sonucu suyun aktığı mecranın morfolojik yapısını değiştirir. Genel olarak yağmur damlları yer kabuğuna geldiğinde berrak olurlar. Yere arpma sonucu yağmur taneleri yerden küçük parçacıklar koparırlar ve bu parçacıkların çapları; toprakların işleme tekniğine, bünyesine ve havzanın eğimine bağlıdır. Akışa geçen suyun sınıflandırılmasında; askı maddesi ve sürüntü maddesi olarak ikiye ayrılır. Askı maddesi genel olarak suyun içinde ve yüzeyde askı halinde tabanadeğmeden sıçrayarak hareket eden maddelerdir. Sürüntü maddesi ise akarsu yatağında kayarak ve yuvarlanarak hareket eden malzemeleri ifade eder. Ancak katı maddelerin sınıflandırılmasında toplam katı madde kavramı yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.5. Toplam Katı Madde (TKM: mg/L) ve Askıda Katı Madde (AKM: mg/L)

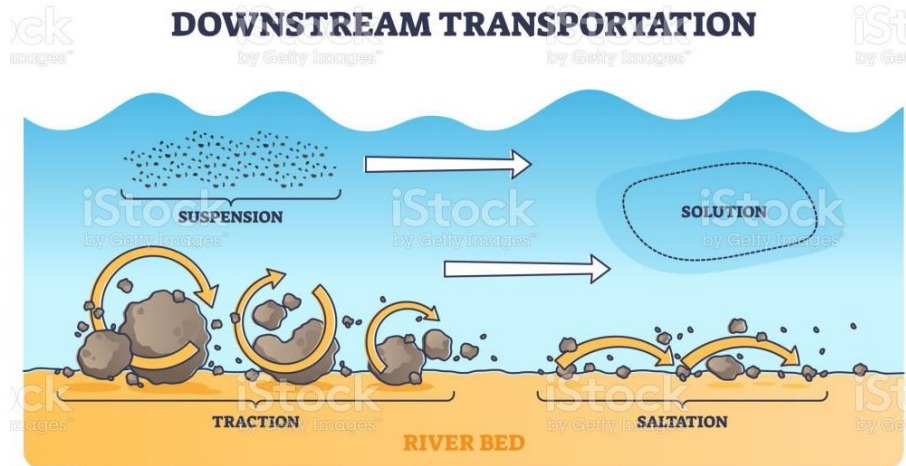
Akarsularda askı halinde hareket eden materyale askı maddesi denir. Yuvarlanarak, kayarak vesıçrayarak hareket eden malzemelere de sürüntü maddesi denir. Malzemenin her nn hareketinin hızının şiddetine bağlı olarak akarsu yatağında aşınmalara neden olur. Sudaki hızın azalmasıyla malzemenin sürüklenme gücü zayıflar. Akarsu yatağının sadece sağında veya solunda toplam katı maddeden oluşan sediman yükü artabilir. Sonuç olarak akarsu yatağında menderesler oluşur. TKMgenelde kil mineralleri, kolloidal organik parçaları ve planktonlardır. Ayrıca

tarımda sıkça kullanılan aşırı sulamalar sonucu vahşi sulamalarla birlikte gerçekleşen toprak erozyonu ile gelen malzemedir. TKM sularda fiziksel kirlenmeyi işaret eder. Suların bulanıklığı, su içerisindeki malzemenin yoğunluğu ve toksisitenin artması, ışık geçirgenliğinin zayıflaması ve çözölmüş oksijen miktarının düşmesi ile tahliye kanallarında sediman birikiminin artmasına neden olur. Kanalın en kesiti daralır. Ötrofikasyon sonucu sucul bitkilerin gelişimi ile suyun hızı yavaşlar (Şekil 3.2; Şekil 3.3; Şekil 3.4; ve Şekil 3.5).



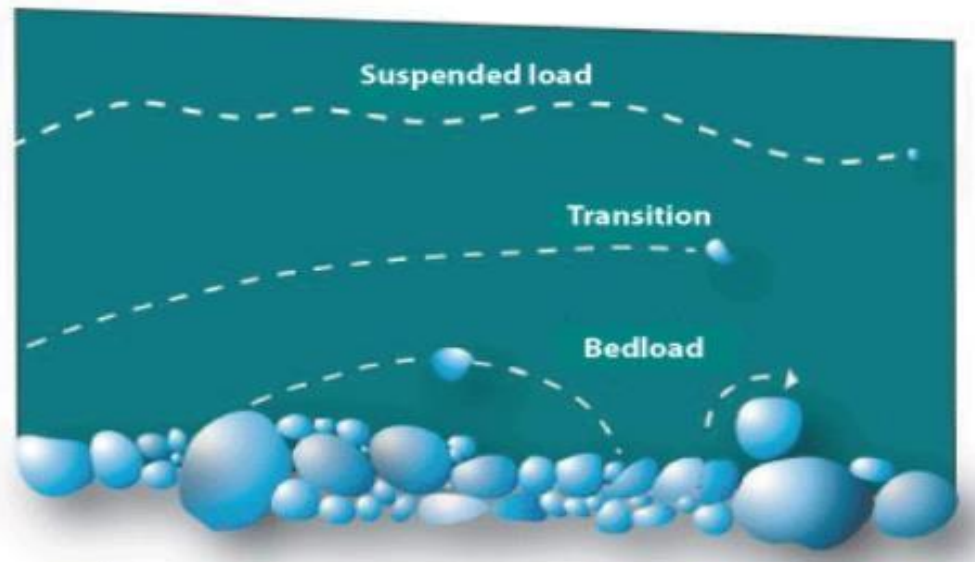
<https://wetlandinfo.des.qld.gov.au/wetlands/management/pressures/lacustrine-palustrine-threats/organic-matter/state.html>

Şekil 3.2. Akarsularda, göletlerde ve sulama projeleri kapsamında yer alan tahliye kanallarında sucul bitkilerin ve organik maddelerin yaşamsal döngüsü



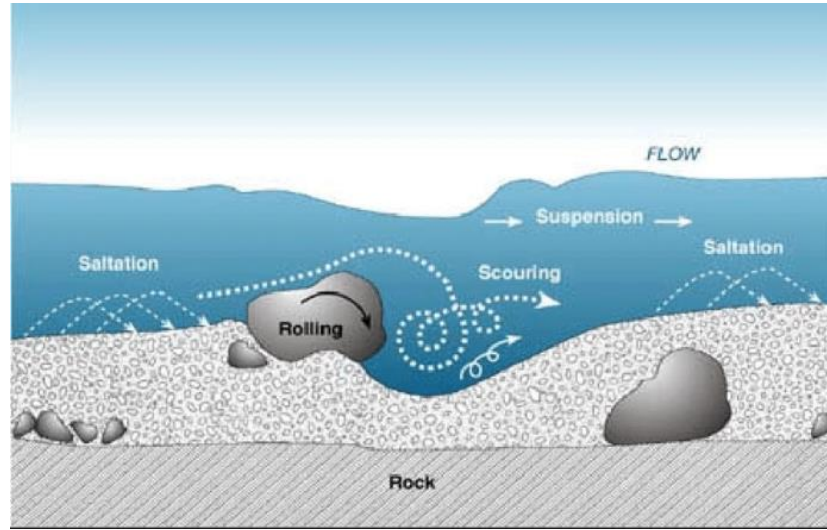
<https://www.istockphoto.com/tr/vekt%C3%B6r/downstream-transportation-with-pollution-sediment-particles-outline-diagram-gm1364559189-435733095>

Şekil 3.3. Akarsularda, göletlerde ve sulama projeleri kapsamında yer alan tahliye kanallarında TKM, AKM (yuvarlanarak, kayarak ve sıçrayarak) hareket eden sürüntü maddeleri



https://www.geologie.ens.fr/~meunier/Geo_3c.html

Şekil 3.4. Süspanse malzemelerin barajlarda, tahliye kanallarında ve kimi zaman taşkınlarla gelsediman miktarının su içerisindeki hareketi



Kaynak: https://www.researchgate.net/figure/Modes-of-sediment-transport-through-water-Source_fig43_263890981

Şekil 3.5. Akarsularda şiddetli yağışlar sonucu taşkınlarla gelen erozyon malzemesinin su içerisindeki sıçrama hareketi

Tahliye kanallarının antropojenik bozulmalardan dolayı, sahada su yönetiminden sorumlu kurum olan DSI'nin bakım onarım hizmetlerini, her yıl artan bütçelerle gerçekleştirdiği bilinir. Özellikle tahliye kanallarında; gerek TKM gerekse AKM'nin sulama sezonu boyunca zaman zaman yoğunluğunun arttığı, kimi zaman da düştüğü ve stabil hale geçtiği görülür. Bu eylemin gerçekleşmesi ürün ekim ve dikimden önce yapılan kültürel işlemlere özellikle toprak işlemeye bağlanabilir. Genel olarak aşırı-vahşi sulamaların olduğu sulama şebekeleri, benzer tepkiyi göstermektedir. Çalışmada görüleceği gibi tarımda kullanılan suların fiziksel özellikleri, sulama sezonu boyunca 117 gün süre ile izleme ve değerlendirmeye alınmıştır. Çıkan sonuç birim alan içinaşırı su tüketildiğini ortaya koymuştur. Bununla TKM'nin alıcı ortama gitmeden kendi mecrası içerisinde tutulumu ve kullanımı öngörülmüştür. TKM, ekosistemi içerisinde farklı su yapılarında çökmesi ve özellikle ötrofikasyon sonucu kanal tabanında TKM birikmesi sonucu kanal morfolojisinin değiştiği görülmüştür. Nakato, (1990) tarafından benzer tepki bildirilmiştir.

Her yıl toprakların bu şekilde erozyonu sonucu ve toprakların ciddi bozulmalarına ve kütleli olarak yoğun şekilde kayıpların meydana gelmesine neden olacağı söylenebilir. Tahliye kanallarında dönen suların besin zenginliğinden dolayı ekosistemin sucul bitkiler için uygun olduğu görülür. Bu nedenle Harran Ovası'nda

mevcut tahliye kanallarının çoğunda toprak erozyonundan dolayı sucul bitkilerin yoğun yaşadığı görülebilir. Xu et. al., (2022) tarafından benzer çalışma yürütülmüştür.

Sulamalarla yoğun şekilde tahliye kanallarına gelen erozyon, kanal morfolojisinde değişime neden olur. Kanal kesiti daralır, kanal kurpuna bağlı olarak sediman birikimi farklı şekilde gerçekleşir. Tahliye kanallarına taşınan sediman kanalların dolmasına, kesitin daralmasına kanalın sucul bitkilerle zenginleşmesine ve hızın düşmesine neden olur. Çalışmanın sonuçların görüşümüzü desteklediği söylenebilir.

Tabloda 3.4.'de görüleceği gibi HT13-2 tahliye kanalında mevsim boyunca fildöfer sisteminin memba ve mansap su kolonlarında horizontal olmak üzere 05.06.2022 -29.09.2022 tarihleri arasında çalışmanın farklı tarihlerinde toplamda yedi kez dönen sulardan su numuneleri alınmış toplam katı madde (TKM: mg/L ve askıda katı madde AKM: mg/L) analizleri yapılmıştır. NTU, pH ve EC değerleri, su numuneleri Erdemli Regülatörü'nden alındığı anda aletle okumaları gerçekleştirilmiştir.

Memba ve mansapta yığılan sediman miktarı gözlemlendiğinde suyun hızına bağlı olarak Tablo 3.4.'de verilen değerlerden, TKM ve AKM nümerik olarak birbirinden farklılık göstermiştir. Alınan numunelerde TKM değerleri, fildöfer girişinde 974-144 mg/L arasında, fildöfer çıkışında 733-40 mg/L arasında değişmiştir. En yüksek değer haziran ayı içerisinde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni haziran ayının sonuna kadar, hububat (buğday ve arpa) hasadından sonra ekilen mısır bitkisi için gerçekleştirilen kültürel faaliyetlerden dolayı toprağın hava boşluk (makro porozite) oranının yüksek olması TKM değerinin yüksek çıkmasını tetiklemiştir. Çünkü toprakların sudaki sürüntüsü, diğer zamanlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. TKM değerine paralel giden NTU değerleride bu tezimizi doğruladığını göstermiştir. Ağustos ayının ilk haftasından itibaren ekim ayının başınakadar TKM değerinin görece olarak azaldığı belirlenmiş, bu savımızı 04.08.2022 – 29.09.2022 tarihleri arasındaki TKM, AKM ve NTU değerleri bu yaklaşımımızı doğrulamıştır. Özellikle Ayrıca tabloda görüleceği gibi AKM değerleri TKM ye benzer tepki göstermiştir. Sürüklenen ve askıda akan materyal NTU değerleri ile paralellik gösterdiğinden dolayı, aşırı tüketilen vahşi sulamalarla beraber toprakların erozyona uğradığı müşahade edilmiştir. Sulama yöntemlerinin mevcut şekli ile tercih edilmesi halinde gelecek yüzyıla doğru önemli kütleli ve hacimsel toprak kayıplarının yaşanacağı yürütülen çalışma ile

kanıtlandığı görülmüştür. Özellikle TKM de en düşük değerin 144mg/L ve AKM nin ise 40 mg/L gerçekleşmesi dahi kabul edilebilir olamayacağı söylenebilir. Çünkü mevsim boyunca (mart sonu - ekim başı) alıcı ortama akması için tahliye kanalına, tahliye edilen suların gözle görülebilir şekilde bulanık akması araştırmamızın doğruluğunu ve endişemizin yerinde olduğunu kanıtlamaktadır. Fildöfer membasından ve mansabından alınan su numunelerinde; AKM değeri girişte 38166 mg/L ve çıkışta 226-41 mg/L aralığında belirlenmiştir. Benzer tepki NTU içinde geçerli olmuştur. NTU girişte 974-30 ve çıkışta 780-25 aralığında gerçekleşmiştir. Haziran ayında her üç TKM, AKM ve NTU parametrelerinin yüksek belirlenmesi ana neden, haziran ayında hububat ekiminden sonra, ikinci ürün mısır ekim hazırlığında topraklarda çok ciddi toprak işleme yapıldığı ve hemen arkasından tohum yatağında nem düzeyini, tarla kapasitesine getirmek için vahşisulamaların ve özellikle gece sulamaların kontrolsüz bırakıldığı ve özellikle yüzey akışla tahliye kanallarına mansaplanan sularda çok ciddi miktarda toprakların sulanan parsellerden çıktığı görülmüş, tehlikenin boyutları hem sahada ve hem de detaylı şekilde laboratuvarında okumalar yapılarak nümerik değerler elde edilmiştir. Her üç parameter değerlerin ağustos ayının ikinci çeyreğinde düşüş eğilimde olması; ıslanma ve kuruma sırasında ortaya çıkan içsel kuvvetlerin etkisi, yoğun şekilde makine kullanılması, toprak nemi ve havasının düşmesi toprakların agregasyonu sonucu degradesyona uğraması ve yapısal agregasyonun oluşması, topraklarda por (gözenek) oranlarının düşmesi, topraklardaki TKM, AKM ve NTU değerlerinin de düşmesine neden olduğu söylenebilir.

Fırat nehrinin suyunu Atatürk Barajı yardımıyla alan Harran Ovası sulama şebekesinde, suların elektriksel iletkenli (EC) değeri 350-400 μ S/cm arasında olduğu görülmüştür. Çalışmanın yapıldığı Erdemli Regülatörü'nde bu parameter 541-675 μ S/cm aralığında saptanmıştır. Bu suların özellikle EC, Na ve diğer parametrelerine bakıldığında ikinci sınıf sular olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 3.4. Erdemli regülatöründe alınan su numunelerinde 7 farklı tarihte elde edilen fildöfer giriş ve çıkışında yoğunluk (TKM ve AKM) ve NTU, pH ve tuzluluk değerleri.

Sıra	Tarih	TKM (mg/L)		AKM (mg/L)		NTU		pH	EC (μ S/cm)
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış		
1	05.06.2022	974	733	381	226	876	780	7,2	675
2	07.07.2022	852	712	412	215	556	548	7,8	597
3	25.07.2022	790	685	335	272	416	390	7,2	542
4	04.08.2022	747	683	308	255	358	318	7,4	541
5	30.08.2022	362	252	214	151	161	146	7,2	578
6	13.09.2022	253	194	87	64	84	65	7,3	575
7	29.09.2022	144	40	66	41	30	25	7,3	668

3.6. Erdemli Regülatörü'nde ölçülen ve hesaplanan mevsimlik su bütçesi (m^3)

Atatürk Barajı'ndan T1 ve T2 tünelleriyle alınan sulama suları iletim kanalı ile Mardin regülatöründen önce Urfa ve Harran regülatörüne saptırılmıştır. Saptırılan su Harran ve Urfa kanallarına, kanal kapasitelerine göre farklı oranlarda sulama suyu olarak alındığı gözlenmiştir. Regülatörün sol tarafına saptırılan suyun, Harran kanalının 74+900 km'de HY40 ve 76+180 km'de HY41 yedek kanalı ayrılmıştır. Her iki kanal 1/25.000 vaziyet planı üzerinde Erdemli regülatörünün yağış havzasını oluşturduğu belirlenmiştir. Saptırılan sular HT13-2 tahliye kanalının akışa göre sağ tarafta kalan 21 adet kanalet şebekesinden, ayrıca akışa göre bu kez sol tarafta kalan 19 adet kanalet şebekesiyle sulanan parsellerden çıkış yapan suların, HT13-2 tahliye kanalına mansaplandığı tespit edilmiştir. HT13-2 tahliye kanalına gelen yüzey ve derine sızan taban suları, Erdemli Regülatörü aracılığıyla beton kaplı trapez kesitli kanal yardımıyla HYA kanalında akan Yardımlı regülatöründen saptırılan kullanılmış sularla birleştirilmiştir. Ve böylece Erdemli regülatörü için HT13-2 tahliye kanalı su kaynağı olarak kullanılmıştır. Mevsim boyunca su akışı 117 gün $\approx$ 4 ay devam etmiştir. HT13-2 tahliye kanalından derine edilen suların debileri 4 ay süre içerisinde başlangıç ve bitiş tarihleri dikkate alınarak Elektronik muline (Current meter, CM-32) ile 7 kez debi ölçümleri yapılmıştır.

HT13-2 tahliye toprak kanaldan, beton kaplı trapez kesitli kanala yani Erdemli regülatörünederine edilen suyun debi ölçümleri, genel olarak sabahın ilk saatlerinde gerçekleştirilmiş, farklı tarih ve saatlerde yapılan ölçümlerden elde edilen hacim verileri incelendiğinde, toplamda 12.277.571 m^3 suyun fildöfer sisteminden geçtiği ve

mevsim boyunca $\cong 1.214$ L/s ortalama akım gerçekleştiği hesaplanmıştır (Tablo 3.5.).

HT13-2 tahliye kanalında yüksek debiler temmuz ve ağustos aylarında ölçülmüş, çünkü bitki vejetatif döneminin temmuz ve ağustos aylarında pik yapması, nicel olarak hacim değerlerinin artmasını tetiklemiştir. Erdemli Regülatörünü yukarıda ifade edildiği gibi HY40 ve HY41 yedek kanalın tersiyer mertebesindeki, toplamda 42 kanalet şebekelerinden beslendiği ve toplam yağış (sulama şebekesi) havzasının 1.058,6 ha olduğu iş sonu proje üzerinden hesaplanmıştır. Buna göre mevsimlik su tüketimi dikkate alındığında şebekenin sediman miktarının da benzer aylarda gerçekleştiği görülmüştür. Sonuç olarak dönen suların birim alanından $\cong 1.214$ mm derinliğinde ki su, alıcı ortamı beslemiştir. Örneğin Adana Seyhan sağ ve sol sahil sulamalarında, regülatörlerin olmadığı makro ölçekli konvansiyonel sulamalarda, kullanılmış suların, yeniden kullanılmamasından dolayı su verimliliği ciddi şekilde düştüğü sonucu çıkarılabilir.

Su Yönetimi Genel Müdürlüğünün Harran Ovası'nda yaptığı bu ve benzer çalışmalardan elde edilen bulgular, hem Türkiye hem de dünya için rehber niteliğinde olabilir. Çünkü tarımdan dönensön derece zengin besi içeriğine sahip suların n kez tekrar tekrar tarımda kullanımı, milli ekonomide yaratacağı katma değer, her proje/şebeke için ayrı ayrı öneme sahip olduğu söylenebilir. Tasarruf edilen her metreküp sudan, içme suyu temini, tarımsal üretim ve sürdürülebilir gıda güvenliği ve enerji üretimi sağlanabilir. Ancak Ovada su verimliliği son derece düşüktür ve sebebi literatürde karşılığı olmayan vahşi sulama yöntemlerini işaret etmektedir.

Tablo 3.5. HT13-2 tahliye kanalından beslenen Erdemli Regülatörü'nde farklı tarih ve saatlerde ölçülen debi (m^3/s) ve hacim (m^3) değerleri

Tarih	Saat	Gün	Saat	Dakika	Toplam Zaman (s)	Debi(L/s)	Hacim(m^3)
05.06.2022	07:30	0	0	0	0	0	0
07.07.2022	07:35	32	0	5	2.765.100	1.252	3.461.905
25.07.2022	08:05	18	0	30	1.557.000	1.425	2.218.725
04.08.2022	07:35	9	23	30	862.200	1.382	1.191.560
30.08.2022	07:05	25	23	30	2.244.600	1.315	2.951.649
13.09.2022	07:35	14	0	30	1.211.400	1.024	1.240.474
30.09.2022	08:35	17	1	0	1.472.400	824	1.213.258
					10.112.700		12.277.571
				Gün	117	Debi333	1.214

3.7. Harran Ovası için şebekeye alınan hacimsel su miktarının (m^3) uygunluk veya tezatlık senaryosu

Harran ovası proje dâhili şebeke büyüklüğü 124.000 ha bildirilmekte, proje harici ilave sahalarla 140.000 ha kabul edilmektedir. Ancak sulanan alan biraz daha artacağı yetkililer tarafından ifade edilmekte ve toplamda 150.000 ha olabileceği düşünülmektedir. Bu senaryoya göre 150.000 ha alanın, tamamı karık sulamaya uyumlu projelendirildiğinden dolayı geleneksel bitkilerden pamuk, mısır, hububat vb. için 1.000 mm sulama suyunun yeterli olacağı görülmektedir. Harran Ovası'nda kullanılmış suların yeniden tarımda kullanılması yoğun bir şekilde gerçekleştiğinden dolayı, 1.000 mm'nin çok üzerinde kullanıldığını ifade etmek mümkündür. Bu durumda, Harran Ovası sulaması için mevsimlik maksimum su ihtiyacı 1.5 milyar m^3 yeterli olacaktır. Bu hacimsel değere diversiyon ve tarla içi randımanlarda dâhildir.

Tablo 3.6. incelendiğinde Harran kanalının kapasitesi 84 m^3/s ve Urfa kanalının 40 m^3/s bildirilmekte ve toplam kapasite 124 m^3/s verilmektedir. Harran ve Urfa kanallarının toplam kapasitesi 124 m^3/s olmasına karşın, temmuz ve ağustos ayları hariç her iki kanala toplamda 147.000 m^3/s debinin çarpanları kullanarak şebekeye su alınmıştır. Ancak temmuz ve ağustos aylarında yaşanan yoğun su sıkıntısından dolayı, Harran kanalına üst kotlardan geçen Mardin-Ceylanpınar isale kanalının iki farklı noktasından, Harran kanalına toplamda 20 m^3/s takviye yapıldığı bilgisi paylaşılmış, temmuz ve ağustos aylarında kanal kapasitesi 167 m^3/s 'ye çıkartıldığı ifade edilmiştir. Şöyle bir soru akla gelebilir. 167 m^3/s suyun her iki kanala verilmesi nasıl mümkün olabilir? Cevap; her iki kanal Harran-Urfa regülatöründen itibaren kapasite üstü çalıştığı, çünkü ovanın genelinde vahşi sulama yapıldığı net olarak görülmektedir. Bu nedenle Harran kanalının ileri noktalarında kapasitenin dramatik şekilde düştüğü ve bu noktalarda, Mardin-Ceylanpınar kanalından 10 m^3/s kapasite ile iki kez Harran kanalına toplamda 20 m^3/s takviye yapıldığı ve 167 m^3/s suyun Harran Ovasına verildiği açıklanmıştır. 2022 yılı için mevsimlik su tüketimi tablosunun son alt satırında toplam ≈ 1.97 milyar m^3 su şebekeye verilmiştir. Oysa sınırları zorlayarak Harran Ovası için maksimum mevsimlik su tüketimi ≈ 1.5 milyar m^3 olması beklenmektedir. Ancak beklentinin ötesinde Arıcan deresinden deşarj noktasına gitmek için ≈ 0.5 milyar m^3 su çıktığı tahmin edilmektedir. Deşarj suyu ile ≈ 50.000 ha ilave saha daha sulanabilir. Bu büyüklük Seyhan Ovası sulama alanının yarısı ölçeğinde bir sahanın daha, su yapıları ile sulama suyu temini karşılanabilir. Minimum

0.5 milyar m³ ile Atatürk barajında türbinlerde önemli düzeyde elektrik üretilebilir veya ilkbahar ve yaz aylarında altı ay süreyle 10 milyon nüfuslu şehrin içme-kullanma suyu temini sağlanabilir. Böylece anlamlı şekilde, hem milli bütçeye katkı sağlanır ve hem de doğal kaynakların (toprakların) kaybı önlenir. Topraklarda tuzluluk sorunu yaşanmaz ve antropojenik tahribata son verilir. Unutulmaması gereken bir konu deşarj edilen su, sınır aşan sular kategorisine girmektedir. Yukarıda açıklanmaya çalışılan senaryoya göre, Arıcan deresinden alıcı ortama mansaplanan suyun miktarına bağlı olarak, sediman miktarı da artmakta veya azalmaktadır. Sahada görseller ve gözlemler endişemizi doğrulamaktadır. Fakat konumuz ve çalışmanın öznesi bu değildir.



Tablo 3.6. 2022 Yılı Harran Ovası şebekeye alınan mevsimlik su bütçesi

Aylar	Gün/ay	Saniye/gün	Debi (m³/s)	Çarpan Faktörü	Hacim (m³/s)
Nisan	30	86400	147	0,65	247.665.600
Mayıs	31	86400	147	0,70	275.607.360
Haziran	30	86400	147	0,80	304.819.200
Temmuz	31	86400	167	1,00	447.292.800
Ağustos	31	86400	167	1,00	447.292.800
Eylül	30	86400	147	0,65	247.665.600
					1.970.343.360

3.8. Sulamadan dönen su miktarı ve kullanım alternatiflerinde suların kalitesinin korunması için, yapısal olmayan ve yapısal çözüm önerileri

Dünya genelinin çoğunda tarımda kullanılan suların verimliliği düşüktür. Türkiye’de bu ülkeler kategorisine girmektedir. Verimlilik düşüncü bu kez tarımsal sulamadan dönen tahliye suyu miktarı da (3.208,32 milyon m³/yıl) artmaktadır (Tablo 7.). Dönen suların yeniden kullanımında en büyük sektör yine tarımsal sulamadır. Türkiye’de 1.000 ha üzeri sulama şebekeleri ve tarımsal sulamada dönen sulama suyu miktarı (milyon m³/yıl) (SYGM TUBİTAK-MAM, 2017). Sadece Harran Ovasında

Tablo 3.7. Havzalara göre 1.000 ha üzeri sulama şebekeleri ve sulamadan dönen su miktarı

No	Havza	1000 hektar üzeri sulama şebekesi sayısı	Sulamadan dönen tahliye suyu miktarı (milyon m ³ /yıl)
1	Meriç Ergene	11	98,12
2	Marmara	11	50,75
3	Susurluk	17	94,75
4	Kuzey Ege	7	34,12
5	Gediz	8	99,90
6	Küçük Menderes	3	7,55
7	Büyük Menderes	23	283,51
8	Batı Akdeniz	12	64,99
9	Antalya	19	113,07
10	Burdur	4	19,33
11	Akarçay	2	7,76
12	Sakarya	19	73,89
13	Batı Karadeniz	5	11,35
14	Yeşilırmak	19	79,81
15	Kızılırmak	47	133,80
16	Konya Kapalı	22	173,75
17	Doğu Akdeniz	8	50,22
18	Seyhan	8	385,96
19	Asi	5	31,98
20	Ceyhan	13	274,18
21	Fırat-Dicle	51	909,22
22	Doğu Karadeniz	-	-
23	Çoruh	1	1,09
24	Aras	5	154,31
25	Van Gölü	8	54,91
TOPLAM	328		3.208,32

DSİ 15. Şanlıurfa Bölge Müdürlüğü tarafından, sulamadan dönen suların yeniden kullanılması amacıyla 2019 yılında başlatılan **Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından desteklenen “Şanlıurfa Harran Ovaları Sulaması Sulamadan Dönen Suların Değerlendirilmesi Planlaması”** başlıklı proje ile Harran Ovası sulamasında teknik detayları verilen 9 adet regülatör aracıyla ile dönen suların tekrar tarımsal sulama için kullanıldığı belirlenmiştir. Bu tür benzer su yapılarıyla, temmuz ve ağustos aylarında Türkiye’nin birçok sulama projesinde yoğun şekilde kullanılmaktadır. Ve 14.501 hektar alan dönen sularla sulanabilmektedir (3.8.). Çünkü kurak ve yarı kurak bölgelerde, suyun kıt olduğu projelerde, kullanılmış suların tekrar

tarımda kullanılmaması halinde, üründe verim sağlanması mümkündür benzer bildirimler kimi araştırmacılar tarafından da verilmiştir (Challinor ve ark, 2014).

Tablo 3.8. Harran Ovası sulamasında hali hazırda dönen suları yeniden kullanmak için aktif olan regülatörler (DSİ, 2019)

Regülatör Adı	Sulama Tipi	Üzerinde Bulunduğu Kanal	Priz Debisi (m ³ /sn)	Sulayabileceği Alan (ha)	Mevcut Durumu
Turluk Regülatörü	Cazibe	Ana Tahliye Kanalı	3	2940	Çalışıyor. Bakım-onarım ihtiyacı var.
Selman Regülatörü	Cazibe	HT-10 Tahliye Kanalı	1.5	1470	Çalışıyor. Bakım-onarım ihtiyacı var.
Yardımlı Regülatörü	Cazibe	HT-10-1 Tahliye Kanalı	4	3921	Çalışıyor. Bakım-onarım ihtiyacı var.
Yayvandırık Regülatörü	Cazibe	HT-11 Tahliye Kanalı	1	980	Çalışıyor. Bakım-onarım ihtiyacı var.
Toytepe Regülatörü	Cazibe	HT-11 Tahliye Kanalı	1	980	Çalışıyor. Bakım-onarım ihtiyacı var.
Erdemli Regülatörü	Cazibe	HT-11-2 Tahliye Kanalı	1	980	Çalışıyor. Bakım-onarım ihtiyacı var.
Akçalı Regülatörü	Cazibe	HT-13 Tahliye Kanalı	0.8	780	Çalışıyor. Bakım-onarım ihtiyacı var.
Küplüce Regülatörü	Pompaj	Ana Tahliye Kanalı	1.5	1470	Çalışıyor. Bakım-onarım ihtiyacı var.
Hacıekber Regülatörü	Cazibe	UT-2 Tahliye Kanalı	1	980	Çalışıyor. Bakım-onarım ihtiyacı var.
		Toplam		15.501	

Sulamadan dönen suların yeniden sulamada kullanılması ve kalitesinin korunması için, yapısal olmayan ve yapısal çözüm önerileri, Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü ve TÜBİTAK-MAM (2017) tarafından yürütülen “GAP Bölgesinde Sulamadan Dönen Suların Kontrolü ve Yeniden Kullanımı İçin İyileştirilmesinin Araştırılması Projesi” kapsamında belirlenmiştir. Yapısal olmayan alternatifler; yasal ve idari çözümler, çiftçi eğitimi, sulama yönetim ve işletim sistemleri alternatiflerinden oluşmaktadır. Yapısal çözüm önerileri; sulama sistemlerinin iyileştirilmesi, drenaj sularının kalitesinin kontrolü, dönüş sularının yönetimi ve arıtımıdır. Tarımsal sulamadan elde edilen su verimliliğinde, suyun kalitesi ve yönetimi en önemli faktör olduğu anlaşılmıştır. Tarımsal sulamadan dönen suların yeniden kullanılmasında, GAP Bölgesinde Sulamadan Dönen Suların Kontrolü ve Yeniden Kullanımı İçin İyileştirilmesinin Araştırılması Projesi neticesinde aşağıdaki Şekil 3.6’da yönetim piramidi önerilmiştir (TÜBİTAK-MAM,2017). Dönen Suların Kontrolü ve Yeniden Kullanımında tercih sıralaması üstten alta doğru olmalıdır. Alttaki üç seçenek yapısal alternatiflerdir. Yapısal olmayan basit bazı çözümler, (çiftçi eğitimi gibi) meseleyi tümüyle ortadan kaldırabilirken, bunların yapılamaması durumunda pahalı yapısal çözüm (arıtma gibi) alternatifleri gündeme gelmiştir.



Şekil 3.6. Tarımsal Sulamadan Dönen Suların Yönetimi İçin Alternatiflerin Sıralanması (TÜBİTAK-MAM, 2017)

Resmî Gazete'nin 28 Ekim 2017 tarih ve 30.224 sayılı nüshasında "Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelikte yer alan, su tasarrufu ve verimliliği hakkındaki Madde 15'e göre; sürdürülebilir su kullanımının sağlanması ve kullanan öder ilkesinin gerçekleştirilmesi ve yaygınlaştırılması maksadıyla; Kullanılmış suların yeniden kullanımının özendirilmesi, sulama ve beşeri tüketim amaçlı su tarifelerinin kullanıcılar tarafından suyun verimli kullanımını özendirecek şekilde belirlenmesi, üretim ve tüketim bazında su dengesinin gözetilmesi, tasarruflu ve verimli su teknolojilerinin ve mevcut en iyi tekniklerin kullanımının özendirilmesini sağlamakla yükümlüdür" hükmü yer alması şeklinde verilmektedir. Bu yönetmeliğe göre, tarımda kullanılmış suların yeniden kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Bu kapsamda yapılan uygulamalarda yeniden kullanılan suların, sulama suyu kalitesine uygun olması, tarımsal üretim verimi, sulama sistemleri ve toprağın korunması açısından önemlidir.

GAP Bölgesinde Sulamadan Dönen Suların Kontrolü ve Yeniden Kullanımı İçin

İyileştirilmesinin Araştırılması Projesi verilerine göre; 2016 yılında cazibe sulama ve 2017 yılında basınçlı sulama örnekleme noktalarında kirlilik durumu ve tuzluluk değişimleri ortaya konmuştur. Buna göre, genel sulama suyu kriterlerine göre, dönen suların analiz sonuçları su kalitesinin az-ortakullanım kısıtlamasında olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, Harran Ovası'nda 2 noktada tuzluluğun arttığı ve genel sulama suyu karakterinin yüksek kullanım kısıtlamasına gerilediği görülmektedir. Sulama suyunun yetersiz olduğu yerlerde su ihtiyacını tamamlamak için tahliye suları önemli bir alternatiftir. Su sorununu çözmesinin yanı sıra, tahliye suyunu kullanarak mansap koşullarında bulunan sahaların su sorunları azalır. Tahliye suyunun kalitesi, orijinal temiz sulama suyu kalitesinden doğal olarak daha düşüktür. Tahliye suyunun doğrudan kullanılması durumunda, suyun kalitesi sulanabilecek ürünleri belirler. Çok tuzlu tahliye suları tuza hassas bitkilerin sulanmasında kullanılamazken; tuza dayanıklı bitkilerde, ağaçlarda, çalı ve yem bitkilerinde kullanılabilir. Tahliye suyunun tekrar kullanılmasında temel endişelerden biri, tekrar kullanılan suların çoğunlukla aşırı konsantre olmalarıdır ki, bu da dikkatli bir su yönetimi gerektirir (Tanj, K.K. & Kielen, N.C., 2002).

Tuzluluk ve sodyumluluk (sodicity) tahliye suyunun tekrar kullanıma uygun olup olmadığını belirleyen temel parametrelerdir. Bunlara ek olarak tahliye suyunda iz elementlerinin varlığı (B, Se, Mo, vb.) ürün verimi, ürün kalitesi, su hayatı, tüketici ve çevre kalitesi üzerinde potansiyel tehlike oluşturabilir (Grattan, 1999).

Türkiye'de birçok irili ufaklı sulama şebekelerinde, temiz su ile tahliye suları belirli oranlarda paçallanarak sulama yapılmaktadır. Örneğin Adana Seyhan Sol sahil Yüregir ve Sağ sahil Seyhan sulama şebekelerinde ve daha birçok sulama şebekelerinde İzmir Menemen ve Aydın Söke Ovalarında görülebilir. Bu yaklaşım son derece makul ve anlamlı olduğu kabul edilebilir. Benzer çalışmalarda, tahliye suyunun tekrar kullanımı döngüsel, karıştırma (paçallama) veya ardışık kullanım şeklinde olabilir. Farklı tuzluluktaki suların döngüsel kullanımı önerilmekte olup, döngüsel sulamanın ürünlerin çeşitli büyüme evrelerinde başarıyla uygulandığı, ayrıca dayanıklı ve hassas ürünlerin rotasyonunda kullanılabileceği gösterilmiştir (FAO, 1997). Tarımdan dönen suların arıtılması yerine, AAT'den çıkan suların paçallanarak kullanılması veya arıtılmış suların uygun türdeki toleransı bitkilerde kullanılması daha doğru bir yaklaşım sayılabilir. Oysa tahliye sularının arıtılması normalde en son

başvurulacak işletim ve yönetim seçeneğidir. Bunun sebebi arıtma maliyetinin yüksek olmasıdır. Tahliye suyunun arıtılması, diğer tüm seçeneklerin ekonomik cazibesinin olmaması durumunda başvurulacak bir seçenek olmalıdır. Yüksek oranda tuz, selenyum ve diğer iz elementleri içeren yüzey altı drenaj sularının arıtılması şu amaçları sağlamak için yapılır. Tuz ve toksik bileşenlerin tehlikeli sınırların altına indirilmesi, tarımsal su yönetim amaçlarının karşılanması, yerüstü sulardaki su kalitesinin korunması ve kirletici seviyelerini yaban hayatı için risk oluşturacak seviyenin altına düşürülmesi amaçlanır (Tanj, K.K. & Kielen, N.C., 2002): Tahliyesuyu deşarjının önemli bir problem oluşturduğu ABD'nin Kaliforniya Eyaleti'nde bulunan SJV tahliye sularından nitrat, tuz ve selenyum giderimi için çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtmamethodları denenmiş ve elde edilen sonuçlar rapor haline getirilmiştir (Tanj, K.K. & Kielen, N.C., 2002).

3.9. Tarımdan Dönen Tahliye sularında kirleticiler 5 ana sınıfta toplanabilir

1. Mikrokirleticiler (ağır metaller, pestisitler, toksik kirleticiler vb.),
2. Sediman,
3. Organik kirleticiler ve besi maddeleri (Çözünmüş oksijeni tüketen maddeler, N ve P),
4. Patojenler (E. coli, helminth eggs vb.),
5. Tuzluluk ve iyonlar (Na, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃ ve CO₃ iyonları ve SARdeğerlendirmesi) şeklinde verilebilir.

Yukarıda sıralanan parametreler uygun olması durumunda tarımdan dönen suların potansiyel kullanım alanları

1. Yüzeysel ve yer altı içme ve kullanma sularının beslenmesinde,
2. Su ürünleri yetiştiriciliğinde,
3. Endüstriyel amaçlı kullanımda (soğutma suyu vb.),
4. Rekreatyone amaçlı kullanımda (yapay ve doğal göletlerin beslenmesinde),

5. Tarımsal üretim amaçlı yeniden kullanımda sorun olmayacağı söylenebilir.

Sulamadan dönen suların tarımda yeniden kullanılması için üç ana strateji

1. Tahliye suyunun kalitesi iyi ise (Tuzluluk < 1 dS/m); tüm tarımsal üretim ve farklı uygunsektörlerin ihtiyaçlarında,

2. Tahliye suyunun kalitesi orta ise (1 dS/m $<$ Tuzluluk $< 4,6$ dS/m)

2.1. Paçallama yöntemi ile tarımsal sulamada,

2.2. Döngüsel kullanım (bir sulama döneminde, dönen suyun kullanılması, diğer sulamadöneminde kaynak sularıyla ardışık su takip sistemiyle,

2.3. Tuzluluk ve kirliliğe toleranslı tarımsal üretim için doğrudan kullanım.

2.4. Tahliye suyunun kalitesi kötü ise (Tuzluluk $> 4,6$ dS/m); kirlilik parametrelerine bağlı olarak bir AAT'den sonra tarımsal üretimde doğrudan veya kısmi kullanım yöntemiyle kullanımının mümkün olacağı söylenebilir.

Tahliye sularının yeniden kullanımında karşılaşılabilecek en önemli sorun, yüksek katı madde içeriğinden dolayı yeniden kullanım için özellikle beton kaplamalı sulama kanallarında, sediman birikimi ve bunun ortaya çıkaracağı işletme bakım sorunlarıdır. Bu durum kanallarda bakım-onarım maliyetinin yükselmesine ve ciddi bütçenin ayrılmasına neden olabilir.

1. EPA (2012), tarafından bildirilen; kullanılmış suların yeniden kullanımı önerisi çalışma sonucu elde edilen bulgularla uyum göstermiştir.

2. Özellikle sera gazı emisyonlarının dağılımının sanayi devriminden sonra hızlı şekilde atmosfere serbestlendiği yıllardan itibaren iklim değişikliği üzerine olumsuz etki yarattığı, bu etkinin doğal kaynaklarda, su ve topraklarda kalitesinin düştüğü ve birçok sektörde olumsuzluklar sonucu ekosistemin bozulduğu görülmüştür. Sonuç olarak özellikle su kaynaklarının kullanımında kuraklık yaşandığından dolayı ciddi şekilde gıda güvenliği arzının azaldığı görülmüştür. Türkiye'nin yakın geçmişe bakıldığında yağışların mevsimlerin altında gerçekleştiği belirlenmiştir. Buna örnek olarak 2022-2023 yağışların son derece düşük olduğu görülmüştür. Harran Ovası

yağışların düşük olmasından önemli düzeyde etkilenmiştir. Metcal and Eddy, (2003) tarafından benzer yaklaşım yapılmıştır.

3. Türkiye’de atık suyun AAT’den geçtikten sonra alıcı ortama verilmeden önce tarımda yoğun şekilde kullanılmaktadır. Jones ve ark. 2021 tarafından benzer açıklama yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucu elde edilen bulgulara, Harran Ovasında tarımdan dönen suların mevsimlik toplam hacminin $\cong$ %85 tarımsal sulamadan ve %15 evsel atıklardan geldiği saptanmıştır. Benzer sonuçlar Türkiye genelinde de olduğu görülmüştür (SYGM TUBİTAK-MAM,2017).

4. Toprak tuzluluğu ve sodikliği toprak mikrobiyotasını etkilediğinden dönen suların kullanılmasında etki yarattığı bildirilmiştir. (Chowdhury et. al., 2011). Yürütülen çalışmada su ve topraktaki tuzluluk değerlerinin ön görülen limitlerin altında kaldığı anlaşıldığından olumsuz bir etki yaratmamıştır. Ve önceki çalışmayla uyumlu olduğu belirlenmiştir.

5. Şanlıurfa Harran Ovası lokasyonunda, kullanılmış suların yeniden kullanımında kimi çiftçiler, dönen sulardaki besi zenginliğinden dolayı düşük dozda gübre dozu kullandıkları tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar toprak bitki ve çevre ilişkisinde alınmış ve mikrobiyolojik faaliyetlerin pozitif yönde etkilendiği bildirilmiştir (Laughton et. al., 1990; Neilson et. al., 1991; Blanc ve Nasser 1996; NRC, 1996; Moscoso and Egocheaga, 2002).

Kullanılmış sularda evsel atıkların (gri suyun) halk sağlığının korunması için virüs, bakteri ve patojenlerin bulaş özelliklerinden dolayı, epidemiyodolojik sonuçların oluşmaması için, çalışma alanımız sınırlarında çiğ tüketilen sebzelerde genel olarak uygulanmadığı görülmüştür. Bu konuda toplumun yaklaşımının bilinçli olduğu gözlemlenmiştir. Diğer araştırmacıların çalışmalarıyla uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. (Parsons et. al., 1975; Shuval, 1993; Crook, 1998; Coote ve Gregorich 2000; Oron et. al., 2001)

6. Gerek Türkiye’de gerekse diğer gelişmekte olan ülkelerde tarım arazileri yoğun şekilde yatay mimariye uygun artan demografik yapıya paralel olarak tarım arazileri horizontal olarak gelişim göstermektedir. Nüfus artışının tarım arazilerine doğru bu ilerleyişi gıda arz güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Çünkü verimli topraklar antropojenik bozulmalara sebebiyet vermektedir. (Craun et. al., 1994; Challinor et. al., 2014; Guadarrama-Brito and Fernández, 2015) tarafından Benzer yaklaşımlarda

bulunmuşlardır.

7. Türkiye’de asrın ilk çeyreğinde kullanılmış suların yeniden kullanımı dünya kullanımtrendine uygun şekilde gitmektedir (Corcoran et. al., 2010; Norton-Brandão, 2013).

8. Kullanılmış suların yeniden kullanımında, tarım alanları birincil amaç olduğundan. suyun kalitesi de önemli olmaktadır. Suların kalite sınıflandırılmasında; elektriksel iletkenlik EC değerleri, ağır metaller, bakteri ve virüsler (E. coli), nitrat, nitrit kirliliği, pestisitler v.b kirlilikler gelmektedir. Sıralanan bu parametrelerin önemli bir kısmı yer altı sularına karışacağı için içme-kullanma taleplerinin karşılanması için zorunluluk olduğunda, ciddi hastalıkların (ishal, tifo, paratifo, kolera, dizanteri, sıtma), bakteri, virüs veya parazitlerin neden olduğu, farklı kuruluşlar ve araştırmacılar tarafından da gündeme getirilmiştir (WHO,2006; Norton-Brandão, 2013).

9. Çalışmanın yürütüldüğü Harran Ovası sulamalarında tarımdan dönen kullanılmış suların yeniden kullanımında, Şanlıurfa evsel atıklarının AAT’de tahliye sularına karıştığı görülmektedir. Ancak Harran Ovası’nın genelinde bulunan köylerin evsel atıklarının tahliye kanallarına mansaplanması yukarıda ifade edildiği gibi önemli sağlık sorunlarını beraberinde getirdiği söylenebilir. Çünkü bu sular uygun deşarj koşulları sağlanmadan tahliye kanallarına bırakılmaları nedeniyle ciddi sağlık sorunlarının yaşanmasına neden olacağı, evsel sularla bulaş olan tahliye sularıyla temas edenlerde ciddi hastalıkların yaşanacağı, belki de yaşanıyor olması bile düşünülebilir. Harran Ovası için yaşanan endişelere benzer sonuçları farklı araştırmacılar da paylaşmışlardır (Felizatto, M. 2001; Tzanakakis, 2007).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Katı tanelerinin yer kabuğundan sökülmesi sonucu fiziksel olarak aşınma ve aşındırma sonucu suların taşıdıkları katı maddeler, akarsu yatağında akan suların yoğunluğunu arttırabilirler. Havza erozyonu sonucu yıkanmış malzemeler su kaynaklarına geldikten sonra farklı amaçlar için kullanılırlar. Suyun kaynağında bir kısım katı madde çökelirken, bir kısım askıda katı maddeler, farklı amaçlar için kullanılan sularla birlikte son kullanım noktalarına taşınırlar. Sürüklenme gücünün azaldığı noktalarda katı maddeler çökelir ve birikirler. Ve suyun aktığı mecranın morfolojik yapısını değiştirirler. Çoğu kez bu yapıların estetiğini bozarlar. Genel olarak yağmur damlaları yer kabuğuna geldiğinde berrak olurlar. Yağmur taneleri yere çarpma sonucu yerden küçük parçacıklar koparırlar ve bu parçacıklar toprakların işleme tekniğine, toprağın bünyesine ve havzanın eğimine bağlıdır. Akışa geçen suyun sınıflandırılmasında; askı maddesi ve sürüntü maddesi olarak ikiye ayrılır. Askı maddesi genel olarak suyun içinde ve yüzeyde askı halinde tabana değmeden hareket eden maddelerdir. Sürüntü maddesi ise akarsu yatağında yuvarlanarak hareket eden maddeleri ifade eder. Katı maddelerin sınıflandırılmasında toplam katı madde kavramı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışmada görüleceği gibi tarımda kullanılan suların fiziksel özellikleri sulama sezonu boyunca 117 gün süre ile izleme ve değerlendirmeye alınmıştır. Çıkan sonuç birim alan için aşırı tüketildiği görülmüştür. Bununla birlikte toplam katı maddenin alıcı ortama gitmeden kendi mecrası içerisinde tutulumu ve kullanımı öngörülmüştür. Toplam katı madde ekosistemi içerisinde farklı su yapılarında çökmesi ve özellikle ötrofikasyon sonucu kanal tabanında toplam katı maddenin birikmesi sonucu kanal morfolojisinin değiştiği görülmüştür. Benzer tepkiler birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir.

Tahliye kanallarında dönen suların besi zenginliğinden dolayı ekosistemin sucul bitkiler için uygun olduğu görülür. Bu nedenle Harran Ovası'nda mevcut tahliye kanallarının çoğunda toprak erozyonundan dolayı sucul bitkilerin yoğun yaşadığı görülebilir. Benzer çalışma (Xu et. al., 2022) farklı araştırmacılar tarafından

bildirilmiştir.

Tahliye kanalları vahşi sulamaların taşıdığı erozyon ile birlikte zenginleşmesinin, kanal geometrik formunun bozulmasına, sucul bitkilerin artmasına, akış dinamiklerinin projede ön görülen sınırları zorlamasına, kanal içerisinde sucul bitkilerden dolayı su kolonunun membaya doğru batık çalışmasına ve en önemlisi ciddi şekilde tarım toprakların kaybedilmesine ve her yıl veya iki yılda bir DSİ tarafından tahliye kanallarının temizlenmesine ihtiyaç duyulacaktır.

Çalışmada elde edilen TKM, AKM ve NTU arasında kuvvetli bir ilişki görülmüştür. Şöyle ki çalışma alanının 1., 2., 3. Ve 4. Sulamalarında değerler yüksek gerçekleşirken, bu kez son üç sulamada TKM ve NTU benzer sonuçlar vermiştir. Bu durum şöyle açıklanabilir; TKM'nin yoğun ölçüldüğü sulamalarda NTU'nun yüksek okunması, bulanıklığın TKM'nin artışına neden olduğu söylenebilir.

Erdemli Regülatörü'nde Alınan Su Numunelerine Ait Kimyasal Analiz Sonuçları

Erdemli Regülatörü'nden 3 farklı tarihte alınan su numunelerinden 13 parametrenin analizleriyapılmış, elde edilen sonuçlar kullanılmış suların hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri bakımından kullanımında sakınca olmadığı görülmüştür.

Erdemli Regülatörü'nden geçen HT13-2 tahliye kanalının sularına ait kimyasal analizleri 3 farklı zaman diliminde 13 parametrede okumalar yapılmıştır. Sonuçlar BOİ ve KOİ her üç tarihte benzer tepki vermiş ve anlamlı farklılıklar oluşmamıştır.

4.2. Öneriler

1. Türkiye'de mevcut konvansiyonel sulamalarda vahşi sulama yaygın olarak kullanıldığı için yoğun şekilde aşırı su kayıpları ve toprak erozyonu gerçekleştiği, son derece yanlış olan bu tür sulama yöntemleri, her iki doğal kaynak için S.O.S verdiği ve mutlak tedbir gerektirdiği söylenebilir.
2. Türkiye'den konvansiyonel sulamalar için birçok örnek verilebilir. (1) Kaynağı Atatürk barajı olan Harran Ovası'nı besleyen ana damar Harran ve Urfa kanalları, (2) kaynağı Aslantaş barajı olan ve Cevdetiye Regülatörü'nden beslenen ASO Osmaniye-Kadirli sağ sahil ve BSO Adana-Ceyhan sol sahil sulamaları, (3) kaynağı Adana-Seyhan barajı olan Seyhan sağ sahil ve Yüreğir sol sahil sulama projelerinde ve daha

birçok benzer sulama şebekelerinde trapez kesitli kaplamalı kanallarda su verimliliği son derece düşük gerçekleştiği, sebebinin ise su kullanımında çiftçi alışkanlıkları ve sistemin rehabilitasyona ihtiyaç duyulmasından kaynaklandığı görülebilir. Sulama şebekelerinin iyileştirme, rehabilitasyon/developman sonucu basınçlı sulamalara, yağmurlama ve damla sulama yöntemlerine geçirilmesi zorunlu olacağı sonucu çıkarılabilir. Çünkü doğal kaynaklarda suyun verimliliğinin artışı ile milli gelirin yükseleceği, tasarruf edilecek her birim su ile farklı sektörlerde örneğin HES’lerde daha verimli kullanım imkânı bulanacağı, ayrıca basınçlı sulamalarda doğal kaynaklardan toprak erozyonu gerçekleşmeyeceğinden dolayı antropojenik sahaların oluşamayacağı sonucu çıkarılabilir. Verilen üç sulama şebekesinin su talebi(debisi) $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ’nin üzerinde olduğu ve net çözümün basınçlı sulamalara dönüşümünden, elde edilecek su ile sırasıyla Atatürk, Aslantaş ve Seyhan barajlarında HES tribünlerinde enerji üretimi milli ekonomiye katma değer yaratılabilir.

3. Modern sulama tekniklerine geçiş süreci çok zaman alması durumunda, kanallara sınırları zorlayan debilerin uygulanmaması ve her türlü mülahazlardan çekinmeden, bu konudaki tutarlı davranışlarda ısrarlı olunmasından sonuç alınabilir.
4. Vahşi sulamaların ciddi zararları ve su verimliliğindeki düşük performansın neden niçinleri reel numerik değerlerle ve kamu spotlarıyla halka duyurulabilir.
5. Konvansiyonel sulamalarda tahliye kanallardaki sulamadan dönen suların regülatör su yapıları ile n kez tekrar tekrar kullanılabilir. PYSA çözüm olarak bakılabilir.
6. PYSA tekniğinin güçlü modelleme ve programlarla projelerinin statik hesaplaması, sistemin kanallara indirilmesi ve kıştan önce mevsim sonunda sistemin kanaldan kaldırılması, erozyon sonucu biriken toprağın geri kazanımları çözüm olarak değerlendirilebilir. Böylece erozyon malzemesi aynı lokasyonda kullanılabilir. Toprakların alıcı ortama gitmesi önlenebilir.
7. DSİ ve SYGM ile ortak projelerle Türkiye sathında tüm sulama şebekelerinde PYSA sisteminin su yapılarında ve tüm sanat yapılarındaki avantaj ve dezavantajları saptanabilir. Bu işlem orta vadede tatbikat projeleri dâhil beş yılda tamamlanabilir.
8. PYSA sisteminin taşkın ve kuraklık periyotlarında pozisyonların net olarak ortaya konulması gerekebilir.
9. PYSA’nın Türkiye sathına yayıldığında, milli ekonomiye katkısı ve yaratacağı

katma değer hesaplanabilir.

10. Fazla suyun fazla verim olmadığı, suların fazlalığının zararları iletişim araçları ve basın yayın organları ile duyurulması yararlı olabilir.



KAYNAKÇA

- Angelakis, A. N. and P. Gikas. (2014). “Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states”. *Water Utility Journal*, 8, 67-78.
- Angelakis, A. N. and S.A. Snyder. (2015). “Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future”. *MDPI, Water* 7 (9), 4887-4895.
- Asano, T., L. Leong., M. Rigby and R. Sakaji. (1992). “Evaluation of the california wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data”. *Water Sci. Technol.* 26, 1513–1524.
- Bahçeci, İ. (2014). “Harran Ovasında Farklı Drenaj Yönetimlerinin Su Dengesi Üzerine Etkileri”. 18,sayı 4, 48-59.
- BC MAFF (British Columbia Ministry of Agriculture, Food and Fisheries) (2001). *Guide to irrigation system design with reclaimed water*. Victoria, B.C.
- Blanc, R. and A. Nasser. (1996). “Effect of effluent quality and temperature on the persistence of viruses in soil. *Water Sci. Technol*”. 33(10–11), 237–242.
- Bole, J. B. and R.G. Bell. (1978). “Land application of municipal sewage waste water: yield and chemical composition of forage crops”. *J. Environ. Qual.* 7(2), 222–226.
- Coote D.R, and L.J. Gregorich (ed.) (2000). *The health of our water: toward sustainable agriculture in Canada*. Research Branch, Agriculture and Agri-food Canada, Ottawa, Ontario.
- Crook, J. (1998). “Water reclamation and reuse criteria, p. 627–703”. *In Asano T (ed.), Wastewater reclamation and reuse*. Vol. 10, CRC Press, New York.
- Çetin, M., C. Kırdar., H. Efe., ve S. Topçu (2008). *Düşük Kaliteli Suların Sulamada Kullanılmasının Neden Olabileceği Olası Tuzluluk Sorununun Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında İrdelenmesi*. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi
- DSİ, (2021). *DSİ Genel Müdürlüğü Haritalı İstatistik Bülteni*
- DSİ, (2022). *DSİ Genel Müdürlüğü Çevrimiçi* Available: <https://> 2022

- EPA, (2004). EPA/625/R-04/108 Guidelines for Water Reuse United States Environmental Protection Agency Municipal Support Division Office of Wastewater Management Office of Water Washington, DC Technology Transfer and Support Division National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development Cincinnati, OH U.S. Agency for International Development Washington, DC.
- EPA, (2012). United States Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. Environmental Protection Agency Office of Wastewater Management Office of Water Washington D.C.
- Exall, K., J. Marsalek., and K. Schaefer (2004). “A review of water reuse and recycling, with reference to Canadian practice and potential: 1. Incentives and implementation. Water Qual”. Res. J. Canada 39 (1), 1–12.
- FAO, 1997. The State Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization Of The United Nations. Rome.
- FAO, 2007. Advances in the Assessment and Monitoring of Salinization and Status of Biosaline Agriculture. Reports of Expert Consultation Held in Dubai, United Arab Emirates; Rome, Italy.
- Feigin, A., I. Ravina., and J. Shalhevet. (1991). Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Springer-Verlag, New York.
- Felizatto, M. (2001). “Projeto integrado de tratamento avançado e reúso direto de águas residuárias”. In Proceedings of the 21 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, Brasil, 16–21 September 2001; pp, 1–17.
- Florida DEP (Department of Environmental Protection). 2002. 2021 Reuse Inventory Division of Water Resource Management Florida Department of Environmental Protection.
- <https://floridadep.gov/sites/default/files/2021%20Reuse%20Inventory.pdf>
- Fragaszy, S., T. Jedd., N.A. Wall., and C.L. Knutson. (2020). “Drought Monitoring in the Middle East and North Africa (MENA) Region: Participatory Engagement to Inform Early Warning Systems. Bulletin of the American Meteorological

Society”. 101 (7).

Funamizu, N., M. Iida., Y. Sakakura., and T. Takakuwa. (2001). “Reuse of heat energy in wastewater: implementation examples in Japan”. *Water Sci. Technol.* 43(10), 277–285.

Gad, A. (2008). *Water culture in Egypt*. National Authority for Remote Sensing and Space Sciences, Egypt. *Options Méditerranéennes*, A.n: 83, Water Culture and Water Conflict in the Mediterranean Area.

Guadarrama-Brito, M., and A. Fernández. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *CIBA Revis. Iberoam. Cienc. Biol. Agropecu.* 4, 22–44.

Güneş, K., M.A. Çullu., M. Şimşek., B. Topkaya., M.H. Aydoğdu., M. Beşiktaş., ve M.D. Çelebi (2022). “Reuse of Water in Agriculture (Treated Wastewater, Drainage Water). *Waterand Wastewater Management*”. P, 231–245.

Güney, C. (2015). *Entegre Su Yönetiminde Yasal- Kurumsal Yapı ve İşleyiş*. Orman ve Su İşleri Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi. Ankara.

Harmancıoğlu, N. (2002). *Entegre Su Kaynakları Yönetimi Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 419, 29-39.

Hoekstra, A.Y., and A.K. Chapagain. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resources Management* 21(1), 35–48.

Hogg, T., G. Witerman., and L. Tollefson. (1997). “Effluent irrigation: the Saskatchewan perspective”. *Can. Water Resour. J.* 22(4), 445–455.

<https://www.worldometers.info/world-population/> erişim tarihleri?

Illich, I. (1985). *H₂O and the Waters Forgetfulness*. The Dallas Institute of Humanities and Culture. 2719 Rouht Street, Dallas Texas. 75201.

Jame, YW., V.O. Biederbeck., W. Nicholaichuk., and H.C. Korven. (1984). “Salinity and alfalfa yield under effluent irrigation in southwestern Saskatchewan”. *Can. J. Soil Sci.* 64, 323–332.

Jeppesen, B. (1996). “Domestic greywater re-use: Australia’s challenge for the

future''. Desalination 106, 311–315.

Jiménez, B.; D. Mara., R. Carr., and R. Brissaud. (2020). F. Wastewater treatment for pathogen removal and nutrient conservation: Suitable systems for use in developing countries. In *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*; Earthscan: London, UK.

Jones, E.R., van M.T.H Vliet., M. Qadir., and M.F.P. Bierkens. (2021). “Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse”. *Earth Syst. Sci. Data*. 13, 237–254.

Kemp, B. (1991). *Ancient Egypt: Anatomy of a Civilization* (London & New York: Routledge).

Liu, Y., and R. Haynes. (2011). Origin, nature, and treatment of effluents from dairy and meat processing factories and the effects of their irrigation on the quality of agricultural soils. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 41, 1531–1599.

Marsalek, J., K. Schaefer., K. Exall., L. Brannen., and B. Aidun. (2002). “Water reuse and recycling. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba. CCME Linking Water Science to Policy Workshop Series”. Report No. 3. 39 p.

Metcal and Eddy, 2003. *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. New York McGraw-Hill.

Moscato, J., and L. Egocheaga. (2002). *Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y potencial*. In *Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*; AIDIS: Lima, Peru.

Mujeriego, R., L. Sala., M. Carbo., and J. Turet J. 1 (1996). “Agronomic and public health assessment of reclaimed water quality for landscape irrigation. *Water Sci. Technol.*”. 33(10–11), 335–344.

Nakato, T. (1990). “Tests of Selected Sediment-Transport Formulas. *Journal of Hydraulic Engineering*”, 116, 362–379.

Neilson G.H., D.S. Stevenson., J.J. Fitzpatrick., and C.H. Brownlee (1991). “Soil and sweet cherry responses to irrigation with waste-water”. *Can. J. Soil Sci.* 71, 31–

41.

- NRC (National Research Council) (1996). Use of reclaimed water and sludge in food crop production. National Academy Press, Washington, D.C.
- Oron. G., R. Armon., R. Mandelbaum., Y. Manor., C. Campos., L. Gillerman., M. Salgot., C. Gerba., I. Klein and C. Enriquez (2001). Secondary wastewater disposal for crop irrigation with minimal risks. *Water Sci. Technol.* 43(10), 139–146.
- Oster, J.D., and S. Grattan. (2002). Drainage water reuse. *Irrigation and Drainage System.* 16(4), 297-310.
- Parsons, D., C. Brownlee., D. Wetter., A. Maurer., E. Haughton., L. Kornder., and M. Slezak.(1975). Health aspects of sewage effluent irrigation. Department of Lands, Forests and Water Resources, Victoria, British Columbia.
- Pedersen J.A., Yeager, M.A., and I.H. Suffet. 2002. “Characterization and mass load estimates of organic compounds in agricultural irrigation runoff. *Water Sci. Technol.*”. 45(9), 103–110.
- Rijsberman, F.R. (2006). “Water Scarcity: Fact or Fiction. *Agricultural Water Management* 80”, p, 5–22.
- Shiklomanov, I.A. (1998). World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. Monograph Prepared and Submitted to UNESCO, Division of Water Sciences Hydrological Institute, International Hydrological Programme (IHP), UNESCO.
- Shiva, V. (2007). *Water Wars Privatization, Pollution and Profit*. First Published in the United Kingdom, by Pluto Press.
- Shuval, H.I. (1993). “Investigation of typhoid fever and cholera transmission by raw wastewater irrigation in Santiago, Chile. *Water Sci. Technol.*”. 27 (3–4), 167–174.
- Tanji, K.K., and N.C. Kielen. (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 61. Rome.
- Townshend, A.R. (1993). Advancing the “light grey option”: making residential greywater reuse happen. Report to Canada Mortgage and Housing Corporation,

Ottawa, Ontario. 57 p.

SYGM TUBİTAK-MAM, (2017). Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü

Tzanakakis, V., N. Paranychianaki., and A. Angelakis (2007). “Soil as a wastewater treatment system: Historical development”. Water Sci. Technol. Water Suppl. 2007, 7, 67–75.

WHO. 2006. Guidelines for Wastewater and Greywater Use in Agriculture: A Practical Interpretation. In book: Efficient Management of Wastewater (pp.1-17).

Xu, Y., C.R. Esposito., M. Beltrán-Burgos., and H.M. Nepf. (2022). Competing effects of vegetation density on sedimentation in deltaic marshes. Nature Communications, 13 (1), 4641. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32270-8>

EKLER

Ek Tablo 1. Şanlıurfa ili Harran ilçesi - istasyon no:19270 2022 yılı kimi iklim verileri

Parametre	Rasat S. (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)		5,8	10,3	8,3	19,3	21,6	28,4	30,1	27,9	25,2	20,3	13,7	10,4	18,4
Günlük Maksimum Sıcaklıkların Aylık Ortalaması (°C)		9,0	17,3	14,2	27,4	28,7	36,0	38,7	36,4	35,5	31,5	21,1	17,7	26,1
Günlük Minimum Sıcaklıkların Aylık Ortalaması (°C)		2,6	3,4	2,8	11,1	14,0	19,1	20,4	19,8	15,1	11,2	7,8	5,2	11,0
Aylık Ortalama Nispi Nem (%)		91,3	68,5	76,2	50,3	54,8	45,8	50,3	74,6	67,8	63,8	67,9	67,2	64,9
Aylık Toplam Yağış Ortalaması (kg/m ²)		16,1	3,5	34,3	4,8	70,5	0,8	0,0	0,9	0,0	0,3	38,1	31,0	200,3

Ek Tablo 2. Şanlıurfa 17270 numaralı istasyona ait 43 yıllık (1979-2022) uzun yıllar iklim parametreleri

	T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü													
	UZUN YILLAR TÜM PARAMETRELER BÜLTENİ 1980-2022 17270 ŞANLIURFA Enlem: 37.1608 Boylam: 38.7863 Yükseklik: 550,0 m													
Parametre	Rasat(YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık Ortalama Hava Basıncı (hPa)	43	954,2	952,6	950,4	948,9	947,5	943,8	940,5	942,0	946,7	951,5	954,1	955,0	948,9
Aylık Maksimum Hava Basıncı (hPa)	43	967,4	968,1	966,2	961,5	958,2	954,0	949,5	949,8	956,5	963,5	966,0	967,3	968,1
Aylık Minimum Hava Basıncı (hPa)	43	932,5	928,7	928,0	931,3	931,0	933,2	932,5	934,0	937,6	935,3	935,0	934,6	928,0
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	43	5,9	7,4	11,3	16,8	22,6	28,5	32,4	31,8	27,4	20,9	13,0	7,8	18,8
Günlük Ortalama Sıcaklığın 5 °C ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	43	21,20	22,39	29,51	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	30,00	31,00	29,39	26,13	342,6 2
Günlük Ortalama Sıcaklığın 10 °C ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	43	1,51	6,48	20,55	29,13	31,00	30,00	31,00	31,00	30,00	30,90	24,23	7,88	273,68
Günlük Maksimum Sıcaklıkların Aylık Ortalaması (°C)	43	10,4	12,4	17,0	23,1	29,3	35,3	39,3	38,7	34,3	27,3	18,5	12,3	24,8
Günlük Minimum Sıcaklıkların Aylık Ortalaması (°C)	43	2,7	3,5	6,6	11,2	16,3	21,5	25,2	24,7	20,8	15,5	8,8	4,6	13,5
Aylık Maksimum Sıcaklık (°C)	43	20,5	25,5	29,5	36,4	40,4	44,1	46,8	45,8	43,9	37,0	29,2	26,0	46,8
Aylık Maksimum Sıcaklığın Kayıt Edildiği Tarih (Gün-Ay-Yıl)	43	01/01/2000	18/02/2000	24/03/2008	23/04/2008	21/05/2021	27/06/2019	30/07/2000	13/08/2019	01/09/2020	02/10/2012	01/11/1992	03/12/2010	30/07/2000

Minimum Sıcaklığın - 20 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	0													
Minimum Sıcaklığın 20 °C ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	43				0,16	4,90	20,51	30,34	30,16	18,13	2,04			106,24
Minimum Sıcaklığın 10 °C ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	43	0,02	0,16	4,74	18,76	30,32	30,00	31,00	31,00	30,00	29,60	12,44	0,60	218,64
Parametre	Rasat S. (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Minimum Sıcaklığın 5 °C ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	43	7,34	10,53	22,25	29,23	31,00	30,00	31,00	31,00	30,00	30,95	26,02	15,44	294,76
Aylık Ortalama Toprak Üstü Minimum Sıcaklığı(°C)	41	0,6	1,1	3,9	8,1	12,8	17,7	21,0	20,3	16,2	11,7	5,8	2,4	10,1
Aylık Maksimum Toprak Üstü Minimum Sıcaklığı (°C)	43	2,0	5,0	9,1	5,0	10,2	17,5	20,1	19,4	15,8	17,6	6,9	5,0	20,1
Aylık Minimum Toprak Üstü Minimum Sıcaklığı(°C)	43	-11,0	-10,6	-9,5	-3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	-5,3	-9,8	-11,0
Toprak Üstü Minimum Sıcaklığın - 0.1 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	41	13,19	9,65	3,58	0,14							1,68	7,80	36,04
Toprak Üstü Minimum Sıcaklığın -3 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	41	5,24	4,07	1,02	0,02							0,43	2,58	13,36
Toprak Üstü Minimum Sıcaklığın -5 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	41	1,78	1,56	0,31								0,04	0,68	4,37
Toprak Üstü Minimum Sıcaklığın - 10 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	41	0,02	0,04											0,06
Aylık Ortalama Su Buharı Basıncı (hPa)	43	6,6	6,9	7,8	9,2	10,6	11,5	12,9	14,3	12,0	10,1	8,4	7,4	9,8
Aylık Ortalama Nispi Nem (%)	43	70,3	65,8	60,3	55,2	45,4	34,5	31,6	35,6	37,8	46,9	60,9	70,0	51,2

Aylık Maksimum Nispi Nem Ortalaması(%)	43	97,6	97,0	96,7	95,6	91,8	78,8	75,1	79,4	83,6	93,0	95,8	97,4	90,2
Aylık Minimum Nispi Nem Ortalaması (%)	43	25,2	23,9	20,8	18,5	14,2	11,4	10,2	11,9	12,4	15,5	21,7	27,3	17,8
Aylık Ortalama Bulutluluk Miktarı (8 Okta)	43	3,6	3,4	3,1	2,9	2,2	1,1	0,8	0,8	1,0	2,0	2,7	3,4	2,3
Parametre	RasatS. (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık Açık (Bulutsuz) Günler Sayısı Ortalaması	43	10,00	9,30	10,40	10,60	14,70	22,30	25,50	25,40	23,30	16,20	12,80	10,70	191,20
Aylık Bulutlu Günler Sayısı Ortalaması	43	17,70	17,10	19,70	19,20	16,30	8,20	7,40	8,90	8,00	14,80	16,50	17,60	171,40
Aylık Kapalı (Gökyüzü Bulutlarla Kaplı)	43	4,70	2,90	1,90	1,60	1,00						2,30	3,80	18,20
Günler Sayısı Ortalaması														
Aylık Toplam Yağış Ortalaması (mm=kg÷m²) OMGI	0													
Aylık Maksimum Yağış (mm=kg÷m²) OMGI	0													
Aylık OMGI Maksimum yağış kayıt tarihi gün-ay-yıl	0													
Aylık Yağışlı Gün Sayısı Ortalaması (mm=kg÷m²) OMGI	0													
Aylık Toplam Yağış Ortalaması (mm=kg÷m²)	43	77,5	65,3	63,0	42,4	27,6	5,2	2,3	4,0	6,9	26,0	49,8	74,8	444,8
Aylık Maksimum Yağış (mm=kg÷m²)	43	62,3	64,7	59,5	47,0	50,5	23,4	9,7	26,0	42,3	50,2	49,3	90,5	90,5

Günlük Toplam Yağışın 0.1 mm. ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	43	11,70	10,44	10,63	9,16	7,02	1,65	0,42	0,30	0,95	5,30	8,16	10,58	76,33
Günlük Toplam Yağışın 10 mm. ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	43	2,53	2,33	1,98	1,21	0,84	0,07		0,02	0,12	0,79	1,53	2,63	14,05
Günlük Toplam Yağışın 50 mm. ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	43	0,05	0,02	0,07		0,02					0,02		0,09	0,28
Parametre	Rasat S. (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık Kar Yağışlı Günler Sayısı Ortalaması	29	1,45	1,31	0,24	0,03							0,10	0,48	3,61
Aylık Karla Örtülü Gün Sayısı Ortalaması	12	2,50	3,25	1,00									2,60	9,35
Aylık Ortalama Kar Yüksekliği(cm)	22	5,3	5,0	1,0									2,9	3,6
Aylık Maksimum Kar Yüksekliği (cm)	29	25	14	1	-1								7	25
Aylık Maksimum kar kayıt tarihi gün-ay-yıl	18	19/01/2000	09/02/1985	19/03/2022	02/04/1990								20/12/2002	19/01/2000
Aylık YağışlıGün Sayısı Ortalaması	43	11,70	10,44	10,58	9,12	6,93	1,56	0,35	0,30	0,93	5,23	8,16	10,53	75,83
Aylık Yağmurlu Günler Sayısı Ortalaması	43	11,51	9,98	10,84	9,23	7,51	1,72	0,40	0,35	1,16	5,70	8,12	10,23	76,75
Aylık Dolulu Günler Sayısı Ortalaması	43	0,16	0,23	0,74	0,67	0,47	0,07		0,02	0,02	0,05	0,09	0,09	2,61
Aylık Sisli Günler Sayısı Ortalaması	43	0,65	0,12	0,05	0,02					0,02	0,09	0,12	0,53	1,60

Aylık Kırğıl Günler Sayısı Ortalaması	43	2,51	1,21	0,28								0,14	1,49	5,63
Aylık Çiğli Günler Sayısı Ortalaması	43	1,28	1,14	1,79	2,35	1,16	0,12	0,35	0,49	0,58	1,67	2,67	2,49	16,09
Aylık Orajlı Günler Sayısı Ortalaması	43	0,12	0,33	0,67	1,33	1,88	0,84	0,07	0,16	0,47	0,86	0,44	0,12	7,29
Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	2,2	2,1	1,9	1,7	1,2	1,1	1,1	1,6
Aylık Maksimum Rüzgar Yönüve Hızı (m÷sn)	43	WSW17,4	WSW 24,1	NW20,6	W 20,0	W 20,1	WNW24,3	NNW18,5	NW31,5	WNW21,1	NNW18,5	WNW 20,4	NNE20,1	NW31,5
Aylık Maksimum Rüzgarın Kayıt Edildiği Tarih (Gün- Ay-Yıl)	43	19/01/2000 08:47	20/02/20 01 17:41	14/03/2009 12:00	16/04/2001 15:00	17/05/1983 18:39	01/06/1987 15:48	05/07/2009 15:31	22/08/20 12 08:40	25/09/2010 09:17	15/10/ 2008 13:55	07/11/ 2007 15:15	28/12/2006 03:42	22/08/2 012 08:40
Aylık Kuvvetli Rüzgarlı Gün Sayısı ort.	43	1,09	1,33	2,81	3,79	4,53	4,63	3,53	2,28	2,07	1,19	0,98	0,65	28,88
Aylık Fırtınalı Günler Sayısı Ortalaması	43	0,02	0,09	0,09	0,14	0,19	0,16	0,05	0,05	0,02	0,09	0,07	0,05	1,02
Aylık N Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	2342	1853	1841	1531	1923	1717	1654	1759	1512	1688	1814	1910	21544
Aylık N Yönünde Esme Oran(%)	43	7,33	6,36	5,79	4,95	6,01	5,56	5,18	5,63	4,94	5,35	5,88	5,98	5,74
Parametre	RasatS (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık N Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı(m÷sn)	43	1,0	1,1	1,2	1,1	1,4	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,9	1,2
Aylık NNE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	1861	1415	1541	1347	1677	1668	1616	1370	1136	1366	1622	1902	18521

Aylık NNE Yönünde Esme Oranı (%)	43	5,82	4,86	4,85	4,35	5,24	5,40	5,06	4,39	3,71	4,33	5,26	5,96	5,05
Aylık NNE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	0,9	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,5	1,2	1,0	1,0	0,9	0,8	1,1
Aylık NE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	868	658	687	566	707	469	483	477	433	644	788	724	7504
Aylık NE Yönünde Esme Oranı (%)	43	2,72	2,26	2,16	1,83	2,21	1,52	1,51	1,53	1,42	2,04	2,55	2,27	2,00
Aylık NE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,2	1,1	0,9	0,9	0,8	0,7	1,0
Aylık ENE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	2699	2084	1790	1500	1189	731	734	815	716	1253	1731	2430	17672
Aylık ENE Yönünde Esme Oranı (%)	43	8,44	7,16	5,63	4,85	3,72	2,37	2,30	2,61	2,34	3,97	5,61	7,61	4,72
Aylık ENE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	0,9	1,0	0,9	1,1	1,1	1,3	1,2	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0
Aylık E Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	2467	1996	1937	1379	831	334	506	813	615	984	1512	2493	15867
Aylık E Yönünde Esme Oranı (%)	43	7,72	6,85	6,09	4,46	2,60	1,08	1,59	2,60	2,01	3,12	4,90	7,81	4,24
Aylık E Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	0,8	0,9	1,0	1,1	1,0	1,1	1,2	1,1	1,0	0,8	0,9	0,9	1,0
Aylık ESE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	3765	3132	2748	2548	1790	775	1546	2465	1864	1949	2438	3507	28527
Aylık ESE Yönünde Esme Oranı (%)	43	11,78	10,75	8,65	8,24	5,60	2,51	4,85	7,90	6,09	6,18	7,90	10,98	7,62

Parametre	RasatS. (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık ESE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m ² sn)	43	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,3	1,0	0,9	1,0	1,2
Aylık SE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	1096	1028	1064	1185	828	507	1038	1230	1218	1209	1040	1048	12491
Aylık SE Yönünde Esme Oranı (%)	43	3,43	3,53	3,35	3,83	2,59	1,64	3,25	3,94	3,98	3,83	3,37	3,28	3,34
Aylık SE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m ² sn)	43	1,0	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,5	1,4	1,4	1,1	0,9	0,9	1,2
Aylık SSE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	930	994	1226	1305	968	610	842	930	859	1186	1019	910	11779
Aylık SSE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m ² sn)	43	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,2	1,4	1,2	1,2	1,1	0,9	0,9	1,2
Aylık SSE Yönünde Esme Oranı (%)	43	2,91	3,41	3,86	4,22	3,03	1,97	2,64	2,98	2,81	3,76	3,30	2,85	3,15
Aylık S Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	435	533	711	611	697	411	505	498	530	665	481	360	6437
Aylık S Yönünde Esme Oranı (%)	43	1,36	1,83	2,24	1,98	2,18	1,33	1,58	1,60	1,73	2,11	1,56	1,13	1,72
Aylık S Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m ² sn)	43	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,5	1,3	1,4	1,1	0,9	1,0	1,3
Aylık SSW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	354	477	652	581	697	663	594	820	652	564	453	291	6798
Aylık SSW Yönünde Esme Oranı (%)	43	1,11	1,64	2,05	1,88	2,18	2,15	1,86	2,63	2,13	1,79	1,47	0,91	1,82

Aylık SSW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	1,0	1,1	1,3	1,5	1,5	1,6	1,7	1,6	1,5	1,1	0,8	0,8	1,3
Aylık SW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	269	394	606	645	706	719	601	671	709	593	361	265	6539
Aylık SW Yönünde Esme Oranı (%)	43	0,84	1,35	1,91	2,09	2,21	2,33	1,88	2,15	2,32	1,88	1,17	0,83	1,75
Parametre	RasatS. (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık SW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	1,1	1,2	1,5	1,8	1,9	2,0	1,8	1,8	1,7	1,2	1,0	0,7	1,5
Aylık WSW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	664	936	1507	1969	1974	2213	1968	2083	2395	1468	832	715	18724
Aylık WSW Yönünde Esme Oranı (%)	43	2,08	3,21	4,74	6,37	6,17	7,16	6,17	6,67	7,83	4,65	2,70	2,24	5,00
Aylık WSW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	1,0	1,3	1,6	2,0	2,2	2,4	2,4	2,3	2,0	1,5	1,0	0,9	1,7
Aylık W Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	1683	1833	2507	3152	3608	3869	3612	3171	3282	2763	2015	1716	33211
Aylık W Yönünde Esme Oranı (%)	43	5,26	6,29	7,89	10,19	11,28	12,52	11,32	10,16	10,73	8,75	6,53	5,37	8,86
Aylık W Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	2,7	2,6	2,1	1,4	1,0	0,9	1,8
Aylık WNW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	4768	5087	5792	6325	6834	7242	7236	6307	6596	6299	6214	5233	73933
Aylık WNW Yönünde Esme Oranı (%)	43	14,92	17,47	18,22	20,45	21,37	23,43	22,68	20,20	21,57	19,96	20,14	16,39	19,73

Aylık WNW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	2,2	2,3	2,2	1,8	1,3	1,1	1,1	1,6
Aylık NW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	3570	3100	3483	3222	3748	3628	3988	3338	4017	4769	4035	3678	44576
Aylık NW Yönünde Esme Oranı (%)	43	11,17	10,64	10,96	10,42	11,72	11,74	12,50	10,69	13,13	15,11	13,08	11,52	11,89
Aylık NW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	1,1	1,1	1,3	1,3	1,5	1,8	1,8	1,5	1,4	1,1	1,0	1,0	1,3
Aylık NNW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	43	3294	2815	3185	2705	3559	5201	4829	3979	3505	3069	3365	3457	42963
Aylık NNW Yönünde Esme Oranı (%)	43	10,30	9,67	10,02	8,74	11,13	16,83	15,13	12,75	11,46	9,72	10,91	10,83	11,46
Parametre	Rasat S. (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık NNW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	43	1,2	1,2	1,3	1,3	1,5	1,8	1,8	1,5	1,3	1,1	1,1	1,1	1,4
Aylık Sakin Rüzgar Sayısı Toplamı	43	901	789	508	362	249	152	153	492	546	1091	1129	1288	7660
Aylık Hakim Rüzgar Yönü ve Yüzdesi (%)	43	WNW 14,92	WNW 17,47	WNW 18,22	WNW20,45	WNW 21,37	WNW 23,43	WNW 22,68	WNW20,20	WNW 21,57	WNW 19,96	WN W 20,14	WNW16,39	WNW 23,43
Aylık Günlük Ortalama Rüzgarın 2.5 (m÷sn) ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ort.	43	0,07	0,07	0,10	0,12	0,15	0,23	0,22	0,14	0,10	0,05	0,06	0,06	1,40
Aylık Günlük Ortalama Rüzgarın 5.0 (m÷sn) ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ort.	43	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,40
Aylık Ortalama 5 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	6,4	8,0	12,5	18,6	25,3	32,6	36,4	35,9	31,1	23,1	13,5	8,1	21,0

Aylık Maksimum 5 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	16,3	23,9	30,6	40,5	47,6	52,8	57,4	57,8	51,7	50,6	32,0	19,1	57,8
Aylık Minimum 5 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	-3,0	-3,0	-0,5	2,1	9,4	15,3	19,3	21,2	14,5	5,6	0,2	-2,0	-3,0
Aylık Ortalama 10 cm. Toprak Sıcaklığı(°C)	43	6,7	8,1	12,3	18,2	24,5	30,8	34,8	34,6	30,4	23,2	14,2	8,6	20,5
Aylık Maksimum 10 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	13,4	16,7	28,2	33,5	39,0	41,6	44,0	46,8	40,0	47,2	28,6	17,1	47,2
Aylık Minimum 10 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	0,0	0,1	1,2	6,0	10,3	17,4	21,5	23,8	18,2	9,8	2,8	0,9	0,0
Aylık Ortalama 20 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	7,2	8,3	12,1	17,5	23,5	29,4	32,9	33,0	29,4	23,1	14,8	9,3	20,0
Aylık Maksimum 20 cm. Toprak Sıcaklığı(°C)	43	12,5	14,2	27,6	29,2	32,8	42,4	39,3	39,8	38,2	34,4	28,0	16,8	42,4
Aylık Minimum 20 cm. Toprak Sıcaklığı(°C)	43	1,4	1,8	1,1	8,2	14,4	20,4	22,1	24,5	17,7	12,0	2,7	1,0	1,0
Aylık Ortalama 50 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	9,1	9,2	12,0	16,4	21,6	27,1	30,6	31,3	29,2	24,4	17,5	11,9	20,0
Aylık Minimum 50 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	4,6	3,8	5,6	10,8	9,5	21,7	25,0	27,2	22,9	17,4	9,6	5,4	3,8
Aylık Maksimum 50 cm. Toprak Sıcaklığı(°C)	43	13,2	13,8	16,7	22,9	31,5	32,5	33,9	34,2	33,2	33,5	25,8	19,1	34,2
Parametre	Rasat S. (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık Ortalama 100 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	11,6		12,2	15,4	19,4	23,9	27,5	29,0	28,1	25,0	19,9	14,9	19,8

Aylık Minimum 100 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	3,7		7,6	11,6	14,4	19,6	22,9	25,4	24,3	20,4	12,7	11,0	3,7
Aylık Maksimum 100 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	43	15,0		16,6	21,2	24,8	29,4	30,9	32,0	31,2	29,2	27,2	20,7	32,0
Aylık Maksimum Açık Yüzey Buharlaşması mm	43			5,00	18,10	15,10	18,00	19,00	17,00	14,50	9,30	4,60	1,80	19,00
Aylık Toplam Açık Yüzey Buharlaşması Ortalaması (mm)	43			25,4	118,5	191,4	286,8	340,4	305,3	217,8	127,4	41,4	8,1	1662,5
Aylık Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	41	3,8	4,9	6,2	7,6	9,4	11,6	11,8	10,6	9,4	7,3	5,3	3,7	7,6
Aylık Toplam Küresel Radyasyon Toplamı kWsaa÷m²	0													
Aylık Maksimum Küresel Güneş Radyasyonu (cal÷cm²)	29	0,62	0,81	1,05	1,19	1,24	1,22	1,17	1,11	1,03	0,92	0,73	0,58	0,97
Aylık Ortalama Küresel Güneş Radyasyonu (cal÷cm²)	29	175,2	248,5	359,1	452,1	542,5	613,3	595,1	536,5	451,7	328,4	218,7	155,5	389,7
Aylık Ortalama Deniz Suyu Sıcaklığı (°C)	0													
Aylık Maksimum Deniz Suyu Sıcaklığı (°C)	0													
Aylık Minimum Deniz Suyu Sıcaklığı (°C)	0													
Aylık Ortalama İşba Sıcaklığı (°C)	43	0,5	0,8	3,1	6,5	8,8	9,9	11,7	12,9	10,2	7,6	4,7	2,2	6,6
Aylık Maksimum İşba Sıcaklığı (°C)	43	10,7	11,1	21,0	18,5	21,4	26,0	29,0	31,1	26,0	21,0	17,0	19,5	31,1
Aylık Minimum İşba Sıcaklığı (°C)	43	-17,6	-21,0	-17,4	-13,7	-17,7	-11,9	-42,0	-8,9	-10,8	-16,0	-14,4	-32,0	-42,0