



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE BİR
KOT YIKAMA TESİSİNİN SU AYAK İZİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ekin TEMİZ

Danışman
Prof. Dr. Semra ÇORUH

SAMSUN
2023

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE BİR
KOT YIKAMA TESİSİNİN SU AYAK İZİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ekin TEMİZ

Danışman
Prof. Dr. Semra ÇORUH

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Ekin TEMİZ tarafından, Prof. Dr. Semra ÇORUH danışmanlığında hazırlanan “SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE BİR KOT YIKAMA TESİSİNİN SU AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 13.04.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Ayşe KULEYİN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Semra ÇORUH Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Sema ARIMAN Samsun Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

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

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

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

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☐

Hayır ☒

19/01/2023

Ekin TEMİZ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE BİR KOT YIKAMA TESİSİNİN SU AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 05/01/2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : %12

Tek kaynak oranı : %2 çıkmıştır.

05/01/2023

Prof. Dr. Semra ÇORUH

ÖZET

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE BİR KOT YIKAMA TESİSİNİN SU AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ekin TEMİZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı,

Yüksek Lisans, Nisan / 2023

Danışman: Prof. Dr. Semra ÇORUH

Su kullanımının yüksek olduğu endüstrilerden tekstil, günümüz dünyasında ihtiyaç duyulan üretimin ve tüketimin yüksek miktarda olduğu sektördür. Nüfusun artması, hızla gelişen teknoloji ve insanlığın en doğal hakkı olan suyun sektörel kullanımının yüksek olması yeniden kullanılabilirliği de beraberinde getirmiştir. Suyun kirlilik türüne göre seçiminin yapıldığı çok boyutlu bir gösterge olan su ayak izi kavramı ortaya konmuştur. Popüler kültürle ortaya çıkmış olan bu kavramın kurumların marka itibarlarını yükseltmek ve çevreye yönelik sorumluluklarını yerine getirebilmek için katkı sağlamaları önemli bir konu haline gelmiştir. İnsanların gelişen teknoloji ile bilgi sahibi olmaları da bu konu hakkında yapılacak çalışmaların sıkça karşımıza çıkabileceği anlamına gelmektedir. Su kirliliği değişen ve gelişen dünyada tükenmekte olan kaynak anlamına da gelmektedir.

Üretimin ve tüketimin sonucunda ortaya çıkan kirlilik yüklerinin sorumlularına yol gösterici bir araç olarak değerlendirilmiştir. Üç kategoride incelediğimizde mavi, yeşil ve gri su olarak ayrılmıştır. Üretim esnasında gereksinim duyulan yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının toplam miktarı mavi su ayak izini vermektedir. Yeşil su ayak izi ise ihtiyaç duyulan yağmur suyu miktarını vermektedir. Üretim sırasında oluşan kirlenmiş suların gerekli kalite standartlarına getirilebilmesi için ihtiyaç duyulan temiz su miktarını vermektedir. Bu çalışma, Denim (Kot) ve Konfeksiyon Ürünleri Yıkama Tesisi konularında faaliyet gösteren bir firma için kapsamlı bir su ayak izi envanter analizi ve değerlendirmesini sunmaktadır. Çalışmanın ikinci kısmında ise su kıtlığı ayak izi hesaplaması için CCaLC₂ LCA yazılımı kullanılmıştır. Bu iki küresel su ayak izi değerlendirmesi, denim yıkama tesisinin şirketinin organizasyonel düzeyinde su ayak izlerini incelemek için uygulanmıştır. Suyun sınırsız bir kaynak olmadığı su kirliliklerine karşıda iyileştirme çalışmalarının desteklenmesi gerekmektedir. Alternatif bir kaynağı olmamasıyla birlikte en çok ihtiyaç duyulan kaynak olması daha çok kirlletici yüküne maruz kalmasına sebebiyet vermektedir. Bu bağlamda analizler sonucundan değerlendirme yapılan kurumda kategoriler incelenmiştir. Elde edinilen veriler sayesinde toplam su kullanımının hangi kategoride olduğunu ve miktarının hesaplanması sağlanmıştır. Kot yıkama tesisinde su ayak izi envanter analizi ve su ayak izi etki değerlendirmesi incelenerek çevresel etkilerin önemini ve büyüklüğünü değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: Kirlilik, Su, Su ayak izi.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE WATER FOOTPRINT OF A DENIM WASHING FACILITY WITHIN THE FRAMEWORK OF SUSTAINABILITY APPROACH

Ekin TEMİZ

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Environmental Engineering Department

Master, April / 2023

Supervisor: Prof. Dr. Semra ÇORUH

Textile, which is one of the industries with high water use, is the sector with a high amount of production and consumption belonging to us. The increase in the population, its rapid increase in technology and its high sectoral use, which is the most natural right of humanity, came with its reusability. The concept of water footprint, which is a multidimensional indicator in which water is selected according to its types, has been introduced. In this concept, which has emerged with popular culture, it has become an important issue for them to contribute to fulfill their responsibilities regarding brand reputation and presentation. The fact that people have information about the outside with technology also makes sense to go out to reduce the work to be done on this subject. Water pollution also means a depleted resource in a changing and developing world.

It has been evaluated as a guiding tool for those responsible for the authority burdens that arise as a result of the emergence of production and use. When we examine it in three categories, it is limited to blue, green and gray water. The total amount gives the blue water footprint to protect homes and store surface water during production. The green water footprint gives the amount of rain water it needs. It provides the clean amount of water it needs to ensure the required quality of the polluted water generated during production. This study presents a comprehensive water footprint inventory analysis and assessment for a firm targeting Denim and Apparel Washing Facility targets. In the second part of the study, CCaLC2 LCA software was used for water scarcity footprint calculation. These two global water footprint assessments were applied to the water footprint review of denim washing facilities organizational layout. In order for water not to be an unlimited resource, there should be groups of groups against the water layers. The exclusion of an alternative source and the fact that the source is most needed causes more people to be exposed to the burden. The analyzes made in this context cover the categories in the institution where the result is evaluated. Thanks to the values obtained, it was possible to obtain the category in which the total water was taken and the values obtained. It aims to evaluate the significance and magnitude of the impacts by examining the denim washers water footprint inventory analysis and water footprint impact assessment.

Keywords: Pollution, Water, Water footprint.

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans kariyerimde hayatımın en önemli unutulmaz yıllarına imza atan desteğini, akademik bilgi birikimine hayranlık duyduğum ve mesleki deneyimini benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Semra ÇORUH' a çok teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu yolda ilerlerken yıprandığım bir noktada beni ayağa kaldıran ve pes etmemem için cesaret veren aynı zamanda akademik birikimiyle her zaman destek olan Dr. Öğr. Üyesi Hülya AYKAÇ ÖZEN' e çok teşekkürlerimi sunuyorum.

Akademik kariyerim boyunca maddi ve manevi asla omuzlarımdan ellerini çekmeyen koşulsuz attığım her adımda güven duyduklarına inandığım ve sonsuz sevgileriyle moral motivasyon kaynağım olan babam Ali Osman TEMİZ' e annem Selma TEMİZ' e ve ablam Yağmur TEMİZ GÜL' e çok teşekkür ediyorum.

Henüz çok küçük olmasına rağmen sarıldığımda yaşanılmış olan kötü şeyleri unuttuğum, gülüşüyle gülümseten bir diğer moral motivasyon kaynağım Bora Gül'e teşekkür ediyorum.

Son olarak bu yolda bana yoldaş olan mutluluğumu mutluluğu sayan üzüntümü üzüntüsü sayan desteği ve emeği geçen bütün arkadaşlarıma çok teşekkür ediyorum.

Ekin TEMİZ

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Su ve Su Döngüsü	1
1.2. Su Döngüsü	3
1.2.1. Su Döngüsü Aşamaları	3
1.2.1.1. Suyun Okyanus ve Denizlerde Toplanması	3
1.2.1.2. Buharlaşma	4
1.2.1.3. Terleme	4
1.2.1.4. Yoğuşma ve Yağış	4
1.2.1.5. Yüzey Akışı	4
1.2.1.6. Yeraltı Sularının Okyanusa Dökülmesi	4
1.3. Su Döngüsüne Etki Eden Etmenler	5
1.4. Su Tipleri	5
1.4.1. Tatlı Su	6
1.4.2. Acı Su	8
1.4.3. Yüzey Suyu	9
1.4.4. Deniz Suyu	10
1.4.5. Yeraltı Suyu	11
1.5. Falkenmark İndeksi	13
1.6. Su Kalitesi	16
1.6.1. Su Kalitesinin Sınıflandırılması	17
1.7. Dünyada Suyun Kullanımı	20
1.8. Türkiye’de Suyun Kullanımı	24
1.8.1. Türkiye’nin Su Kullanımının Sektörlere Göre Dağılımı	26
1.8.1.1. Türkiye’de Tekstil Sektöründe Kullanılan Su Miktarları	27
1.9. Su Ayakizi	28
1.10. Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri	30
1.10.1. AB Birliği Sürdürülebilirlik Kavramı	31
1.10.2. Avrupa Birliği (AB) Sürdürülebilirlik Yaklaşımı	32
1.10.3. Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri	34
1.11. Sanayi’de ve Tekstil’de Su Kullanımı	35
2. MATERYAL VE YÖNTEM	40
2.1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler	40
2.2. Su Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri	44
2.2.1. Su Ayak İzi Envanter Analizi	44
2.2.2. Su Kıtılığı Ayak İzi Hesabı	46
2.3. Su Ayak İzi Hesaplamalarında Kullanılan Veriler ve Kabuller	47
2.3.1. Mavi Su Ayak İzi Hesaplaması	47
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
3.1. Su Ayak İzi Envanter Hesaplanması	51
3.1.1. Yeşil Su Ayak İzi Hesaplaması	51
3.1.2. Gri Su Ayak İzi Hesaplaması	52
3.2. Su Kıtılığı Ayak İzi Hesabı	63
4. SONUÇLAR	66

KAYNAKLAR	69
EKLER.....	72
ÖZ GEÇMİŞ	73



SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AOX	: Adsorblanabilen Organik Halojenler
ASKİ	: Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi
BM	: Birleşmiş Milletler
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CCALC2	: Carbon Calculations Over The Life Cycle of Industrial Activities
DSİ	: Devlet Su İşleri
ET	: Evapotranspirasyon
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
IPPC	: Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KWH	: Kilowatt Saat
M ³	: Metreküp
MG	: Miligram
MM	: Milimetre
NM	: Nanometre
OSKİ	: Ordu Su Kanalizasyon İdaresi
PPM	: Parts Per Million
SASKİ	: Samsun Su Kanalizasyon ve İdaresi
UNDP	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
VOC	: Uçucu Organik Birleşikler
WF	: Water Footprint

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Su akış diyagramı.....	3
Şekil 1.2. Tatlı su dağılımı	6
Şekil 1.3. Tatlı su kaynağı buz kütleleri.....	7
Şekil 1.4. Su tiplerine göre suların tuz oranları.....	9
Şekil 1.5. Rize Deli Göl (Deli Göl).....	10
Şekil 1.6. Yeraltı suyunun bulunduğu bölge (Wikipedia).....	12
Şekil 1.7. Çözünmüş katı madde miktarlarının su sınıflarındaki miktarları	13
Şekil 1.8. 2040 yılı için falkenmark indeksine göre su kıtlığı tahmini	14
Şekil 1.9. Bazı ülkelerin 2040 yılındaki su stresinin yıllara göre değişimi	15
Şekil 1.10. Dünyadaki suyun sektörel kullanım yüzdesi	20
Şekil 1.11. Dünya su kaynaklarının dağılımı ve tatlı su kaynakları dağılımı	21
Şekil 1.12. Türkiye'nin toplam su potansiyelinin miktarı.....	25
Şekil 1.13. Türkiye havzalarının yüzdesel su potansiyeli	26
Şekil 1.14. Üretimden kaynaklı su ayak izinin sektörel dağılımı	29
Şekil 1.15. Tüketimden kaynaklı su ayak izinin sektörel dağılımı	30
Şekil 1.16. AB kalkınma hedefleri.....	33
Şekil 1.17. Türkiye'nin sivil toplum örgütlerinin yönettiği projeler.....	35
Şekil 1.18. İşletmelerin yüzdesel dağılımı	36
Şekil 1.19. Türkiye'nin bölgelerinin sanayi kolları açısından durumu	37
Şekil 2.1. Tesisin Görüntüsü	40
Şekil 2.2. Tesisin Genel İş Akım Şeması.....	42
Şekil 2.3. Genel Vaziyet Planı	43
Şekil 2.4. Çalışmanın sistem sınırları.....	44
Şekil 3.1. Kirletici parametrelerinin toplam su ayak izlerinin yüzdesel gösterimi	61
Şekil 3.2. Tesis giriş ve çıkışındaki kirletici parametrelerinin gri su ayak izleri	62
Şekil 3.3. Ocak Ayının CCaLC ₂ Yazılımı İle Stres Ağırlıklı Su Ayak İzinin Hesaplaması ..	63
Şekil 3.4. CCaLC ₂ yazılımında su kullanımının tanımlanması.....	64
Şekil 3.5. CCaLC ₂ yazılımında toplam su ayak izinin hesaplanması	65

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Dünyadaki su rezervlerinin yüzdesel dağılımı	7
Tablo 1.2. Tatlı su kaynaklarının yüzdesel dağılımı	7
Tablo 1.3. Denizlerin tuzluluk yüzdesi	11
Tablo 1.4. Falkenmark indeksi.....	13
Tablo 1.5. Su kalite sınıfının renk durumu	18
Tablo 1.6. Kıta içi suların kalite sınıfına göre ayrımı	19
Tablo 1.7. Bazı ülkelerin sektörel su kullanımı	21
Tablo 1.8. Suyun başlıca kullanım alanları ve kullanılan miktar	22
Tablo 1.9. Bazı ülkelerin 2019 yılındaki su riskleri.....	23
Tablo 1.10. Bazı ülkelerin 2030 yılındaki su riski.....	24
Tablo 1.11. Türkiye'nin 2019 yılı su potansiyeli	25
Tablo 1.12. Kaynağına göre sektörlerden çekilen su miktarı.....	27
Tablo 1.13. Sanayi sektörlerinde su kullanımları	38
Tablo 2.1. İşletmenin 2021 yılında faaliyetlerinde kullandığı su miktarları	48
Tablo 2.2. Atıksu Arıtma Tesisi ölçüm yapılan parametreler ve analiz yöntemleri	48
Tablo 2.3. İşletmenin 2021 yılında aylık olarak ölçülen tesis girişi kirletici değerleri.....	49
Tablo 2.4. İşletmenin 2021 yılında aylık olarak ölçülen tesis çıkışı kirletici değerleri	50
Tablo 3.1. İşletmenin 2021 yılında faaliyetlerinde kullandığı yağmur suyu miktarları.....	52
Tablo 3.2. İşletmenin 2021 yılındaki atık su giriş kirletici yükleri	53
Tablo 3.3. Tesis girişi AKM parametresinin gri su ayak izi	54
Tablo 3.4. Tesis girişi KOI parametresinin gri su ayak izi	55
Tablo 3.5. Tesisin 2021 yılı giriş gri su ayak izi miktarları	55
Tablo 3.6. İşletmede oluşan kirlilik yüklerinin aylık olarak değerleri	56
Tablo 3.7. Tesis çıkışı KOI değerleri için gri su ayak izi	57
Tablo 3.8. Tesis çıkışı AKM değerleri için gri su ayak izi	58
Tablo 3.9. Tesis çıkışı Amonyum azotu değerleri için gri su ayak izi.....	59
Tablo 3.10. Tesis çıkışı Fenol parametresinin gri su ayak izi	60
Tablo 3.11. Tesisin 2021 yılı gri su ayak izi miktarları	61
Tablo 3.12. Aylara göre CCaLC ₂ yazılımı ile stres ağırlıklı su ayak izinin hesaplaması	64

1. GİRİŞ

Suyun sonsuz bir kaynak olmaması ve sınırlı olduğunu düşündüğümüzde var olan dünya su potansiyelinin kullanılabilir durumu da kısıtlıdır. Suyun canlılar için faydalana bilinecek kısmı için bir oranlama yapıldığında karalara nazaran su yüzeyimiz daha fazla olması bu suyun içeriğinin de tuzlu tatlı ve buz kütleleri olarak ayrımının yapılması kaçınılmaz bir gerçektir. Dünya su rezervinin %97.5'ünü tuzlu sular oluştururken, %2,5'luk kısmını da tatlı sular oluşturmaktadır. Tatlı su kaynaklarımızın %70 ini de Antarktika ve Grönland bölgesi de bu durum kullanılabilir su kısmı için ciddi bir ihtiyaç doğurmaktadır (Güler vd., 1999).

Ülkelerin su zengini olarak sayılabilmesi için her bir insana ulaşan suyun 8000-10000 m³ değerine ulaşması gerekmektedir. Bu sayıya ulaşan ülkelerin sayısı da azdır. Başta Çin Endonezya Kanada Brezilya Rusya ve Kolombiya su zengini olan ülkelerdir. (WWF, 2011)

Su, medeniyetlerin en önemli değişimlerine öncülük etmiş ve sonsuz bir kaynakmışçasına davranış gösterilmiş bir maddedir. Medeniyetlerin büyümesinde sınırlarının belirlenmesinde ona olan ihtiyaç duruma göre yerleşim yeri seçilmiştir. Su dünyanın her yerinde önemli anlara tanık olmuş ve onun içinde savaşılmıştır. Dünyanın çarpık kentleşme ve hızla artan nüfusuyla birlikte ihtiyaç duyulan bilinçsizce tüketilen suyun yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalınmıştır. Bununla birlikte suyu yeniden kazanmak için politikalar izlenmeye başlanmıştır. Sürdürülebilirliği ile ilgili çeşitli tartışmalara sebep olmuştur. Su yerine alternatif olarak doğal olmayan bir madde geçirilemeyeceği anlaşılmış ve suyun önemi de devletler tarafından çeşitli iyileştirme politikalarıyla sağlanmaya çalışılmıştır. Bilinçsizce harcanan suyun önümüzdeki yıllarda su kıtlığı çekilmesinde kaçınılmayacak bir son olduğunu öngörülmektedir (Akkuzu, 2008).

İhtiyaç duyulan suyun her geçen gün artmasıyla yeraltı kaynaklarının sona ereceğine şahit olmuş olacağız. Su ekosistemi hijyeni ve kalitesi açısından korumaya çalışıldığında yeniden kullanım için ekonomik açıdan ciddi masraflar yapılmaktadır.

1.1. Su ve Su Döngüsü

Hayatın en önemli değerlerinden biri olan su, yaşamımızı sürdürebilmemizin önemi dışında içerisinde var olan mineral ve bileşiklerle insan bedeninin her türlü biyokimyasal reaksiyonlarının gerçekleşmesinde önemli rol oynamaktadır.

Vücudumuzun pH dengesinin korumaktan başlayarak, hücrelerdeki organellere dağılma ortamı oluşturmaya; besinlerin, artık maddelerin ilgili yerlere ulaşması gibi birçok önemli noktada görev alır. Bu yüzden susuz yaşam düşünülemez. Su canlının ve canlılığın her şeyidir. Su, yeryüzündeki canlı varlıklar için bir yaşam zeminidir (Akın ve Akın, 2007).

Yeryüzünün oluşumunun başlamasıyla ortaya çıkan ve canlı yaşam tarihinin de eskisine dayanan, normal sıcaklık ve basınç altında sıvı durumda var olan su; her molekülü bir oksijen ile iki hidrojen atomundan oluşan renksiz, kokusuz ve tatsız bir maddedir. Var olan öneminin yerine bir şey konulamayan doğal bir kaynak olarak su, canlı yaşamı için oksijen kadar dikkate değer bir ögedir. Suya dünya üzerinde ilk kez en eski kayalar olduğu belirlenen Grönland'daki Isua Kayaları içerisinde rastlanmış ve yapılan çalışmalarda kayaların içerisinde ki suyun 3,8 milyar yıllık olduğu belirlenmiştir.

Bütün canlılar için suyun önemi büyüktür. Canlılar tüm yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için suya ihtiyaç duyar. Bu ihtiyaçların miktarı fiziki biyolojik ölçülerine göre değişiklik göstermektedir. En kuzeyde yaşayan bir canlının ihtiyaç duyduğu miktarla en güneyde yaşayan canlının ihtiyaç duyduğu miktar farklı olabilmektedir. Ortalama olarak sıcak bir iklimde yaşayan kişinin su gereksinimi 3,5 litre tespit edilmiştir. Su ihtiyacının değişiklik gösterdiği bir diğer koşullarda bitki ve hayvanlar için biyolojik türleri ve coğrafi konumlarıdır.

Su ısı kazanarak buharlaşıp gaz hale geçerken ve yoğunlaşıp tekrar sıvı hale dönüşürken aldığı ve verdiği değerlere göre fazlarıdır. Hidrojen bağlarının birbirlerine olan bağlılığından kaynaklanır. Bağlar birbirlerine çok kuvvetli bir şekilde tutunmaktadır. 1 gr suyun gaz forma geçebilmesi için hemen hemen 540 kaloriye ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer ki moleküller arasında hidrojenlerin güçlü bağları var olmasaydı kuzeydeki sular az sıcaklıklarda kaynayacak ve dünyadaki mühim su kaynaklarımız ihtiyaç duyulacak kadar azalacaktı. Su canlılar için önemli bir kaynaktır. İnsan vücuduna alınan besinlerin önemli değerlerinin vücutta parçalanıp dışarıya verilmesinde en büyük rollerden biri suya aittir. Oksijenin hücrelere hücrelerden de akciğere verilmesinde rolü olan kanın içeriğinin %80'i suya aittir (Gürel ve Çobanoğlu, 1997).

1.2. Su Döngüsü

Şekil 1.1’de su akış diyagramının gerçekleştiği aşamaları döngüsel biçimde gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Su akış diyagramı

Suyun dünya içinde doğal bir döngüsü vardır. Bu aşamalar aşağıda incelenmiştir.

1.2.1. Su Döngüsü Aşamaları

1. Okyanus ve Denizlerde Toplanması
2. Buharlaşma
3. Terleme
4. Yoğuşma ve Yağış
5. Yüzey Akışı
6. Yeraltı Sularının Okyanusa Dökülmesi

1.2.1.1. Suyun Okyanus ve Denizlerde Toplanması

Yerkürenin yaklaşık $\frac{3}{4}$ ünü sular oluşturur. Buharlaşma aşamasında yerüstü sularının önemli ölçüde payı vardır.

1.2.1.2. Buharlaşma

Buharlaşma hali suyun ısıyla beraber sıvı halden gaz haline geçerek atmosferde ki konumudur. Suyun sıvı formdan gaz forma geçmesine buharlaşma (evaporasyon) denir. Su üzerindeki moleküller kinetik enerji kazandıkları zaman atmosfere doğru hareket etmeye başlarlar. Su yüzeyi yakınlarında sürekli olarak sudan havaya, havadan suya geçen moleküller var olur.

1.2.1.3. Terleme

Buharlaşma formu için kullanılan bir ifadedir. Terleme, olması gereken su miktarının fazlalığının bitkiler tarafından dışarıya atılma şeklidir. Su döngüsü içerisinde sürdürülebilirliğin sağlanması gerekir. Ve döngünün bu aşamaya da ihtiyacı vardı. Bu aşamada sadece yerüstü sularının sıcaklıkla gaz forma geçmesi değil aynı zamanda yeryüzünde bulunan bitkilerin terleme yoluyla açığa çıkardıkları sularında buharlaşmasını oluşturmaktadır. Bu iki durumun birlikte ifade edilme biçimi de evapotranspirasyon (ET) olarak ifade edilir. Evapotranspirasyon hem buharlaşma hem de terleme süreçlerindeki toplam buhar miktarıdır.

1.2.1.4. Yoğuşma ve Yağış

Bu aşama ise buharlaşmanın tam tersi olan gaz halden tekrar sıvı hale geçilmesi olarak ifade edilir. Sıvı kaybeden gaz tekrar sıvı forma gelir. Atmosferde ağırlığı fazlaştıkça yerüstüne geri gelmek ister. Çeşitli şekillerde gelebilir sadece yağış olarak değil. Doğal hava durumları kar, dolu, çise şeklinde yeryüzüne iner.

1.2.1.5. Yüzey Akışı

Yeryüzüne inen su farklı şekillerde dağılım gösterir. Örneğin bir kısmı toprak tarafından süzülerek yeraltı suyuna karışırken bir kısmı yüzey üstü sularına karışabilir. Bir kısmı süzülme göstermeyerek taş ve kayalıklarda kalabilir. Su yerüstünde hareket ederek bir akış çizer kendisine buda en önemli aşamalardandır. Eşit bir şekilde dağılım göstermesi su ekolojisi açısından önem taşımaktadır.

1.2.1.6. Yeraltı Sularının Okyanusa Dökülmesi

Toprak tarafından süzülen sular yeraltı sularına karışarak aşağı yönlü bir hareket sergiler. Bu kısımda yeraltı sularının fazlalığı pınarlar tarafından okyanuslara taşınır ve tekrardan buharlaşma aşamasına dönülür ve bu döngü sağlanır.

1.3. Su Döngüsüne Etki Eden Etmenler

Su döngüsü suyun hareketinin yinelenmesini izlediğimiz bir döngü şemasıdır. Yüzyıllar boyunca devamlılığını koruyan ve yaşamsal faaliyet için ihtiyacımızın önemli bir parçası sayılan döngüye etki eden etmenlerde vardır. İnsan kaynaklı olan bu etmenler bilinçsizce veyahut da bilinçli bir şekilde yapılmaktadır. Bu doğa olayının doğallığını bozarak düzeninin bozulmasında rol alan olayları da şu şekilde sırlayabiliriz;

- Kullanılmış suların gerekli dezenfeksiyon ve sterilizasyonunu yapmadan direk olarak alıcı ortamlara verilmesi,
- Artan nüfusun sonucu olan çarpık kentleşme,
- Yeraltı sularının yanlış kullanımı,
- Ekonomik döngünün de devamlılığı için sanayilerin çoğalması ve gerekli önlemler alınmadan kirleticilerin havaya verilmesi hava kirliliğinin sebebiyeti olarak söyleyebiliriz.

Dünyada var olan sular ısı ile temasa geçtiğinde bir döngü içerisine girmektedir. Bu döngü okyanus ve denizler ile başlayarak sıvı halden gaz hale geçer bulutları oluşturur. Isı kaynaklı yoğunlaşan su yağışlar halinde tekrar yeryüzüne gelir. Bir kısmı toprak tarafından emilir bir kısmı direk olarak okyanus ve denizlerde kalır. Toprak tarafından emilen sular kendilerine tekrardan bir yol çizmek ister. Ve pınarlar yardımıyla okyanus ve denizlere yeniden dönmüş olurlar. Isı kaynağı oldukça bu döngü kendisini yineler. Bu döngünün beslediği bir ekolojik denge vardır. Ve bu ekolojik denge sadece doğanın doğal kaynaklarına hizmet etmez. Doğal kaynaklardan beslenen birçok canlının bu döngüye ihtiyacı vardır. Ve su döngüsü bizim en önemli yaşamsal doğal ihtiyacımızdır (Gür, 2020).

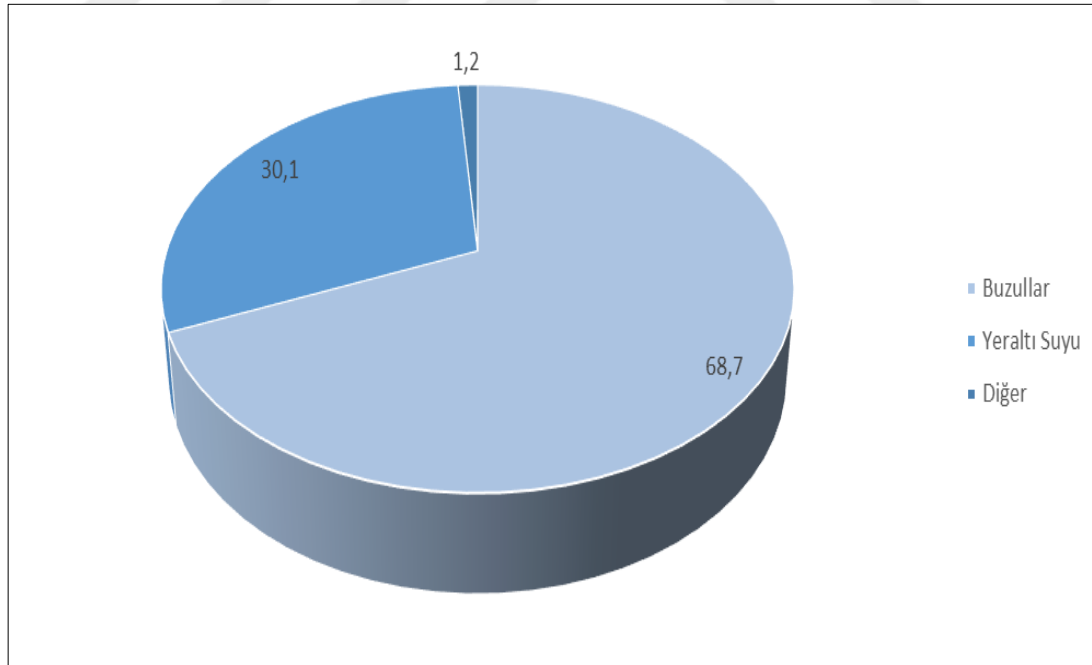
1.4.Su Tipleri

Dünya haricinde gezegenlerde insanlar için yaşam kaynağı olan suyun var olduğuna dair resmi bir kayıt bulunmamaktadır. Dünyanın 3/4'ü sularla kaplıyken kara parçalarının üzerinde de sayısız su kaynakları vardır. Suyun önemli bir kısmı aynı zamanda atmosferde ve bulutlarda tonlarca ağırlıkta bulunmaktadır. Bu doğal süreçte kara parçalarının üzerine iner. Solumakta olduğumuz havanın içinde de belirli ölçekte su buharı vardır.

Yerkürede bulunan suları tiplerine göre ayırdığımızda;

1.4.1. Tatlı Su

Suyun içerisinde bulunan tuz miktarı bize suyun tatlı veya acı olduğunun bir göstergesi olarak adlandırabiliriz. 1.4 milyar m³ suyun yalnızca %2.5’u tatlı su olarak bulunmaktadır. Bu suyunda 3/4’ü buzullardan kalan kısmı da canlıların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi için kullanılmaktadır. Toprağın içerisindeki nem ve yeraltı sularındaki toplam su miktarı 10 milyon m³’tür. Tatlı su gölleri ve bataklıklar 0.1 milyon km³, tatlı suların iyi değerlere sahip olduğu nehirlerde ise toplam tatlı suyun %0,01 ‘inden azı bulunmaktadır. Okyanusların üzerindeki var olan su buharlaşması tatlı suyun ana kaynağıdır. Yılda ortalama 505.000 km³ su buharlaşmasına sahip olan okyanuslarda buharlaşan kısmın %80 i yağış olarak tekrar yeryüzüne dönmektedir. Kalan tatlı su miktarının %0.08’i insanlar tarafından kullanılmaktadır. Şekil 1.2’ de dünya üzerinde var olan tatlı suların dağılımı daire dilimi gösterimiyle gösterilmiştir. Tablo 1.1’ de dünyada var olan su kaynaklarının bulunduğu noktaların miktarları verilmiştir. Tablo 1.2’de tatlı su kaynaklarının sektörel miktarı ele alınmıştır. (Atçı, 2019)



Şekil 1.2. Tatlı su dağılımı (Atçı, 2019)

Tablo 1.1. Dünyadaki su rezervlerinin yüzdesel dağılımı (Akdemir, 2009)

Bulunduğu yer	Miktar (10^6 km^3)	Dünya üzerindeki su yüzdesi
Okyanuslar	1338	96,5
Buzullar ve kalıcı karlar	24,1	1,74
Yer altı suları (acı ve tuzlu)	12,9	0,94
Yer altı suları (tatlı)	10,5	0,76
Buzul topraklar	0,3	0,022
Tatlı su gölleri	0,091	0,007
Tatlı su nehirler	0,002	0,0002

Tablo 1.2. Tatlı su kaynaklarının yüzdesel dağılımı (Gürsaka, 2007)

SEKTÖR	Dünya	Gelişmiş Ülkeler	Gelişmekte Olan Ülkeler	Az Gelişmiş Ülkeler	Avrupa	Türkiye
Tarım	67-70	39	52	86	33	72-75
Sanayi	22-23	46	38	7	51	10-12
İçme ve Kullanma	8-10	15	10	7	16	15-16

Suyun sınırlı bir kaynak olması ve dünya nüfusunun artması talebin karşılanamayacak boyutlara gelmesine sebep olmuştur. Alternatif bir kaynağı olmayan suyun büyük bir kısmı ihtiyaç için kullanılamaz durumdadır. Ve kullanılabilmesi için farklı çalışmalara başlanmıştır. Çalışmaların başında buzullardan ve deniz sularından tatlı su elde edilmeye çalışılmıştır. Ancak bu yöntemlerin maliyetleri yüksek olduğundan ötürü talebi karşılayabilecek yeterli seviyeye gelememektedir (Gürel ve Çobanoğlu, 1997). Tesislerdeki üretim maliyetinin yüksek olması suyun ürün değerinin azlığı ve ihtiyaç çokluğu olarak değerlendirilir. Tatlı suya dönüştürülmek istenilen suyla ilgili bazı sıkıntılar yaşanmaktadır. Kimyasal değişimden farklı olarak kimyasal, ısı ve elektrik enerjisi yardımıyla değerli ürünlere dönüştürülme işleminde karşılaşılan sorunlardır.



Şekil 1.3. Tatlı su kaynağı buz kütleleri (Smedley, 2017)

Deniz suyundan tatlı su edebilmek için kimyasal işlemlere gerek vardır. Bu işlemler gerçekleştirilirken ciddi maliyetlerle karşılaşmaktadır. Suyun buharlaştırması ve dondurması aşamalarında gizli ısıya ihtiyaç vardır. Tuzu sudan ayırmak için 35000 ppm tuz içeren deniz suyundan kuru tuz elde edilmek için istenen enerji 1m³ için 9 kWh olarak gözlemlenmiştir. Ayrıştırma sırasında gereksinim duyulan kimyasallar kullanılan pompalama işlemleri bu işlemin masraflarını arttırmaktadır. Birim tatlı su üretimi için yaklaşık 2.5 kat kadar sisteme su verilmesi gerekmektedir (Clawson and Landsberg, 1972). Şekil 1.3'te tatlı su kaynaklarının var olduğu buz kütlelerinden genel bir görüntüsü gösterilmiştir.

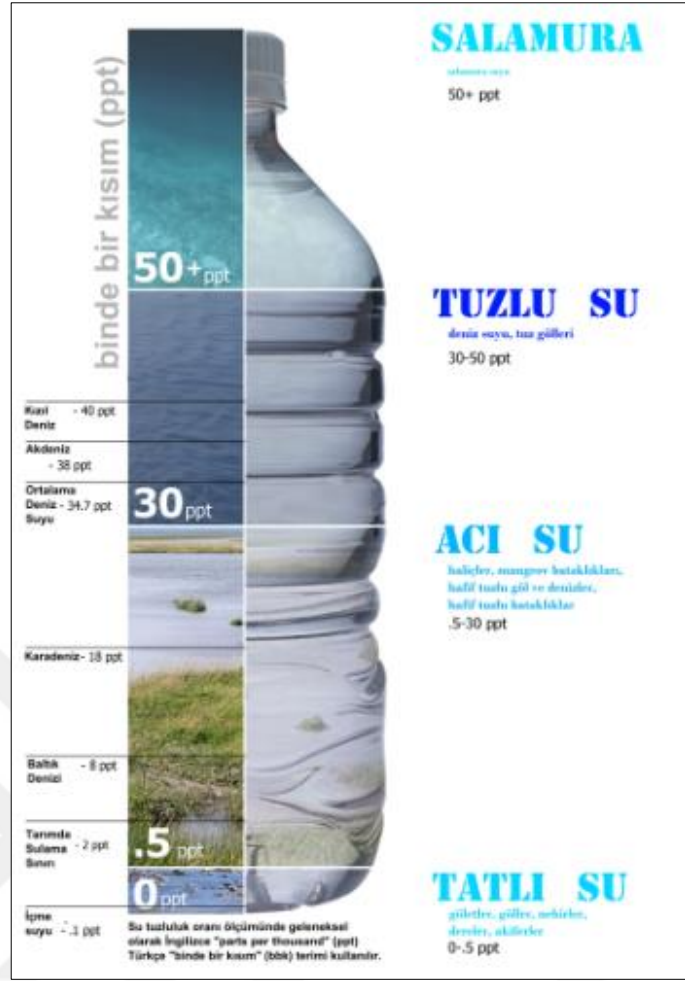
1.4.2. Acı Su

Acı suyun diğer sulardan ayıran belirleyici özelliği tuzluluk oranıdır. Tatlı suya oranla içerisinde daha çok tuz bulundurmaktadır. Acı sular kıtalara geniş ölçüde dağılmıştır. Bu suların arıtımı deniz suyundan daha az maliyetlerle yapılabilir. Atık suların bir kısmına acı su diyebiliriz. Aynı zamanda acı sular nehirlerde, göllerde de bir miktarda bulunabilmektedir (Spiegler, 1977). Nehirlerin ve denizlerin bir araya geldiği noktalar haliç denmektedir. Acı suların en çok bulunduğu noktalar. Türkiye'nin jeopolitik konumundan ötürü haliç görülmemektedir. Acı suların içerisinde 0.5-30 gr/L arasında tuz vardır. Tuzluluk konusunda az tuzlu suyun bulunduğu alan daha geniştir böylelikle net olarak belirlenmiş bir durum yoktur (Wikipedia, 2022).

Deniz sularıyla arıtım maliyetleri karşılaştırıldığında düşük olma sebepleri şöyle açıklanır;

- Acı suyun arıtımı için harcanan elektrik miktarı düşüktür.
- Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında acı su dönüşüm tesislerinin maliyet yatırımı düşüktür.
- Acı su dönüşüm prosesleri ısı enerjisinden çok elektrik enerjisi kullanır. Böylece, enerji kaynağı yerleşimiyle ilgili olarak su tesislerine kolaylık sağlar (Akdemir, 2009).

Bu sular yeraltında içlerinde topladıkları enerjiyle yerüstüne çıkan doğal kaynak sularıdır. İçlerinde ki çözünmüş katı madde miktarı 500-20000 mg/l'dir. Eğer kendi enerjileriyle çıkmazlarsa da yapay enerji kullanılarak çıkartılabilirler.



Şekil 1.4. Su tiplerine göre suların tuz oranları (Wikipedia, 2022)

Şekil 1.4'te su tiplerinin içerisinde bulundurduğu tuz oranlarının birim olarak gösterimi yapılmıştır.

1.4.3. Yüzeysel Suyu

Akarsu göl ve barajlarda biriken su kütlelerine yüzeysel su denilir. Yüzeysel sular genellikle kırsal kesimlerde şehir içlerinden daha çok bulunmaktadır. Yerleşim yerlerine yakınlıklarından ötürü kirlenmeleri de muhtemeldir. Genellikle sanayi atıkları, kanalizasyon atıkları, hayvanların otlanma yerlerine yakınlığı suların kirlenmesinin başlıca sebeplerinden bir kaçıdır. Sanayinin gelişmiş olduğu bölgelerde bulunan yüzeysel sular organik ve inorganik maddeler tarafından kirlenmektedir. Göllerin ortalarından alınan örnek numunelerle kıyı kesimlerinden alınan örnekler karşılaştırıldığında gölün ortasındaki suyun kıyıya oranla daha temiz olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak yüzeysel suların kalitesi düşüktür gerekli arıtma işlemlerinden geçerek içme suyu elde edilebilir. Göl akarsu ve barajlardan alınan örneklerle içlerinde bulunan askıda katı madde miktarının yüksek olması sularda bulanık bir görüntüye

sebebiyet vermektedir. Bu suları bir yerde bekleterek içerisindeki koloidal maddelerin çökmesini sağlayıp, güneş ışınlarının da renk açıcı özelliğiyle suyu temiz hale getirmek mümkündür. Ayrıca bazı bakterilerin ömürlerini tamamlayıp ölmesi de suyun temizlenmesine bir seçenek olarak bekletmek kullanım açısından daha sağlıklıdır (Gürel ve Çobanoğlu, 1997). Şekil 1.5'te örnek bir yüzey suyu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1.5. Rize Deli Göl (Deli Göl)

DSİ'nin yaptığı araştırmalara göre 2020 yılında kişi başına düşen su miktarı 1346m³ olmuştur. Bu miktarın 1700 m³'ün altında olması demek su stresi yaşandığının bir göstergesidir. Üç tarafı denizlerle çevirili dört tarafı baraj göl akarsularla çevrili olan Türkiye sanılanın aksine su kıtlığının sınır noktalarındadır. Bu sorunun sebeplerinin başında yanlış kullanım gelmektedir. Suyun kullanımının yüksek olduğu sanayi endüstrilerinde bu su kayıplarının önlenmesi ve verimli şekilde suyun çok amaçlı kullanılması sağlanmalıdır.

1.4.4. Deniz Suyu

Yaşamı boyunca alternatif kaynaklar arayan insanın temiz su kaynaklarına erişiminin kısıtlı olmaktadır. Yeryüzünün $\frac{3}{4}$ 'ünün sularla kaplı olması kullanılabilir kaynağın fazla olması anlamına gelmiyor. Bu durumda denizlerden faydalandığında temiz su üretimi için çeşitli yöntemlere ihtiyaç vardır. İhtiyaç durumunda küçük

miktardaki deniz sularını iyon değişimi ve ters osmoz yöntemleri ile temiz su haline getirmek mümkündür. Deniz suyundan tatlı su elde etmek oldukça zor ve maliyetli bir işlemdir. (Can vd., 2002).

Tablo 1.3. Denizlerin tuzluluk yüzdesi (Can vd., 2002)

DENİZLER	TUZ ORANI %
Standart Deniz Suyu	3,5
Baltık Denizi	0,7
Hazar Denizi	1,3
Pasifik Okyanusu	3,4
Atlantik Okyanusu	3,6
Kızıl Deniz	4,3
Basra Körfezi	4,3
Karadeniz	1,8
Marmara Denizi	2,2
Ege Denizi	3,8
Akdeniz	4,3

Tablo 1.3’te dünya üzerindeki denizlerin tuzluluk yüzdeleri gösterilmiştir. Denizlerin tuzluluk oranlarına göre kullanılabilir hale getirilmesi için bazı çalışmalar yapılmıştır.

Deniz suları, sularda asılı madde yönünden çok zenginlerdir. Sahil sularına taşınımlarla birlikte askıda katı maddeler gelmektedir. Deniz sularının askıda katı madde miktarları çevresel, fiziki, biyolojik yönlerden farklılık gösterebilir. Yerleşim yerlerine yakınlığı, endüstriyel faaliyet, biyolojik çeşitlilik, suyun hareketi olarak söylenebilir (Kocataş, 1986).

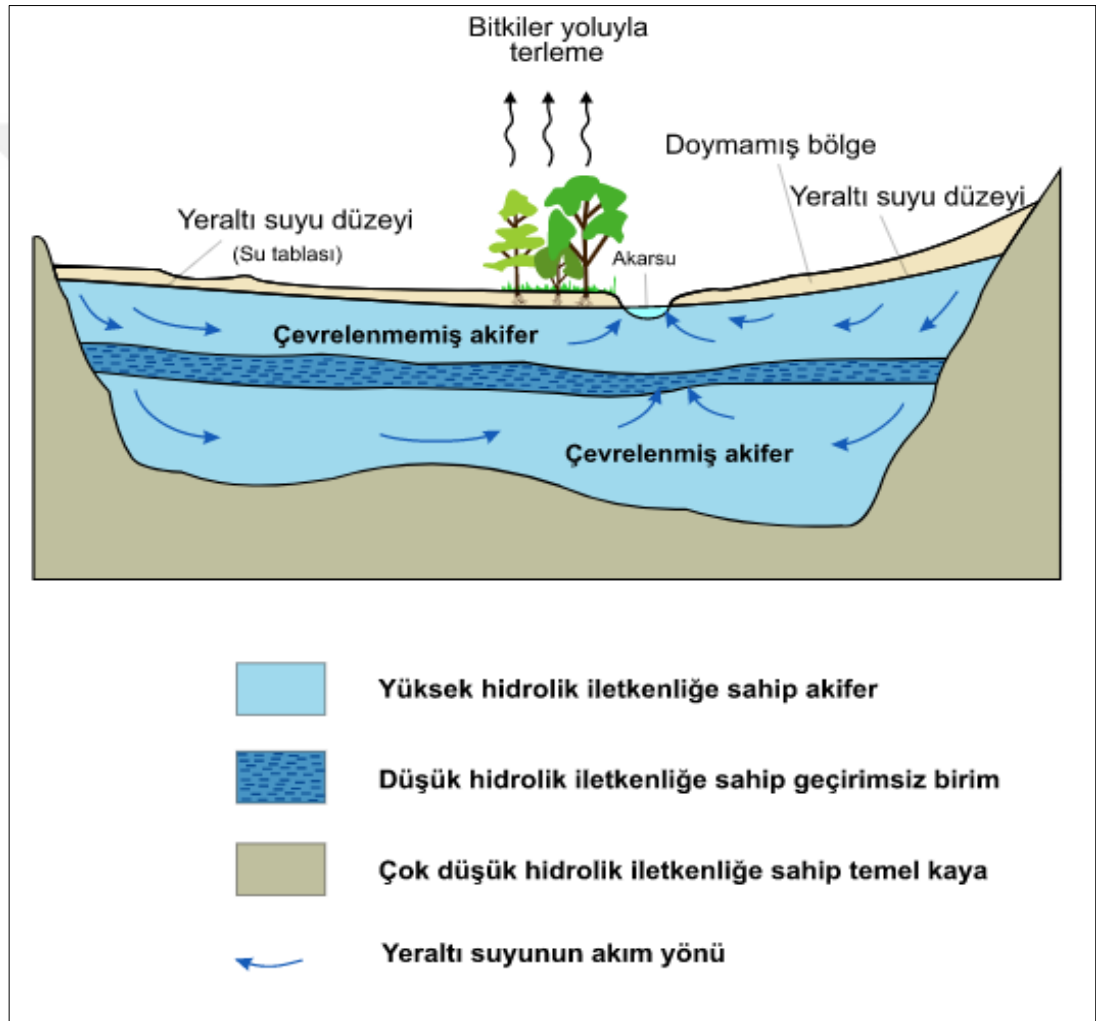
Deniz suları organik madde yönünden de zengindir. Bitki ve hayvanlar, çözünmüş ve asılı maddeler, denizde çürümüş organik maddeler şeklindedir. En önemlisi asılı ve çözünmüş olarak bulunan maddeler bunlar ölmüş canlıların artıklarından oluşur. Bunun sonucunda organik fosfor, organik azot, organik karbonlar oluşmaktadır (Hacı, 2003).

1.4.5. Yeraltı Suyu

Yeraltı suyu terimi suya doymun ve suya doymun olmayan kısımlarda bulunmaktadır. Diğer adı akiferdir. Ama bu terim sadece doymun kısımlar için kullanılmaktadır (Batu, 2008). Yeraltı suyu vadi tabanındaki su birikmesidir. Yeraltında ki geçirimsiz tabakadan geçemeyen sular burada birikir. Doğal yollarla yer üstüne çıkmaktadır. Bir başka söylemle yeraltı suyu geçirimli tabakanın doymun bölgesinde var olan ve kıyıları, akarsuları, gölleri, denizleri besleyen sudur.

Su kaynaklarının sınırlı olması insanların kıtlıkla mücadelesi yeraltı sularının değerlendirilmesi için çalışmalara başlatmıştır (Gürel ve Çobanoğlu, 1997).

Yeraltı sularının özelliklerinden biride lezzetli olmasıdır. Yeraltında kaldığı süre zarfında madenleri eritmiş damağa içildiğinde tat bırakmaktadır. Buharlaşma yüzdeleri azdır çünkü ısıyla doğrudan temas edemezler. Güneş toprağın altına topladığı enerji ısısını yerüstüne oranla daha az vermektedir. Yeraltına su biriktirme hazneleri yapılarak su tasarrufu yapılabilir. Beslendikleri bölgelerde endüstriyel çalışmalar yapılması yeraltı suyunun kirlenmesine yol açmaktadır.



Şekil 1.6. Yeraltı suyunun bulunduğu bölge (Wikipedia)

Şekil 1.6’da yeraltı sularının bulunduğu kısım verilmiştir. Yeraltında bulunan suyun hangi kısımda var olduğunu ve direk kullanımın zor olması temiz ve kullanılabilir suyun bulunmasının da bir o kadar zor olduğunu görmekteyiz.



Şekil 1.7. Çözünmüş katı madde miktarlarının su sınıflarındaki miktarları

Bazı su tiplerinin çözünmüş katı madde miktarı bakımından değerlendirilmesi Şekil 1.7’de yapılmıştır. Bu oranlamalara bakıldığında en az tatlı suda en çok da deniz suyunda bulunduğu gösterilmektedir.

1.5. Falkenmark İndeksi

Toplam nüfusun ve toplam su potansiyelinin bir ilişkisinin olduğu ve buna bağlı olarak bir ülkenin suya ne kadar ihtiyaç duyduğunu veya duyacağını ön görülebilecek değerlerdir. Verilen değerlerin altında veya üstünde olması o ülkenin ne kadar suya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Aynı zamanda tabloda verilmiş değerlere bakarak ülkenin sosyo-ekonomik potansiyeli ile ilgilide sonuçlar elde edilebilmektedir.

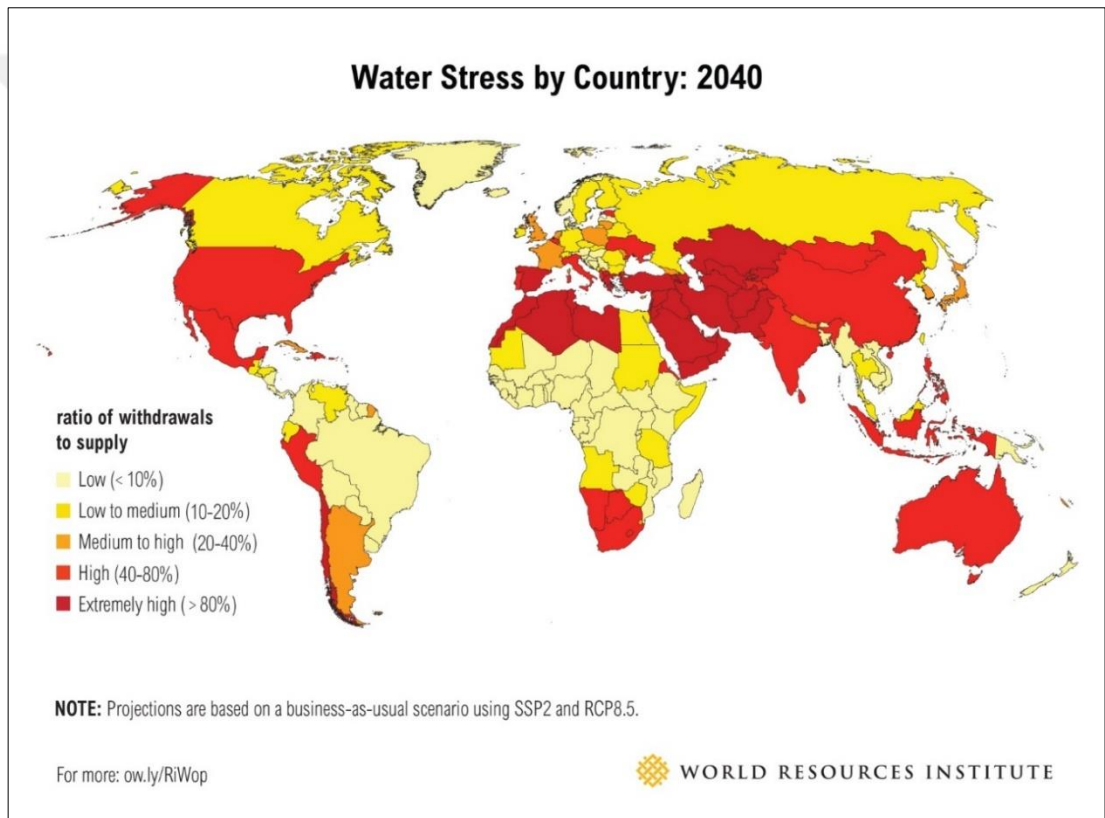
Tablo 1.4. Falkenmark indeksi

Su (m ³ /kişi/yıl)	Sınıflandırma
1700 m ³ ve daha fazla	Su sorunu olmayan stressiz alanlar
1700-1000 m ³	Su stresinin olduğu alanlar
1000-500 m ³	Su kıtlığı yaşanan alanlar
500 m ³ ve daha az	Kesin su kıtlığı olan alanlar

Tablo 1.4’de gösterildiği gibi yılda kişi başına düşen su potansiyelinin sınır değerini 1700 m³ olarak belirlenmiştir. Bu değerın üstünde su potansiyeli olan ülkeler

için su sıkıntısı çekilmemektedir. 1000 m³ suyun altına düşmüş ülkeler için ise su kıtlığının yaşandığının göstergesidir. 500 m³'ün altı ise mutlak kıtlık yaşandığını gösterir. Falkenmark yaptığı çalışmada bulduğu değerlerin sınıflandırmasını yapmıştır (Gökçe, 2022). Yaklaşık 8 milyar insan vardır. Bu sayının 1\5'i fiziksel su kaynaklarının olmadığı yerlerde yaşamaktadır. Bununla birlikte 1\4'ü de ekonomik yetersizliklerden dolayı su sıkıntısıyla savaşılmaktadır (FAO, 2007).

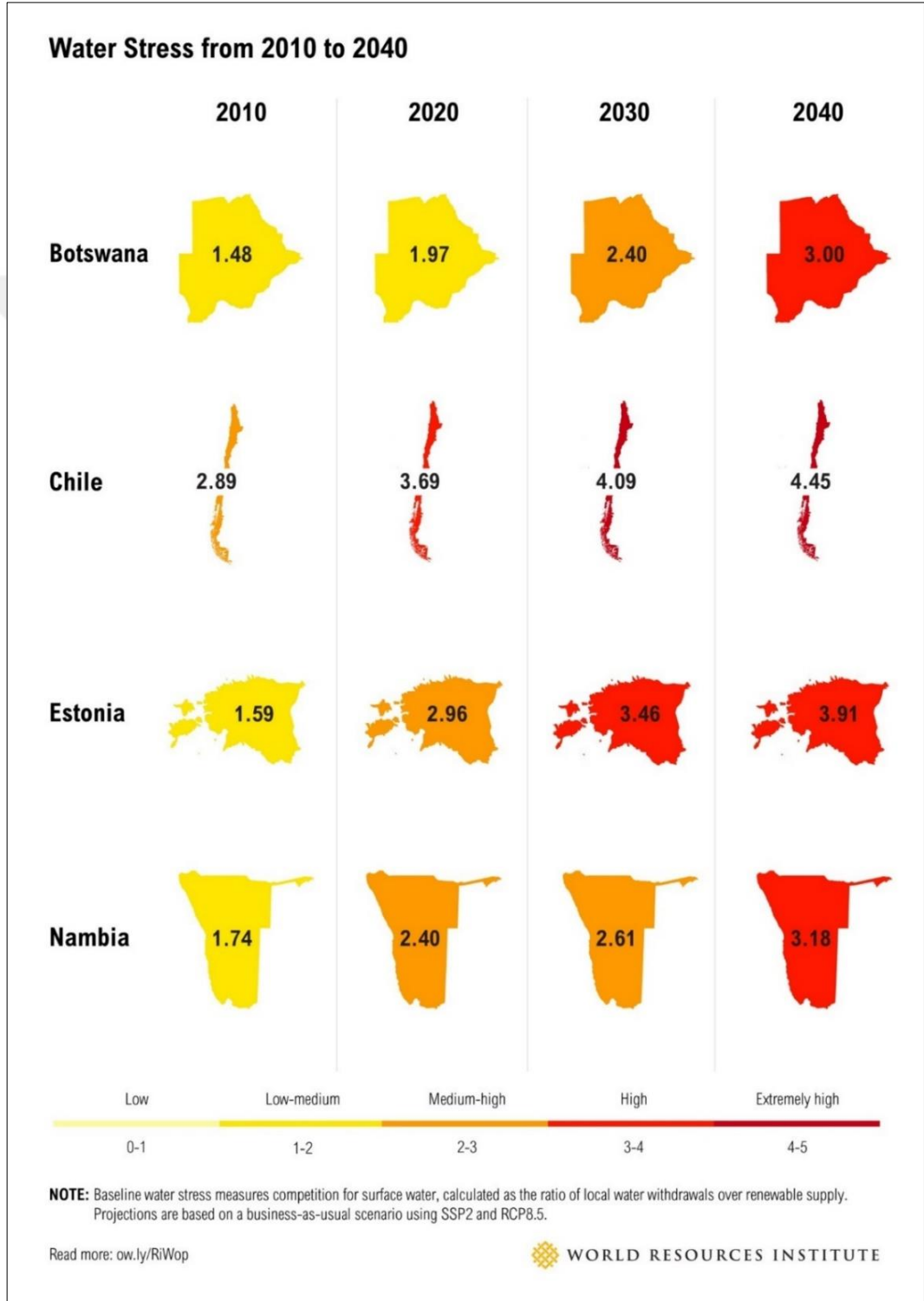
Nüfusun fazla olduğu yerlerde orantılı olarak fazla su potansiyeline sahip olunmamaktadır. Nüfus ve su potansiyeli arasında bu konuda bir bağlandı söz konusu değildir.



Şekil 1.8. 2040 yılı için falkenmark indeksine göre su kıtlığı tahmini (Andrew et al., 2015)

Şekil 1.8'deki gösterim 2040 yılında muhtemel yaşanması beklenen su kıtlığını dünya üzerinde bölgesel olarak göstermektedir. Önümüzdeki yıllarda Filistin, İsrail, Tunus, Libya ülkelerinin su kıtlığı çekeceği öngörülmektedir. Falkenmark indeksi bize doğrudan sosyal etkileşimleri vermemektedir. Yaşam tarzı, eğitim ve öğretimle ilişkilendirilememektedir. İndekse göre ekonomik olarak güçlü ülkelerin su stresini daha az çektiğini görmekteyiz. Dünya nüfusun hemen hemen %45'i içme suyu arıtma tesislerine ulaşmakta zorluk çekmektedir (Andrew et al., 2015).

Su stresi son derece ciddi bir durum olmakla birlikte ekonomik büyümeyi de tehdit etmektedir. Sanayi tarım ve evsel su kullanımlarında ciddi anlamda ihtiyaç dışı tüketim bulunmaktadır. Uluslar su güvenliğini sağlamakla ve yönetmekle yükümlü olmalılar. Sürdürülebilir su kaynaklarının varlıklarını korumakla ilgili yönetmeliklere ve çalışmalara destek vermelidirler (Andrew et al., 2015).



Şekil 1.9. Bazı ülkelerin 2040 yılındaki su stresinin yıllara göre değişimi

Bazı ülkelerin falkenmark indeksine göre 2040 yılında yaşanması muhtemel olan su kırlığının harita olarak gösterimi de Şekil 1.9'da verilmiştir.

Dünya genelinde nüfus ve su potansiyeli orantılı olmamakla birlikte Türkiye'de de bu durum geçerliliğini korumaktadır. Toplam nüfusumuzun %28'lik kısmı Marmara bölgesinde yaşamaktadır fakat havzaların su potansiyeli mevcut kaynakların %4'lük kısmına denk gelmektedir. Burdur gölü, Meriç, Gediz, Büyük menderes ve Asi nehirleri kendini yenileyebilme potansiyelini aşmıştır. Bu durum doğal ekosisteme zarar vermekte ve tehlike oluşturmaktadır (Uyduranoğlu Öktem ve Aksoy, 2014). En büyük havzamız olan Fırat Dicle su arıtma projeleri bulunduran en önemli havzalarımızdandır. Burdur ve Akarçay kapalı havzaları diğer havzalarla su potansiyeli açısından düşük seviyede kalmaktadır. Türkiye de bakıldığında su zengini olanlar olduğu gibi su fakiri olanlarda mevcuttur. Falkenmark indeksine bakarak değerlendirdiğimiz havzalarda Susurluk, kuzey ege, Sakarya ve asi nehirleri su fakiri olduğu bilinmektedir. Su ihtiyacının artmasının ana sebeplerinden olan nüfus artışının olması ile bazı havzalarımız su sıkıntısı çekebilecek sınırlarda bulunmaktadır (Hakyemez, 2019).

1.6. Su Kalitesi

Modern çağda, yeterli miktarda su kaynakları var olsa da ihtiyacın dışında gereksiz kullanımının önüne geçilememiştir. Bununla birlikte yeraltı sularının iyileştirilmesi için çalışmalara öncülük edilmiştir. Gizli yapılan sondajlar, çok sayıda kentleşme yeraltı suyu kaynaklarına da kirlilik doğurmuştur. İnsan sağlığı için ekosistem sağlığını da düşünmek zorundadır. Su kalitesinin iyileştirilmesi de bunların başında gelmektedir. Su için kalitenin yükseltilmesi ve kullanılabilir duruma getirmek sadece sağlık için değil endüstriyel tarımsal sulamada da çok önemlidir (Bharti and Katyal, 2011).

İnsanlar yaşamlarını devam ettirebilmesi için kendi ağırlığının 5 katı kadar su tüketimine ihtiyaç duyar. Suyun kalitesi olduğunu ifade edebilmek için kimyasal fiziksel ve biyolojik açılardan suyun içme suyu kalite standartlarını karşılaması gerekir. Suyun kalitesi uygulanan arıtım şekline göre farklılık gösterebilir. Suyun kalitesi havada buhar halindeyken belirlenmiş olur. Fakat buhar halindeyken yağmur damlasına dönüştüğünde hava asılı kalmış toz parçacıklarını da toplar ve yeryüzüne öyle düşer. Havada var olan tozları toplamasından kaynaklı içlerinde çok sayıda

bakteri vardır. Havada var olan toz çokluğuna bağlı olarak suyun kalitesinde de düşüklük meydana gelmektedir. Yaz aylarında yağışın az olması sebebiyle havada asılı kalmış tozlarda fazla olmaktadır. Aslında yağmur yağması havanın temizlenmesini sağlıyor diyebiliriz. Kar tanelerinin yüzey alanları daha geniş olduğu için yağmur damlalarına göre daha çok toz parçacığı tutabilmektedir. Buda kar tanelerinin kalitelerinin daha düşük olduğunu göstermektedir. Yüzey suları kalite bakımından düşük standartlara sahiptir. Buzlanmış bir yüzey suyunun da kalitesi düşüktür. Çünkü bakteriler düşük sıcaklıklarda yaşayabilirler. Arıtım işlemlerinde soğutma işlemi suyun temiz olabilirliğini tam olarak güvence altına almamıştır. Yağmur damlalarının yeryüzüne düşüp yüzeyde akmaya başladığı anda havadan aldığı bakteriler ve topraktan aldığı bakterilerle yüzeysel sulara karışmaktadır. Su toprağa geldiğinde toprak tarafından emilirken bir filtreden geçmektedir bu doğal filtredir. Bu yüzden yeraltı suları daha lezzetlidir. Mineral yönünden de zenginlerdir (Gürel ve Çobanoğlu, 1997).

Çevresel yönetim için suları kaliteleri açısından ayırmak ve tespitin sağlanması çok önemlidir. Dünyada keşfedilen suların çoğunluğunun kalitelerinin tespiti için yönetmelikler geliştirilmiştir. Bazı gelişmiş ülkeler sürdürülebilir bir yaşam için mücadele verip bazı kılavuzlar yayınlamış ve zorunlu kılmıştır. Çevre etki değerlendirmeleri birçok ülkede çok iyi seviyelere gelmiştir (Bai et al., 2013).

Artan nüfusla birlikte ekonomik sektörlerin su ihtiyacı da gittikçe artmaktadır. Bunun sonucu olarak kalitelerinin düşmesi insanların suyun bilinçli kullanması ve su güvenliğinin sağlanmasına özen gösterilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Tuğaç, 2014). Kıyı alanlarda yaşayan insanların su kalitelerindeki değişimden kaynaklı çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Deniz seviyesindeki yükselme yeraltı sularında ve akiferlerdeki tuz konsantrasyonunun artmasıyla beslenen göllerin nehirlerin akarsuların su kalitelerindeki tuz miktarı artmaktadır. Kıyı alanlara yerleşimin daha çok istenmesi de su kalitesinin düşüşüne neden olur (Goudie, 2006).

1.6.1. Su Kalitesinin Sınıflandırılması

I. Sınıf - Yüksek kaliteli su (I. sınıf su kalitesinde olması “Çok İyi” su durumunu ifade etmektedir.);

- 1) İçme suyu olma potansiyeli yüksek olan yerüstü suları,

2) Yüzme gibi vücut teması gerektirenler dâhil rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir su,

3) Alabalık üretimi için kullanılabilir nitelikte su,

4) Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı için kullanılabilir nitelikte su,

II. Sınıf - Az kirlenmiş su (II. sınıf su kalitesinde olması “İyi” su durumunu ifade etmektedir.);

1) İçme suyu olma potansiyeli olan yerüstü suları,

2) Rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir nitelikte su,

3) Alabalık dışında balık üretimi için kullanılabilir nitelikte su,

4) Mer’i mevzuat ile tespit edilmiş olan sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu,

III. Sınıf - Kirlenmiş su (III. sınıf su kalitesinde olması “Orta” su durumunu ifade etmektedir.);

Gıda, tekstil gibi nitelikli su gerektiren tesisler hariç olmak üzere, uygun bir arıtmadan sonra su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılabilir nitelikte su ve sanayi suyu, ifade etmektedir (Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 2012).

Tablo 1.5. Su kalite sınıfının renk durumu (Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 2012)

Su Kalitesi	Renk
Sınıf I	Mavi
Sınıf II	Yeşil
Sınıf III	Sarı

Tablo 1.6. Kıtaçi suların kalite sınıfına göre ayrımı (Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 2012)

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları ^(a)		
	I (çok iyi)	II (iyi)	III (orta)
Renk (m ⁻¹)	RES 436 nm: ≤ 1,5 RES 525 nm: ≤ 1,2 RES 620 nm: ≤ 0,8	RES 436 nm: 3 RES 525 nm: 2,4 RES 620 nm: 1,7	RES 436 nm: > 4,3 RES 525 nm: > 3,7 RES 620 nm: 2,5
pH	6-9	6-9	6-9
İletkenlik (μS/cm)	< 400	1000	> 1000
Yağ ve Gres (mg/L)	< 0,2	0,3	> 0,3
Çözünmüş oksijen (mg/L)	> 8	6	< 6
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	< 25	50	> 50
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅) (mg/L)	< 4	8	> 8
Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L)	< 0,2	1	> 1
Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	< 3	10	> 10
Toplam kjeldahl-azotu (mg N/L) ^(b)	< 0,5	1,5	> 1,5
Toplam azot (mg N/L) ^(c)	< 3,5	11,5	> 11,5
Orto fosfat fosforu (mg o-PO ₄ -P/L)	< 0,05	0,16	> 0,16
Toplam fosfor (mg P/L)	< 0,08	0,2	> 0,2
Florür (μg/L)	≤ 1000	1500	> 1500
Mangan (μg/L)	≤ 100	500	> 500
Selenyum (μg/L)	≤ 10	15	> 15
Sülfür (μg/L)	≤ 2	5	> 5

Tablo 1.5 ve 1.6’da bulunan kriterler yerüstü su kalitesi kontrol yönetmeliğinden alınmış ve gerekli olan kalite standartları verilmiştir. Su kalitesi sınıflarına ayrılmıştır.

Gelişmekte olan ülkelerin su kirliliği ve kalite standartları açısından bozulmasının en önemli sebeplerinden biri de sanayi kaynaklı olmasıdır. Sanayinin gelişmesi ve ekonomik düzeyin artırılması için sanayide kullanılan suların ihtiyaçlar dışında kullanılması ve proseslerin ihtiyaçları doğrultusunda kullanılması bizim su kalitesinin bozulmasıyla karşılaştırmaktadır. Kullanılan suların arıtımı ve deşarjı içinden gerekli önlemler alınmaktan kaçınılmaktadır. Suyun kalitesi için yapılacak çalışmaların yatırımlarının maddi olarak yüksek olması sektörde iş sahibi olanların kaçtığı bir durum haline dönüşmüştür (TÇV, 2003).

İyileştirilmesi gereken suların önemi kadar aynı zamanda kirlenen kirliliğinde önüne geçilmesi gerekmektedir. Yerel yönetimler bu çalışmaları yapmaya çalışmakla

ve yürütmekle de yükümlüdürler. Çevreye kirlilik sorunu yaratabilecek tüm kirleticileri uzaklaştırmak veya iyileştirmek onların en önemli görevlerindendir.

Nüfusun çoğunluk olduğu yerlerde kirlilik seviyesinin daha yüksek olmasıyla yerel yönetimler kendi içinde örgütler kurmuş ve görev dağılımı yapmıştır. İSKİ, ASKİ, SASKİ, OSKİ gibi birimler kirlenmenin önüne geçmek için çalışmalara katkı sağlamaktadır. İçme sularının kirlenmesi insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır. Bulaşıcı hastalıklara sebebiyet verir sonucu ölümle sonuçlanabilir.

1.7. Dünyada Suyun Kullanımı

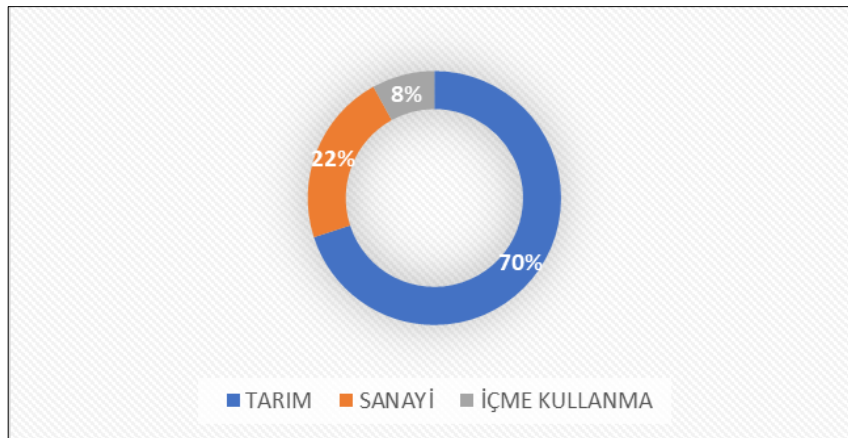
Gezegener arasında yaşam kaynağı olarak kullanılabilir suyun varlığı sadece dünyaya aittir. Dünyaya ait doğal kaynak olarak bulunan suyun ülkelerin gelişmiş düzeylerine göre kullanılabilirliği değişmektedir. Su kıtlığı yaşayan ülkeler arasında su potansiyeli fazla olup erişilebilirliği kısıtlı olan ülkeler vardır. Dünyada su dağılımı maalesef ki eşit olarak dağıtılamamaktadır. Nüfus ile suya olan sahiplik arasında bir bağlantı olmasa da artan nüfusun suya etkisi görülmektedir. Bazı ülkeler su potansiyeli olarak yüksek rezerve sahip olsa da onu kullanabilecek ekonomiye sahip olmamaktadır. Bu durumun tam tersi olarak ekonomik yönden güçlü olan ülkelerinde fazla nüfusa, sanayileşme, bilinçsiz tüketime göre doğal kaynak olan suyun kalitesinin bozulmasına sebebiyet vermiş olduğu görülmüştür (Rende, 2007).

Dünyada su kullanımını sektörel olarak sınıflandırırsak;

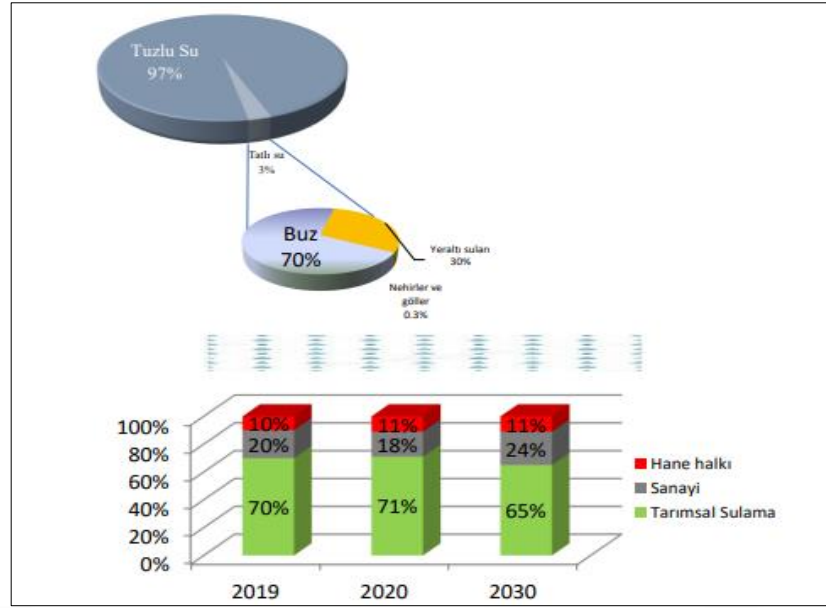
1- Tarım

2- İçme ve Kullanma Suyu

3- Sanayi



Şekil 1.10. Dünyadaki suyun sektörel kullanım yüzdesi (Akkaya, 2006)



Şekil 1.11. Dünya su kaynaklarının dağılımı ve tatlı su kaynakları dağılımı

Şekil 1.10’da dünyadaki toplam suyun sektörel dağılımından bahsedilmektedir. Şekil 1.11’de ise tatlı su miktarının varlığının ve sektörel dağılımının yüzdesel gösterimi verilmiştir.

Ülkelerin sosyo-ekonomik düzeylerine göre farklılık gösteren bu sınıflandırmalara eşlik eden başka faktörlerde vardır. İklim değişiklikleri, teknolojinin gelişimi, nüfusun beslenme düzeyleri ve alışkanlıkları gibi sıralanabilir. Bütün bu faktörler şu anki su planlamalarını ve gelecekteki su planlamaları için hesaplamalara katılmaktadır (Muluk vd., 2013).

Tablo 1.7. Bazı ülkelerin sektörel su kullanımı (Muluk vd., 2013)

Ülke	Toplam Tatlı Su Çekimi (km ³ /yıl)	Kişi Başı Tatlı Su Çekimi (m ³ /kişi/yıl)	Evsel Kullanım (%)	Sanayi Kullanımı (%)	Tarımsal Kullanım (%)	2010 Nüfusu (milyon)
Angola	0,4	18	23	17	60	19
Mısır	68,3	809	8	6	86	84
Somali	3,3	352	0	0	99	9
Kanada	45,1	1.330	20	69	12	34
ABD	482,2	1.518	13	76	41	318
Brezilya	58,1	297	28	17	55	195
Çin	578,9	425	12	23	63	1,362
Hindistan	761	627	7	2	90	1,214
İsrail	2	268	36	6	58	7
Japonya	88,4	696	20	18	62	127
Türkiye	40,1	530	15	11	74	76
Fransya	33,2	529	16	74	10	63
Rusya	76,7	546	19	63	18	140
İngiltere	11,8	190	22	75	3	62
Avusturalya	59,8	2.782	15	10	75	22

Tablo 1.7’den de görüldüğü gibi gelişmiş ülkelerin su kullanma sektörünün sanayi de fazla olduğunu, gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerinde suyu tarımsal kullanım amacıyla kullandığını ve yüzdesel oranlarının yüksek olduğu anlaşılmıştır. Gelişmiş ülkelerin sanayi alanında fazla kullanması ekonomik olarak büyümeleri ve suyun iyileştirilmesi için daha çok katkı çalışması yapabileceği de anlaşılmaktadır. Su her ülke için bir ihtiyaçtır ama gelişmiş ülkeler için ekonomik kalkınma ihtiyacı olduğunu söyleyebilir.

Kişisel ihtiyaçlar için harcanan su miktarı da oldukça fazladır. İnsanın doğmadan bile ihtiyacı olan suyun doğduktan sonra da çeşitli alanlarda ihtiyacı olmuştur. Suyun başlıca kullanım alanları da Tablo 1.8’de verilmiştir.

Tablo 1.8. Suyun başlıca kullanım alanları ve kullanılan miktar

SU TÜKETİM ALANLARI	İHTİYAÇ OLAN SU MİKTARI
Bir İnsanın İhtiyaç duyduğu su miktarı	100 litre
Banyo ihtiyaçları için	40 litre
Pamuğun 1 kilogramı için	20.000 litre
Bir çift ayakkabı (deri)	8.000 litre
Bir taşıtın imalatı için	450.000 litre
Musluktan gereksiz akan su miktarı	17 litre

Dünya su stresi yaşamakta ve kıtlıklarla da karşı karşıyadır aşağıda 2019 yılına ait bazı ülkelerin su stresi durumu Tablo 1.9’da ve gelecek 2030 yılı içinde de bu stresin hangi seviyede olacağının öngörüldüğü Tablo 1.10’da verilmiştir.

Tablo 1.9. Bazı ülkelerin 2019 yılındaki su riskleri (Turan ve Bayrakdar, 2020)

2019 Yılı (Bin Kişi)					
Ülke	Nüfus	Su Stresi	Su Kıtlığı	Mutlak Su Kıtlığı	Su Kıtlığı Alanlarında Yaşayanların Yüzdesi
Dünya	7700000		2326604		%30
Türkiye	82642	10969	5547	17035	%27
İngiltere	66629	10056	15331	15610	%46
Almanya	83306	11411	12446	1212	%16
Fransa	67212	11695	4284	1338	%8
İtalya	58241	8227	3105	7959	%19
A.B.D	340976	29759	29402	53151	%24
Kanada	38287	1085	419	6452	%18
Meksika	125591	7168	9661	55111	%52
Peru	31861	58	3323	14733	%57
Şili	18547	1366	12061	5430	%31
Brezilya	211778	18572	12061	54370	%31
Venezuela	34065	2047	1418	17595	%56
Suriye	24218	5636	1748	8057	%40
Irak	42113	226	3587	3852	%18
İran	82193	9453	11794	21499	%41
İsrail	10410	0	2180	7465	%93
Arabistan	35495	3230	6589	15873	%63
Yemen	32740	1342	4252	25526	%91
Umman	3490	68	169	2869	%87
B.A.E	10791	73	610	9548	%94
Bahreya	1551	0	0	1551	%100
Katar	2763	20	0	2736	%99
Kuveyt	3726	0	168	3030	%86
Kıbrıs	410	166	86	0	%21
Cezayir	43318	3500	3185	15091	%68
Mısır	97259	137	170	47148	%49
Sudan	42104	2540	2907	13118	%47
Hindistan	1414222	153163	201170	262640	%33
Çin	1382768	143765	185451	311460	%36
Güney kore	50376	1339	4908	18783	%47
Türkmenistan	6308	431	537	2064	%41
Özbekistan	27715	1752	2462	3173	%20
Rusya	142175	7767	11896	15160	%19
Japonya	124766	12880	8471	22504	%25
Endonezya	264363	34365	51220	44408	%36

Tablo 1.10. Bazı ülkelerin 2030 yılındaki su riski (Turan ve Bayrakdar, 2020)

Ülke	2019 Yılı (Bin Kişi)				Su Kıtılığı Alanlarında Yaşayanların Yüzdesi
	Nüfus	Su Stresi	Su Kıtılığı	Mutlak Su Kıtılığı	
Dünya	8600000		2705236		%31
Türkiye	89557	14127	7361	19681	%30
İngiltere	70484	9367	18247	16693	%50
Almanya	82874	11463	11413	2381	%17
Fransa	70885	13300	3810	2112	%8
İtalya	58496	10495	1519	9770	%19
ABD	366348	33475	34286	61772	%26
Kanada	41956	1205	466	7152	%18
Meksika	136202	14098	10201	60600	%52
Peru	33478	73	3518	15809	%58
Şili	19660	1358	978	9320	%52
Brezilya	223861	24005	13776	57905	%32
Venezuela	37776	2922	2060	19329	%57
Suriye	27790	6293	5190	9498	%53
Irak	51303	2573	3939	6617	%21
İran	87873	10708	13273	25197	%44
İsrail	12412	108	1719	9807	%93
Arabistan	42587	3706	7714	19158	%63
Yemen	40707	1606	5412	31560	%91
Umman	4135	108	176	3098	%84
BAE	12696	453	306	10655	%86
Bahreya	1930	0	0	1930	%100
Katar	3288	24	25	3229	%99
Kuveyt	4572	0	101	3823	%86
Kıbrıs	473	0	291	0	%62
Cezayir	43305	3666	13191	19920	%73
Mısır	109308	167	65	53103	%49
Sudan	50374	3225	3136	16837	%40
Hindistan	1556390	168914	232241	298095	%34
Çin	1385030	142578	185219	322178	%37
Güney Kore	50724	972	4296	19200	%48
Türkmenistan	6801	471	726	2306	%45
Özbekistan	29528	1312	3076	3479	%22
Rusya	139934	7813	11720	35399	%19
Japonya	120506	12833	6865	22634	%24
Endonezya	281905	36183	54191	47877	%36

1.8. Türkiye’de Suyun Kullanımı

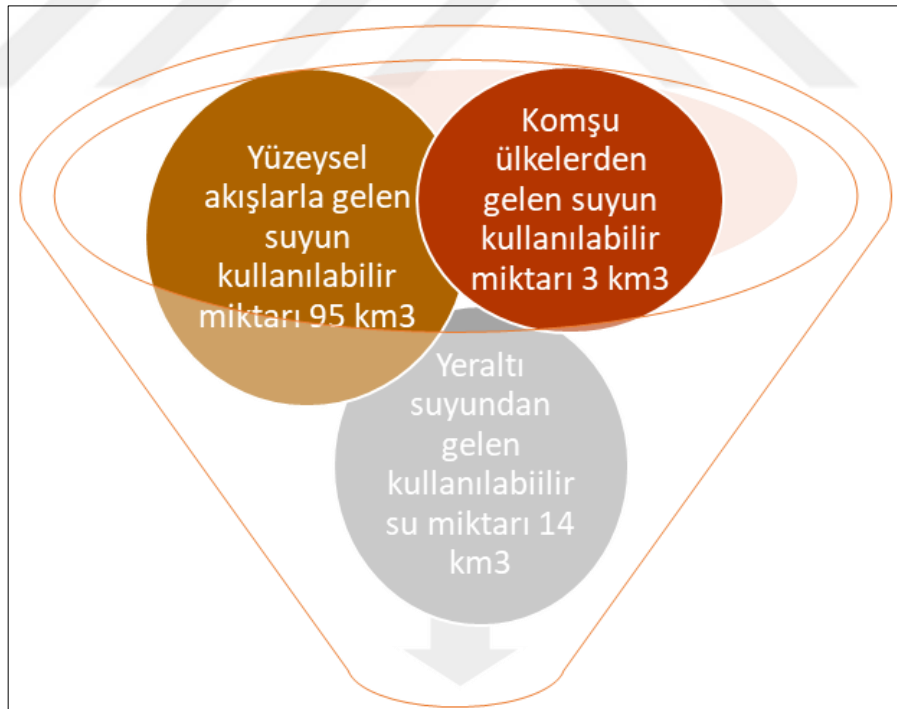
Türkiye’de 2019 verilerine göre yıllık ortalama yağış 574mm olup yılda yaklaşık 450 milyar m³ suya denk gelmektedir. Ekonomik şartlar altında ihtiyaçlar amacıyla tüketilecek yer üstü su potansiyeli 94 milyar m³’tür. Yeraltı su potansiyeli de yıllık 18milyar m³ olarak belirlenmiştir. Türkiye de toplamda 122 milyar m³ lük su potansiyeli vardır. Kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000’li yıllarda 1652 m³ iken 2019 yılında bu sayı 1346 m³’e gerilemiştir. Türkiye’nin kişi başına düşen su miktarına bakıldığında kritik seviyelerde olduğu söylenebilir. Su tasarrufu

yapılıp kullanılan suların tekrar kullanıma sahip olduklarında suların çok amaçlı kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (DSİ, 2019).

Tablo 1.11. Türkiye'nin 2019 yılı su potansiyeli

Yıllık ortalama yağış	574	mm/yıl
Türkiye'nin yüzölçümü	783577	km ²
Yıllık yağış miktarı	450	milyar m ³
Yüzey Suyu		
Yıllık yüzey akışı	186	milyar m ³
Kullanılabilir yüzey suyu	94	milyar m ³
Yer Altı Suyu		
Yıllık çekilebilir su miktarı	18	milyar m ³
Toplam Kullanılabilir Su (net)	112	milyar m ³
Gelişme Durumu		
Sulama Suyu	44 milyar m ³	
İçme-Kullanma ve Sanayi Suyu	13 milyar m ³	
Toplam Kullanılan Su		57 milyar m ³

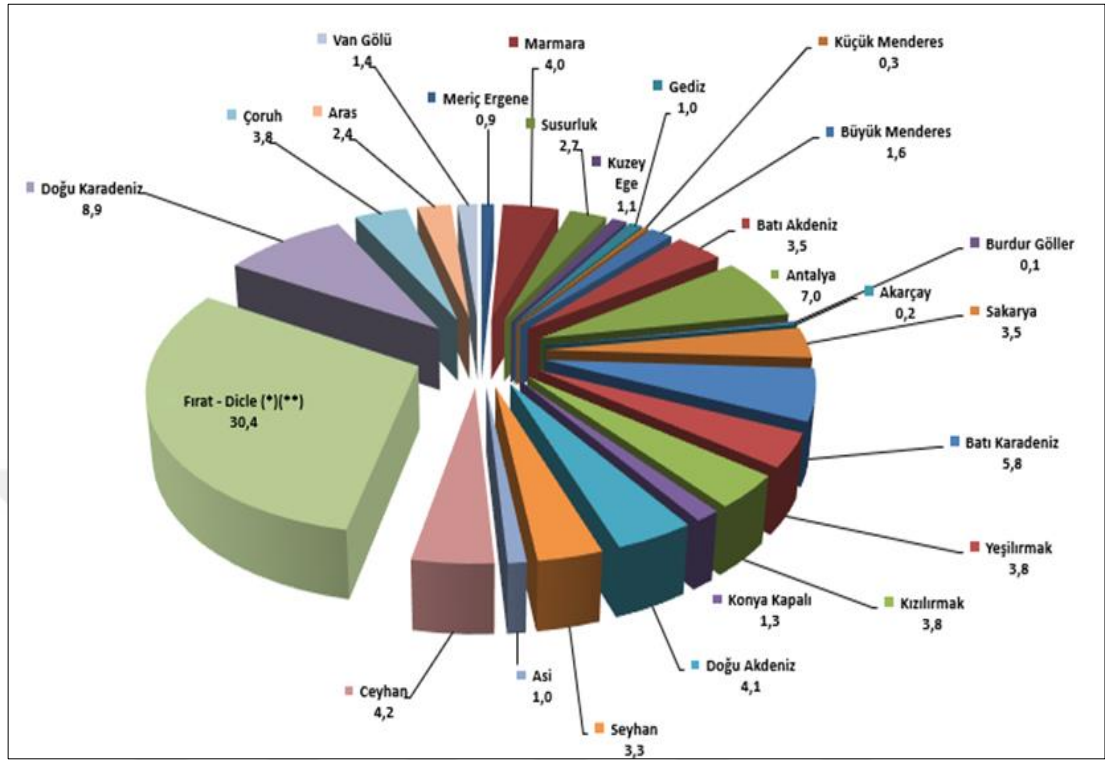
Tablo 1.11’de Türkiye’nin 2019 yılına ait toplam su potansiyelinin sınıflara göre miktarı verilmiştir.



Şekil 1.12. Türkiye'nin toplam su potansiyelinin miktarı

Türkiye'nin yüzeysel akışlardan gelen, komşu ülkelerden gelen ve yeraltı suyundan gelen kullanılabilir su miktarı da Şekil 1.12’de gösterilmiştir.

Türkiye su potansiyelinin bir kısmını havzalardan karşılamaktadır. Şekil 1.13’de görüldüğü gibi en büyük payda Fırat Dicle havzasıdır.



Şekil 1.13. Türkiye havzalarının yüzdesel su potansiyeli (DSİ, 2019)

1.8.1. Türkiye’nin Su Kullanımının Sektörlere Göre Dağılımı

Türkiye’de bir yılda ortalama 574 mm yağış düşmekte olup bu yağış miktarı yılda ortalama 450 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Günümüz teknik ve ekonomik koşulları çerçevesinde, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yıllık ortalama 94 milyar m³’tür. Ülkemizin 18 milyar m³ olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplamda 112 milyar m³ olup 57 milyar m³’lük kısmı kullanılmaktadır.

Türkiye’de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı DSİ tarafından yayınlanan verilere göre 1346 m³’tür. 2030 yılı için yaklaşık 1120 m³’e düşeceği öngörülmektedir. Su kaynaklarının verimli kullanılmaması durumunda Türkiye’nin 2030 yılında su sıkıntısı geçen ülkelerden biri olması muhtemeldir (Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

İhtiyaç kadar kullanılması gereken su miktarı bize doğru kullanımı vermektedir. Türkiye’de yıllık, 7 milyar m³’ü (%13) sanayide, 7 milyar m³’ü (%13) içme-kullanma suyu olarak ve 40 milyar m³’ü (%74) sulamada kullanılmak üzere 31 toplamda 54

milyar m³ su kullanılmaktadır. Bu miktar, teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir 112 milyar m³ su potansiyelinin % 48,2'sine karşılık gelmektedir. Türkiye’de son 20 yılda, tüketilen toplam su miktarında %40 oranında bir artış görülmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

Tablo 1.12. Kaynağına göre sektörlerden çekilen su miktarı (TÜİK, 2019)

	Yıl	İmalat sanayi işyerleri (Bin m ³)	Termik santraller (Bin m ³)	Organize sanayi bölgeleri (Bin m ³)	Maden işletmeleri (Bin m ³)
Kaynaklardan çekilen su miktarı	2016	2 115 642	8 608 370	150 359	230 412
	2018	2 675 606	7 867 738	159 469	240 928
Deniz	2016	1 548 976	8 477 209	0	55 111 (2)
	2018	2 064 711	7 731 361	0	55 598 (2)
Kuyu	2016	c	11 366	84 627	131 224
	2018	c	12 285	83 297	127 497
Kaynak	2016	c	c	20 098	c
	2018	c	c	24 730	c
Baraj	2016	99 796	57 749	9 372	10 629
	2018	103 696	69 248	c	6 072
Göl-gölet	2016	10 895	c	5 813	8 089
	2018	c	c	c	9 182
Akarsu	2016	47 064	35 512	30 449	9 830
	2018	41 317	35 257	34 590	10 056
Diğer (1)	2016	1 549	0	0	15 529
	2018	561	0	0	32 523

TÜİK 2018 verilerine göre Türkiye’nin su kullanımının sektörel dağılımı Tablo 1.12.’de verilmiştir. Kaynaklardan, denizden, kuyulardan, baraj ve göllerden çekilen su miktarlarının sanayi sektörlerine dağılımı gösterilmektedir.

1.8.1.1. Türkiye’de Tekstil Sektöründe Kullanılan Su Miktarları

Sanayi sektörleri kollarında en çok su tüketimi olanlar arasında tekstil gelmektedir. Çok aşamalı ve prosesli olan sektörde bir kilogram ürün sahibi olmak için kullanılan su 95-400 litre arasındadır. Yapılan çalışmalarda 1 ton nihai ürün elde edebilmek için 20-230 m³ su tüketimi olduğu gözlemlenmiştir. (Öztürk vd., 2009) Oluşan atıksular, proseste kullanılan su ihtiyacına bağlı olarak değişmektedir. Bitim işlemlerinde oluşan kirli suların içerisinde yüksek miktarda BOİ (Biyolojik oksijen ihtiyacı), beyazlatmadan kaynaklı atıksularda AOX (Adsorblanabilen Organik Halojenler) ve boyamadan kaynaklı ağır metaller gözlemlenmektedir. Uçucu organik bileşikler (VOC) değerleri de boyama ve baskı kısmında yüksek miktarlarda gözlemlenmektedir (Demirer ve Alkaya, 2018).

İmalat sanayinin alt sektörlerinde olan dokuma, giyim eşyası ve deri ürünlerinin 2021 TÜİK verilerine ait bilgilerden yola çıkarak 2018-2020 arasında bu sektöre çekilmiş olan miktarı 219.480 m³'tür. Deşarj edilmiş olan su 187.445 m³'tür (TÜİK, 2021).

Tekstil de kullanılan suların bir kısmı yeraltı sularından karşılanmaktadır. Suyun yetersiz olduğu kısımda aynı kaliteye sahip alternatif kaynaklara başvurulmaktadır. Örneğin göl akarsu nehir hepsi dünyanın tatlı su potansiyeline sahip sularıdır. Kullanılan suların %80'i proses suyu olarak düşünülürse IPPC (Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol) direktifi öncülüğünde genişletilip boyutlandırıldığında yeniden kullanım için tesislerin denetimi kurumlar tarafından desteklenmelidir (Yıldız Turan, 2014).

1.9. Su Ayakizi

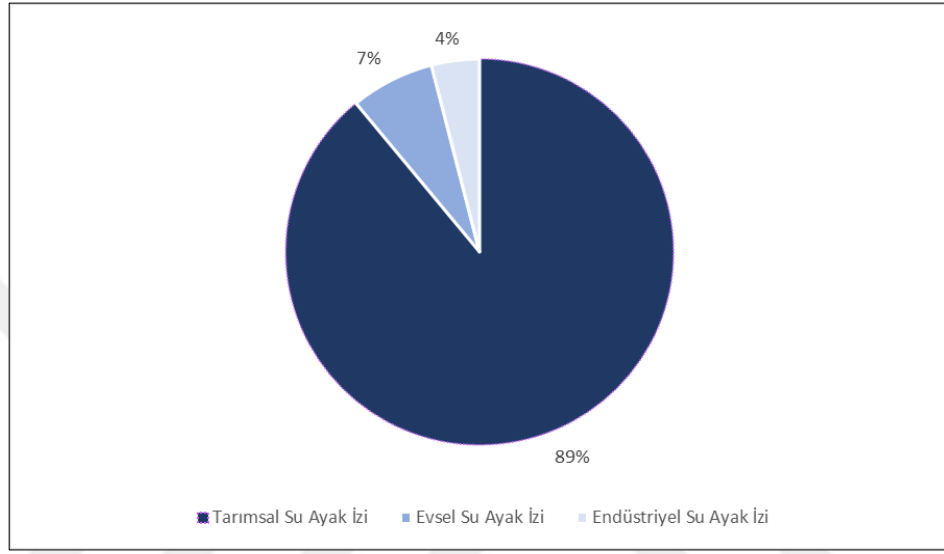
İlk kez su ayak izi kavramı 2002 yılında Arjen Hoekstra tarafından ortaya çıkmıştır. Su ayak izi kavramının boyutlandırılıp gelişmesine öncülük eden ise Twente Üniversitesi ile Su Ayak izi Ağı olmuştur (Gerbens-Leenes et al. , 2009). Bir ürünün üretim aşamasında ya da bireyin tükettiği su miktarının adı olarak tanımlanır (WFN, 2022). Toplumun veya sektörlerin ürün üretebilmek için kullandığı temiz su miktarıdır. Su ayak izi mavi, yeşil ve gri su olmak üzere 3 başlığa ayrılmıştır. Mavi su ayak izi üretim için kullanılan yeraltı ve yerüstü kaynaklarının toplamını ifade etmektedir. Yeşil su ayak izi ise kullanılan toplam yağmur suyunun miktarını vermektedir (Pegram et al., 2014). Gri su ayak izi ise kirlenmiş suyun seyreltilmesi, arıtılması için kullanılan temiz su miktarının tanımıdır. Bilimsel çalışmalar ve ülkeler bu kavramı desteklemiş ve rapor etmişlerdir.

Üretici ve tüketicilerin yalnız doğrudan temiz su kullanımı su ayak izi kavramını göstermez. Buna dolaylı su kullanımı da eklenir ve bize su ayak izi kavramını verir.

Üretimin aşamalarının her basamağında kullanılan temiz su ve kirlenen su miktarları dikkate alınır. Bir ürünün su ayak izi o ürünün sanal su içeriğiyle aynıdır. Tüketici tarafından tüketilen malın üretimi esnasında kirlenen temiz su miktarı olarak adlandırılır. Ürünün su ayak izi ise doğrudan veya dolaylı yollardan kullanılan temiz su miktarıdır. Bir bölgenin su ayak izi o bölge için tüketilen ve kirlenen toplam temiz sudur. Bir ulusun su ayak izi ise iç su ayak izi ve dış su ayak izi olarak iki ayrılır. İç su ayak izi ülke içerisinde üretim esnasında ihtiyaç duyulup tüketilen temiz suyu ifade

eder. Dış su ayak izi ise diğer ülkelerden alınan mal ve hizmetlerin üretimi aşamasında kullanılan su ayak izini ifade eder (Hoekstra et al., 2011).

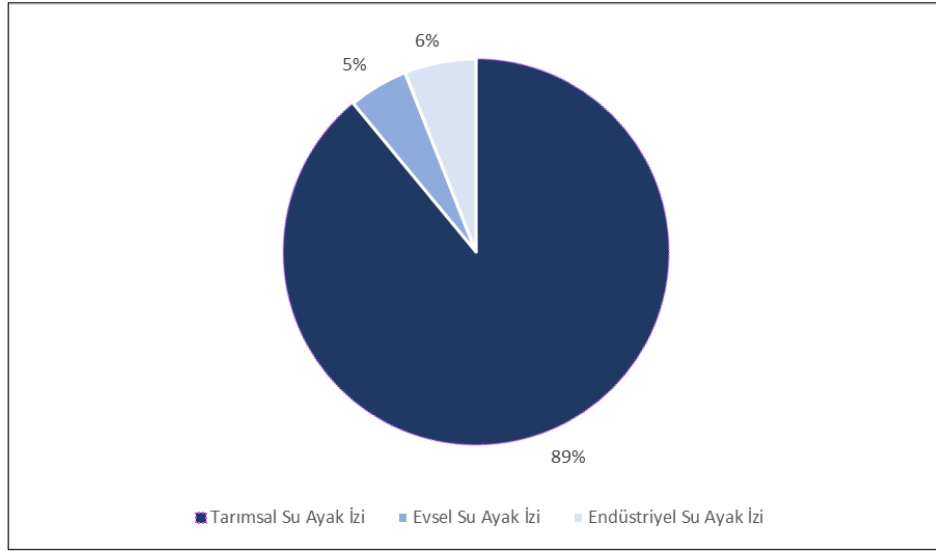
Türkiye'nin su ayak izine bakıldığında bunu iki şekilde incelemek mümkündür. Üretim ve tüketimi ayrı ayrı ele aldığımızda üretimden kaynaklı su ayak izinin %64'ü yeşil, %19'u mavi, %17'sinin de gri su ayak izi olduğu belirlenmiştir. Üretimin su ayak izi kısmında en büyük pay tarımdır.



Şekil 1.14. Üretimden kaynaklı su ayak izinin sektörel dağılımı (WWF, 2014)

Tarımda sulama yapmak için ihtiyaç duyulan su miktarı fazladır. Su ayak izinin büyük bir kısmı tarım alanında var olmaktadır. Şekil 1.14'de görüldüğü gibi Türkiye'de tarımdan kaynaklı su ayak izi %89, evsel su ayak izi %7, endüstriyel su ayak izi ise %4'tür (Pegram et al., 2014).

Üretimin ayak izi ise ülkemizde tüketilen mal ve hizmetler için kullanılan yüzeysel ve yeraltı sularını ifade etmektedir. Türkiye'nin tüketimden kaynaklı su ayak izi 140,2 milyar m³/yıldır. Tüketilen mal ve hizmetlerin %66'sı yeşil, %17'si mavi ve gri olarak belirlenmiştir. (Pegram et al., 2014).



Şekil 1.15. Tüketimden kaynaklı su ayak izinin sektörel dağılımı (WWF, 2014)

Şekil 1.15'te üretimden kaynaklı sektörel bakıldığında tarımın diğerlerine oranla daha yüksek olduğu durum burada da geçerli olarak tüketimden kaynaklı tarımsal su ayak izi %89 endüstriyel kullanımdan kaynaklı %6 evsel kullanımdan kaynaklı pay ise %5'tir (Pegram et al., 2014).

1.10. Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

Çevresel sorunların artması ve var olan doğal kaynakların yavaş yavaş tükenişe geçmesinden dolayı sürdürülebilirlik kavramı tüm uluslar için önemli bir kavram haline gelmiştir. Sürdürülebilir kalkınma politikası ulusal ve uluslararası kabul görmüş bir kavram olarak önümüze çıkmaktadır. Bu kavramın amacı doğaya zarar vermeden ekonomik olarak gelişmeyi ve güçlenmeyi hedefleyen bir politikadır. Aynı zamanda bu gelişmelerden kaynaklı çevre kirliliğinin de önüne geçilmesidir. Nüfusun artması sanayinin gelişmesi çevre problemlerinin her geçen gün daha farklı boyutlarla ortaya çıkması insan sağlığı açısından bir tehdit oluşturmaktadır. Dünyanın sürekliliğinin korunması için ekosistemde var olan tüm canlı cansız varlıkların güvenliğini sağlamakta yükümlü olunan bir kavram haline gelmiştir.

Bugün dünyada üretilen her bir malzemenin üretim öncesi üretim aşaması ve üretim sonrasında kullanılan çok miktarda su bulunmaktadır. Bununla birlikte tüketiciye de ulaştırılması için bir su tüketimi mevcuttur. Tekstil, otomobil, kağıt, beyaz eşya gibi bir çok farklı sektörlerde sürdürülebilir su yönetiminin sağlanması için suyun yeniden kullanılabilir kalite standartlarına getirilip kullanılması, şebeke sularının kullanımının azaltılması, yağmur sularının kullanılabilir duruma

getirilebilmesi sürdürülebilirliğin sağlanması için atılabilir adımlar haline gelmektedir. Başka alternatif seçenekler arasında da yine üretim sonrasında ortaya çıkmış gri suların arıtılıp tesis içerisinde başka proseslerde, tuvaletlerde veya bahçede kullanılması su kazancı sağlanmasında seçenekler arasına girmektedir.

Gelişmiş olan ülkelerde ekonomik kalkınmaya etki eden unsurlardan biridir yeniden kullanım. Hem doğa tahribatı önlemi alınırken aynı zamanda az kullanım çok üretim prensipleri de bulunmaktadır. Yağmur sularının yeniden toplanılıp kullanıma kazandırılması için çalışmalara da öncülük etmektedirler. Bina içlerinde bulunan yağmur suyu toplama haznelerini mevsimlerinde biriktirip daha sonra kullanım standartlarına getirilerek sanayide, tarımda ve evsel kullanımlarda kullanılabilir.

1.10.1. AB Birliği Sürdürülebilirlik Kavramı

Çevreye verilen zararların önemi 1960'lı yılların başlarında anlaşılmaya başlanmış ve artık uluslararası bir boyut kazanmıştır. Birleşmiş Milletler (BM) çevrenin olumsuz etkilenmesini gündemine alarak her milletin sahip çıkması gereken bir problem olarak görmüş, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nu 1983 yılında kurmuştur. Çevrenin ekolojik dengesinin bozulması ve tahribatlara yol açılmasının sebebiyetlerini araştırarak bunlara çözüm bulmaya çalışmak için Brundtland Raporu yayınlamıştır.

Sürdürülebilirlik kavramının amacı çevrenin ekonomik ve sosyal boyuttan uyum sağlanması hedef alınmıştır. Araştırmalar ve çeşitli analizler doğrultusunda bu hedeflerin gerçekleşmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma modelinde bugünün ve geleceğin doğal haklarının korunması çeşitli hesaplamalarla planlanmak için bir araya gelinmiştir. AB çevre politikalarının aldığı kararların temellerinde baz alınan noktalar;

- Dünya barışının sürmesi,
- Doğal kaynakların korunması,
- Kaynakların zenginleştirilmesi alternatiflerinin bulunması,
- Nüfus artış hızının kontrolü,
- Çevre ve ekonomik politikaların ilişkilendirilmesi,
- Kaynak kullanımının en az seviyede tutulması,

- Kullanılan kaynakların iyileştirilmesi.

AB sürdürülebilir kalkınma kavramı altında iki adet uluslararası belgeyi tanımlamıştır. Bu belgeler Johannesburg uygulama planı ve bildirgesidir.

Belgenin amaç ilkeleri;

- Yerel yönetimlerin, halkın ve özel sektör üretim ve tüketicilerinin sorumlularını bilmesi ve kendilerini geliştirmesi,
- 2005 yılına kadar ulusların kendi sürdürülebilir kalkınma projelerini geliştirip uygulamaya geçirmesi,
- Kullanılan enerji türlerinde değişikliğe gidilmesi ve fosil yakıtların en aza indirilmesi,
- Ekolojik dengeyi ve biyoçeşitliliği korumak kullanılması gereken sınır değerlerde sabit tutmaya çalışılması,
- Verilen kararların uluslararası ölçekte hemfikir olunacak şekilde uygulanmaya çalışılması.

BM bu ilkeleri tanıyarak ve uygulamayı amaç edinerek takvimlerini yayınladıktan sonra toplantılarını düzenlemektedir. Var olan uygulamalardaki problemleri gözden geçirip çözüm odaklı çalışmalarını sürdürmektedir (Yıkılmaz, 2011).

1.10.2. Avrupa Birliği (AB) Sürdürülebilirlik Yaklaşımı

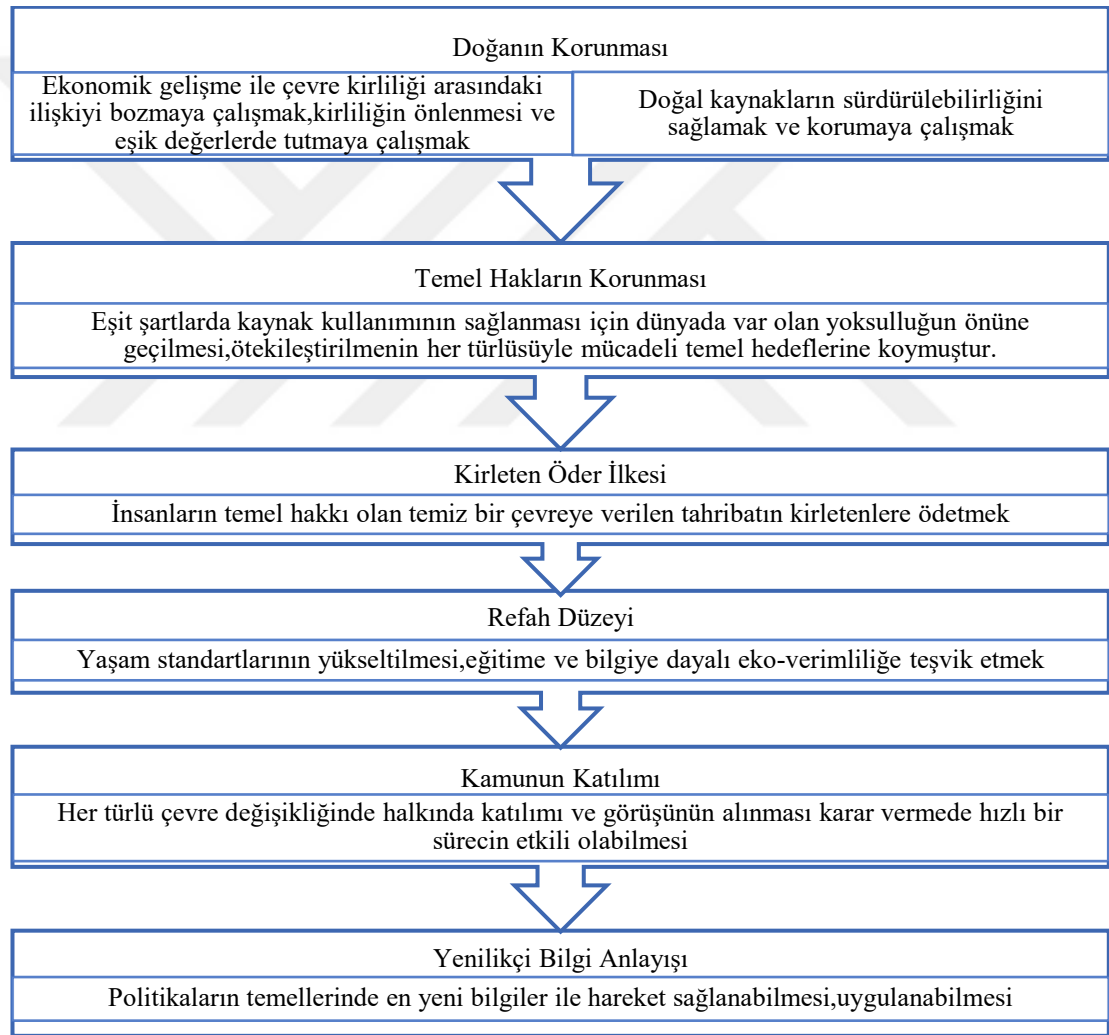
Avrupa birliği sürdürülebilir kalkınma hedeflerini Amsterdam anlaşmasıyla belirlemiştir. Hedefler 2 bölümden oluşmaktadır. Sürdürülebilirliği hedefler doğrultusunda sağlanamayacak politikaları belirlemiş ve önlemlerin alınması için temelleri oluşturulmuştur. Hedeflerin konusu şu şekildedir;

- Küresel ısınmadan kaynaklı iklim değişimi,
- Kaynakların korunması ve biyoçeşitlilikteki azalmayı minimum düzeyde tutmak,
- Artan nüfusla birlikte yaş sınırlarında (genç yaş, orta yaş) değişikliklerin gözden geçirilmesi,
- Kamuoyunu tehdit edebilecek salgın hastalıkların kontrolünün sağlanması ve ortadan kaldırılması,

- Ulaşımda kullanılan fosil yakıtların sürdürülebilir strateji kapsamında en az şekilde kullanılması (Yıkma, 2011).

Hedeflerin ikinci bölümünde ise Sürdürülebilir kalkınma stratejisinin küresel boyutuna değinilmiş, gelişmekte olan ülkelerin bu stratejileri sağlamasında yardımcı olabilecek olan AB'nin katkılarından bahsedilmiştir. Ekonomik sosyal boyutların çevreyle ilişkilendirilmesi için yeni hedeflerin benimsenmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Her yeni hedef benimsemesi ve stratejilerin geliştirilmesi için etki değeriendirilmesinin hükmü getirilmiştir (Yıkma, 2011).

AB'nin Sürdürülebilir Kalkınmanın Temel Hedefleri;



Şekil 1.16. AB kalkınma hedefleri (Yıkma, 2011)

AB komisyonunca belirlenen hedefler Şekil 1.16'da gösterilmiştir ve politikaların düzenlenip uygulamaya konulması için ilerleme raporlarının her iki yılda bir hazırlanması uygun görülmüştür. Türkiye'nin Avrupa Birliğine katılımı ve

sürdürülebilir kalkınma kavramına uygun şartları sağlaması büyük önem arz etmektedir. Mevzuatların uygulanması ve yapılandırılması için çalışmalara destek verilmelidir (Yıkma, 2011).

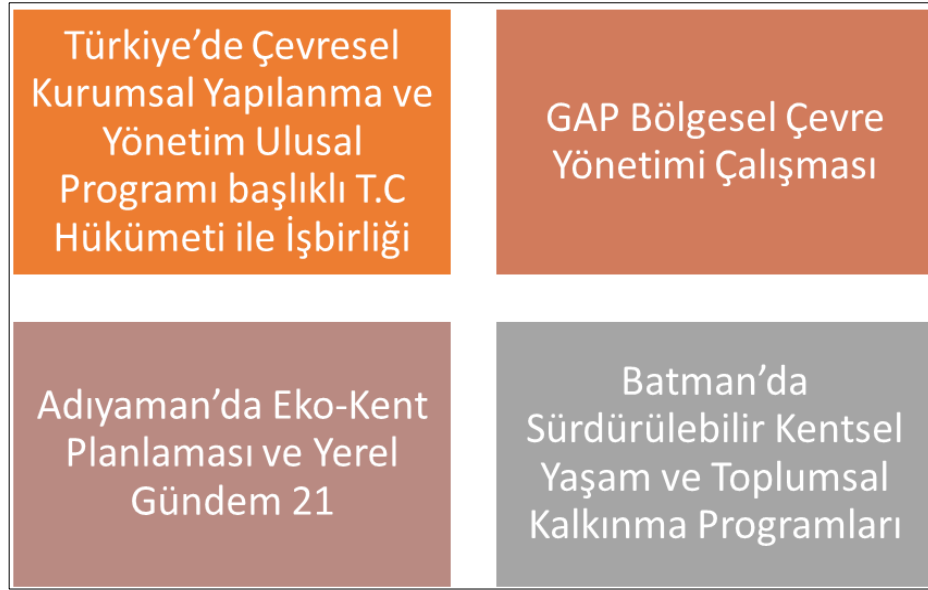
1.10.3. Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

BM’lerin 1992 yılında yaptığı Rio konferansı sonrasında Türkiye 10 sene sonra 2002 yılında Johannesburg Zirvesinde ulusal bir rapor sunmuştur. Sivil toplum kuruluşları, bakanlıklar, kamu kuruluşları, özel sektör katılımcılarının da içinde bulunduğu bir toplantıyla hazırlanmıştır. 2002 yılından itibaren ekonomik sosyal durumların çevreyle ilişkisinin sunulduğu raporda küresel değişiklikler, iklim değişikliği, ekonomik yoksulluk, yönetim ve biyoçeşitliliğin eşik değerlerde tutulması gibi başlıklar altında değerlendirilmiştir (Ozmehmet, 2008).

Çevre bakanlığı ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Örgütü (UNDP)’nün ortaklaşa yürüttüğü ulusal çevre ve kalkınma programının çerçevesinde oluşturulan proje Koordinasyon Birimi tarafından yürütülmektedir (Ozmehmet, 2008).

Bireylerin kendi imkanları doğrultusunda sürdürülebilirliğin uygulanamayacağı belirlenen hedeflerin devlet, işletme, sivil toplum örgütlerince yapılandırılmaya çalışılması gerektiğini savunan örgütlenmelerden biride Sürdürülebilir Gelişme İçin Çevre Platformu’dur. İstanbul Sanayi Odası, Türkiye Kalite Derneği, Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı, Tema, Tüsiad tarafından 2003 yılında kurulmuştur.

Türkiye’nin sivil toplum örgütleri ulusal ve uluslararası ölçeklerde etkin olarak rol almaktadır. Proje kordinasyon birimi tarafından yönetilmekte olan projelerden bazıları da şunlardır (Ozmehmet, 2008);



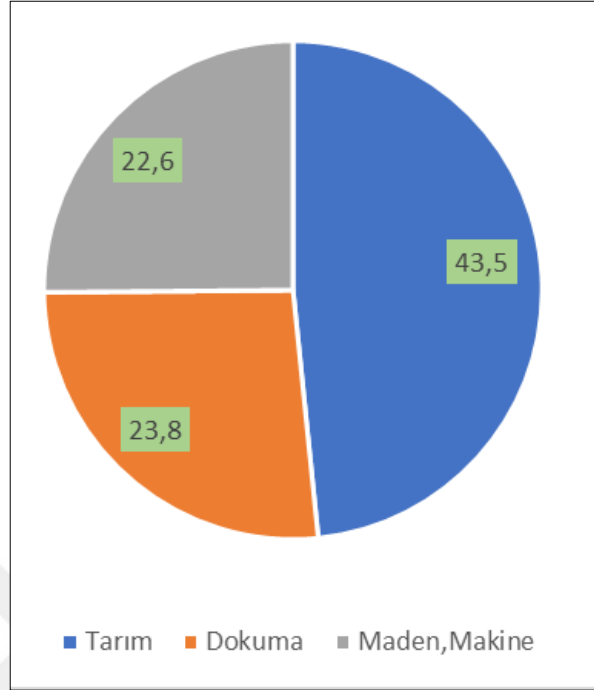
Şekil 1.17. Türkiye'nin sivil toplum örgütlerinin yönettiği projeler (Ozmehmet, 2008)

Yapılan çalışmalarla sivil toplum örgütleri teşvik edilip desteklenmektedir. Sürdürebilir kalkınmanın sadece yönetim bazından değerlendirmek mümkün değildir. Sivillerin bilinçlendirilmesi yönetimin daha farklı konularda başka hedefler doğrultusunda Şekil 1.17'de belirtildiği gibi ilerlemesi sağlanması amaçlanmalıdır. BM aldığı kararları uygulamaya koymak için geniş çerçevelerde kapsamlı bir şekilde hazırlanan “Yerel Gündem 21” eylem planı birçok ilimizde uygulanmaktadır. BM sunmuş olduğumuz ve uyguladığımız sürdürülebilirliğe katkı sağlayan planı dünyanın en iyi uygulamalarından biri olarak görmüştür (Ozmehmet, 2008).

1.11. Sanayi’de ve Tekstil’de Su Kullanımı

Türkiye'nin sanayi konusunda gelişimi Tanzimat dönemlerinde başlamıştır. Genellikle deniz yolunda büyük ilerleme yaşamış ve ilk adımlarını böylelikle atmıştır. Batıda gerçekleşen sanayi devriminden sonra ülkemizin en önemli sektörlerinden olan ve günümüzde dış pazarlama konusunda gelişimi olan tekstil sektörü büyük ölçüde etkilenmiştir. Büyükşehirlerde kurulan tekstil fabrikaları Bursa İstanbul gibi şehirlerde zararlara yol açmıştır. Dönemde imzalanan bazı anlaşmalar kapitülasyonlar devlete büyük ölçüde kısıtlamalar getirerek Avrupa'dan elde edilen mallara vergi uygulaması dönemselsel birçok tekstil fabrikasının zararlı kapanmasına yol açmıştır. Cumhuriyetin ilan edilmesinden sonra İzmir’de iktisat toplantılarının yapılması Türkiye ekonomisine başlıca bir yön vermiştir. Planlamalar doğrultusunda sektörlere girişimler için destekler verilmiştir. Gümrükte vergi, hammadde ithalatında birçok kolaylık

sağlanması amaç edinilmiştir. 1927 yıllarının başlarında tespit edilmiş 65000 işletmenin gelişimi için desteklenmiştir.



Şekil 1.18. İşletmelerin yüzdesel dağılımı

Şekil 1.18’de verilen işletmelerin yüzdesel dağılımı maden ver makinanın %43.5 oranında dokuma ve tarım sanayisinin önüne geçtiği görülmektedir.

Türkiye’nin sanayi kollarının gelişmesinde coğrafi olarak düzensiz bir dağılım vardır. Bunun sebeplerinden nüfusun dağınık yerleşmesi, iklim değişkenliği ve hammaddenin yakınlığı olarak söylenebilir. Ülkenin nüfus yoğunluğunun Marmara Bölgesinde yaşıyor olması bu bölgede sanayi kollarının gelişmesini sağlamıştır. Fazla nüfusun olması tüketici potansiyelinin de yüksek olması anlamına gelmektedir. Aynı zamanda batıya daha yakın olması da ihracatın ve ithalatın ekonomiye olan büyük katkısında vardır. Marmara Bölgesinin kıyılarından İzmit Körfezine kadar uzanan geniş bir sanayi kitlesi oluşturulmuştur.



Şekil 1.19. Türkiye'nin bölgelerinin sanayi kolları açısından durumu

Sanayi sektöründe kullanılan su miktarlarının çoğunluk olduğu sektörler Şekil 1.19'da gösterilmiştir. Bu sektörlerin kullandığı prosesler de imalat için gerekli olan su kullanımı çok yüksektir. Tekstil, gıda, kimyasal ürünlerin imalatı ve metal sanayi ürünleri olarak örneklendirilebilir. Bu sektörlerde proses suları kaybedilen su, ürün içinde kalan su, üretim sırasında buharlaşan su, bazı sebeplerden dolayı proses dışında kalan su, ürün işlem sırasında kullanılan su olarak tanımlanabilmektedir (Çapar ve Yetiş, 2018).

Tablo 1.13. Sanayi sektörlerinde su kullanımları (Çapar ve Yetiş, 2018)

İktisadi Faaliyet Kodu (Nace Rev.2)	Faaliyet Kodu Tanımı	Alınan Su Miktarı (1000m ³)	Kullanılan Su Miktarı (1000m ³)	Sektörel Kayıp Su (%)
10	Gıda ürünlerinin imalatı	132326,67	110112,62	2,4
13	Tekstil ürünlerinin imalatı	176182,30	160477,30	1,72
14	Giyim eşyalarının imalatı	22870,19	14318,34	0,94
17	Kâğıt ve kâğıt ürünlerinin imalatı	27687,64	25463,62	0,24
19	Kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı	25364,26	21458,85	0,43
20	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	358434,19	354436,00	0,44
23	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	67941,60	54509,69	1,47
24	Ana metal sanayii	17481,57	14173,09	0,36

Marmara bölgesinin sanayi kollarının çok gelişmiş olması ve tekstil sektörünün bu bölgede daha çok işlevselliğini göstermesi bölgesel su kaynakları açısından baskılanma yaşatmaktadır. Tablo 1.13'te farklı sanayi kollarının üretimde kullandığı su miktarları ve suyun sektörel su kayıpları verilmiştir. Su kullanımını azaltmaya yönelik met (mevcut en iyi tektik) uygulamalarının bu sektörde ihtiyaç haline gelmesi de iyileştirme çalışmalarını hızlandırmıştır. Atık suların kazanımı ve su kalitelerini iyileştirme çalışmaları sektörel verimliliği pozitif yönde etkilemekle beraber doğanın dengesine de kazanım sağlamaktadır (Çapar ve Yetiş, 2018).

Tekstil endüstrilerinde karşılaşılan problemlerin büyük bir kısmı kullanılan suların içerisindeki kimyasal maddelerin kirletici yüküdür. Diğer kirlilik problemleri olarak karşımıza çıkan enerjinin fazla kullanımı, oluşan katı atıklar, hava kirliliği olarak sıralanmaktadır. Kullanılan su miktarının bu sektörde fazla olması iyileştirme çalışmalarının ekonomik ve çevresel boyutlar açısından kurumsallara sorumluluk yüklemektedir (Budak, 2014).

Proseslerin ihtiyaç duyduğu su miktarları üretim sırasında minimizasyon düzeylerinde kullanımın gerçekleşmesi için çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Suyun tekrar kullanımı, suyun en az düzeyde kullanımı, proseslerin ihtiyaç duyduğu ham maddenin alternatif seçenekleri bu çözümlerin başlıklarındandır.

Kurumların kirlilik önleme kısmındaki sorumluluklarından biri tesis içinde kontrol tekniklerinin geliştirilmesidir. Kirliliğin kaynağında önlenmeye çalışılması sonradan iyileştirme çalışmalarından daha az masraflı olduğu durumlar olabilir. Kirlenmiş suların yeniden kullanılabilme haline getirilmesi sektördeki su yükünün

azaltılması için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Su kullanım yükünün azaltılmaya gidilmesi demek aynı zamanda kullanılan suların işlemler esnasında daha az bir zamanda gerekli sonuca varılması proseslerin ihtiyaç duyduğu enerjinin de azalması anlamına gelmektedir. Enerjinin az kullanılması tekstil sektörünün çevresel ekolojiye verdiği zararların bütünsel olarak minimum seviyeye getirilmesine yardımcı olmaktadır (Budak, 2014).



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler

İşletme “Denim (Kot) ve Konfeksiyon Ürünleri Yıkama Tesisi” konularında faaliyet göstermekte olup, faaliyet kapsamında 2021 yılı maksimum üretim miktarı 2024131kg’dır. Tesiste 34 kişi, günde 8 saat ve yılda 300 gün çalışmaktadır. Tesisin bulunduğu konumda harita üzerinden görüntüsü Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Tesisin görüntüsü

Denim veya Blue Jean olarak isimlendirilen kumaşlar, genel tanımlamayla pamuk, polyester, naylon, viskon, lycra gibi ipliklerden üretilen, çeşitli birim ağırlıklarda olabilen genellikle çözgü ipliği mavi indigo boyalı, atkısı boyanmamış, çeşitli örgülerde dokunmuş kumaşlardır.

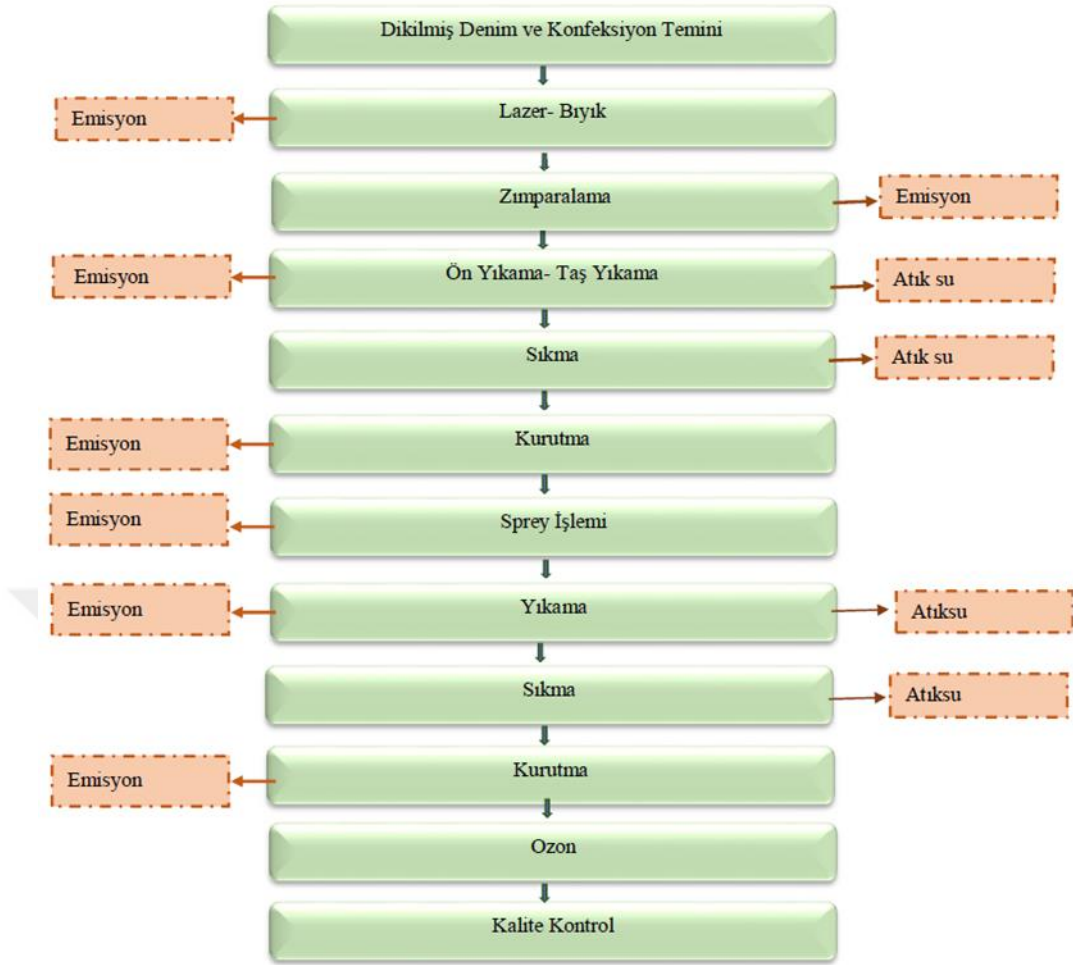
Bir denim ürününün son görüntüsünü belirleyen işlem o ürüne yapılan denim yıkamadır. Bu yüzden denim yıkama işlemi titizlik ve uzmanlık gerektirmektedir.

Yıkama işlemlerinin denim ürünlerde oluşturduğu efektler:

- Görünüm/ Renk değişimi
- Yumuşama
- Boyut sabitliği
- Farklı tutum ve işlev

Yukarıda belirtilen efektlerin derecesi, işlemin süre, sıcaklık, yıkama lotunun çözelti oranı ve kullanılan kimyasallar gibi uygulama koşullarına göre farklılık gösterir. Tesisin genel vaziyet planı şekilde yer almaktadır.

Denim Yıkama Faaliyeti Prosesinin detaylı açıklaması şu şekildedir: Tesise gelen ürüne öncelikle bıyık işlemi yapılır. Bıyık işlemi ile denim ürünlerde isteğe ve modele uygun olarak düz veya dalgalı, uzun ya da kısa çizgiler oluşturulur. Daha sonra zımparalama işlemine geçilir. Mamul üzerine direk sürtme yöntemi ile tatbik edilir. Zımpara işleminden sonra ürünler bir sonraki aşama olan ön yıkama işlemine alınarak temizlenir. Daha sonra kumaş zemini üzerinde efekt verme amacıyla taş yıkama işlemi yapılır. Bu işlem için taş enzimi ve ponza taşı ile beraber yıkama yapılır. Burada kullanılan ponza taşları atılmayarak, devamlı surette kullanılır. Taş yıkama işleminden sonra durulama yapılır, sıkmaya daha sonra da kurutmaya gönderilir. Bu aşamadan sonra denim ve konfeksiyona, farklı efekt ve özellik katmak amacıyla birtakım işlemlerden geçirilir. Kotun zemin rengini açmak amacı ile seyreltilmiş olan kimyasal, fırça ile değdirilerek pantolon üzerine tatbik edilir. Yıpratma işlemi ayrıca lazer ile de yapılabilmektedir. Ürünler, yıkama bölümüne sevk edilerek yakılan bölümlerin temizlenmesi sağlanır. Yıkama işleminde dispergatör ve haşıl enzimi ile yıkama yapılır. Daha sonra su ile durulama yapılır, sıkmaya daha sonra da kurutmaya verilir. Tüm işlemlerin tamamlanması ile kalite kontrol çalışmaları yapılır. Kalite kontrol işlemleri sonucunda uygun olan ürünler ve uygun olmayan ürünler ayrıştırılır. Düzeltme yapılabilecek ürünler tekrar işleme alınır. Şekil 2.2’de tesisin genel iş akım şeması verilmiştir.

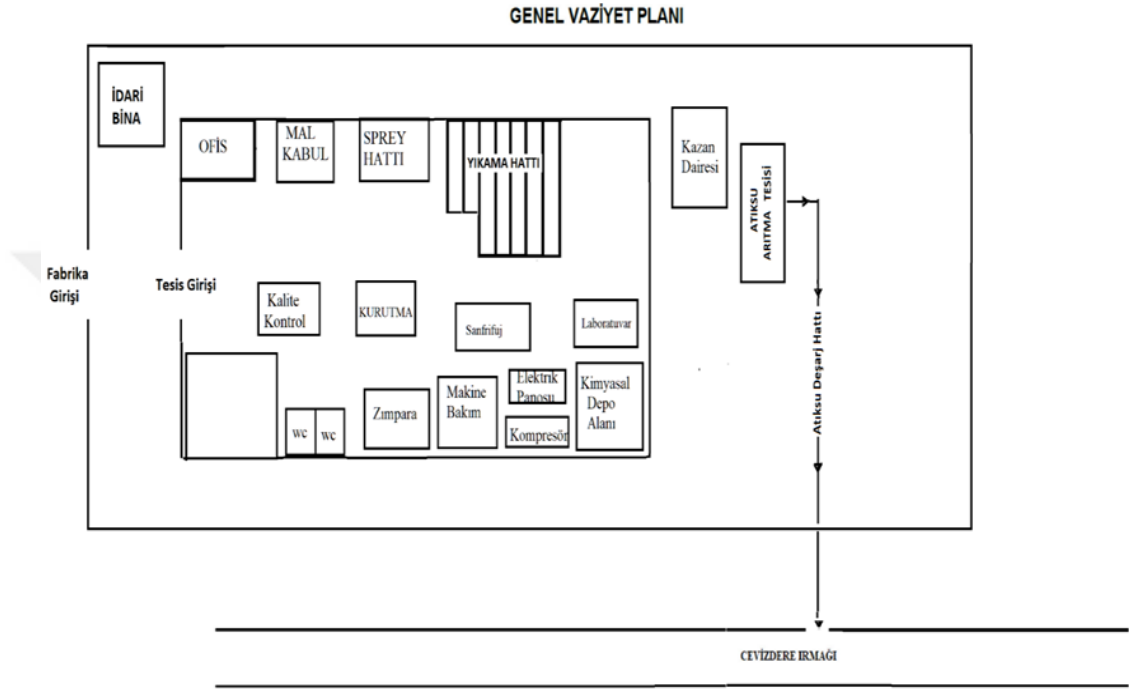


Şekil 2.2. Tesisin genel iş akım şeması

Atık su arıtma tesisinde arıtılan su, deşarj olmadan önceki son hazne olan temiz su havuzuna gelir. Havuz içerisinde ham su tankını beslemek için bir adet pompa bulunmaktadır. Pompa yardımıyla ham su tankına geçmeden önce su iki adet paralel bağlı kartuş filtreden geçer. Filtre sonrası ham su tankına gelen su, hidrofor pompa ile yumuşatma havuzundaki şamandıraya bağlı olarak filtrelere besleme yapar. Beslenen su sırasıyla paralel bağlı iki kum filtre, aktif karbon filtre ve ters osmoz sistemlerinden geçer. Kum filtrelerinde osmoz sistemine zarar verebilecek olan gözle görülebilen veya görülemeyen küçük çaplı askıda katı maddeleri, kolloidleri vb. giderilmektedir. Kum filtreden geçen su daha sonra aktif karbon filtreye girer. Kot yıkama işleminde kullanılan hipoklorik asit atıksuda serbest ve bağlı formda bulunabilir, ters osmoz sisteminde membranların deliklerini oksitleyip genişlemesine sebep olacağından aktif karbon ile klorun tutabilmesi sağlanır.

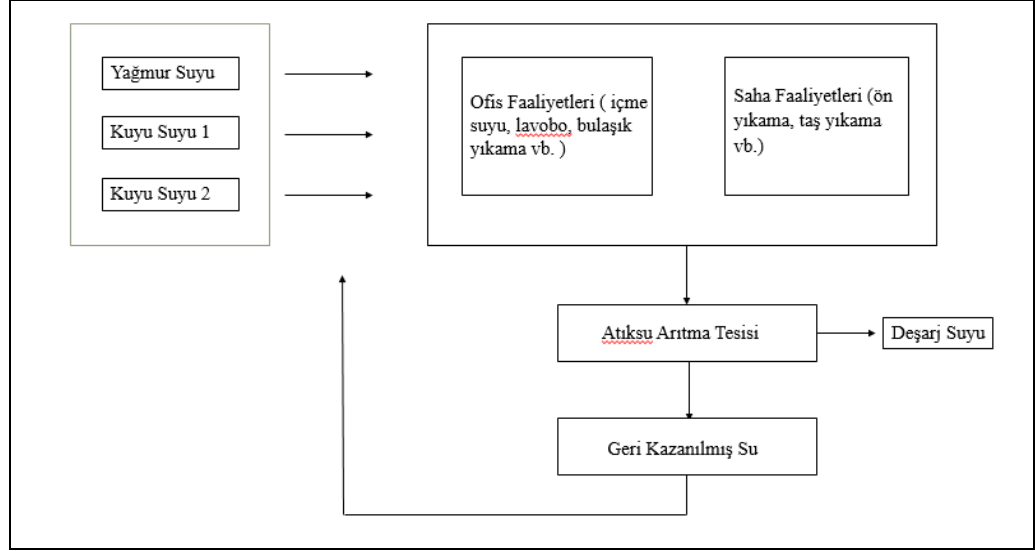
Aktif karbon ünitesinden geçen su son işlem olarak ters osmoz ünitesine verilecektir. Ters osmoz sistemi 8-15 m³/s besleme kapasitelidir. Antiskalant ve kostik

yıkama fonksiyonları vardır. Ters osmoza verilen suyun karakteristiğine göre yıkama kimyasalları değişiklik gösterebilir. Antiskalant suyun karakteristiğine göre seçilir. Yaklaşık %75 arıtım verimiyle çalıştırılır. Kot yıkamada önemli bir parametre olan iletkenlik ise %98 verimde giderilir. Ters osmoz atık suyu arıtma tesisinin “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine” belirlenen alıcı ortam deşarj kriterlerinin altında olacağı için doğrudan deşarj edilebilir. Tesisin genel vaziyet planı Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Genel Vaziyet Planı

Bu çalışmada sistem sınırları, kapıdan kapıya yaklaşımı ile belirlenmiştir. Sistem sınırı ürünün işletmeye girmesiyle başlayan ve yıkama işlemi yapılan ürünün işletme kapısından çıkmasına kadarki tüm su tüketimlerini içermektedir. Sistem sınırları Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Çalışmanın sistem sınırları

İşletmede kullanılan su, iki farklı kuyudan elde edilmektedir ve depoda biriktirilmektedir. Biriktirilen su hem evsel ve hem de endüstriyel amaçlı tesiste su döngüsünde yer almaktadır. Ayrıca işletmenin yağmur suyu depolama alanı mevcut olup, toplanan sular ofis ve saha faaliyetlerinde kullanılmaktadır. Üretim esnasında oluşan atık sular tesiste bulunan atık su arıtma tesisinde arıtılarak ters osmoz sistemiyle geri kazanılmakta ve üretimde kullanılmaktadır. Geriye kalan atık su ırmağa deşarj edilmektedir.

2.2. Su Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

2.2.1. Su Ayak İzi Envanter Analizi

Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO) tarafından 2014 yılında “Çevre yönetimi – su ayak izi – ilkeler, gereksinimler ve yönergeler” adlı uluslararası standart (ISO 14046) yayınlanmıştır (ISO, 2014).

ISO 14046’da su ayak izi, yaşam döngüsü değerlendirmesi kavramını izleyerek suyla ilgili potansiyel çevresel etkileri ölçen bir metrik olarak tanımlanır. ISO tarafından geliştirilen su ayak izi değerlendirmesi; bir ürün, süreç veya kuruluş tarafından kullanılan veya etkilenen suyla ilgili girdilerin, çıktıların ve potansiyel çevresel etkilerin derlenmesine ve değerlendirilmesine odaklanır (Hoekstra et al, 2011).

ISO 14046, bir su ayak izi çalışması yürütmek için toplanacak verilerin türü hakkında ayrıntılar sağlar. Bu gereklilikler, dikkate alınan her türlü sistem (ürün, süreç veya organizasyon) için geçerlidir ve veri kalitesi gerekliliklerini kapsar.

Bu çalışmada, ISO 14046:2014'te tanımlanan su ayak izi metodolojisi benimsenmiştir. Bu yöntemle göre su ayak izi sınıflandırması mavi, yeşil ve gri su ayak izi olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Bu göstergeler için detaylı hesaplama süreçleri aşağıda sıralanmıştır.

Mavi Su Ayak İzi

Su kaynaklarından çekilen (ve tüketilen) su miktarını temsil eder. Bir tesisin yıllık mavi su ayak izi belirli bir tatlı su kaynağından bir yıl içinde tesis tarafından tüketilen toplam su miktarını ifade eder. Mavi su ayak izi tesisin tatlı su kaynakları üzerinde yarattığı etkinin doğrudan ölçütüdür. Tüketilen, kullanılan ve sonrasında buharlaşan veya ürünle birleşmiş tatlı su hacmini işaret eder. Mavi su miktarı= Buharlaşan su+ ürüne/Hizmete entegre olan su+ Akışa dönmeyen kayıp su

Yeşil Su Ayak İzi

Üretim sürecinde tüketilen (ancak su kaynaklarından alınmayan) yağmur suyunun hacmidir. Yeşil su miktarı=Buharlaşan su+ ürüne/hizmete entegre olan su+ akışa dönmeyen kayıp su

Gri Su Ayak İzi

Bir ürünün üretim süreci ile ilişkilendirilen kirliliği ifade etmek için kullanılan bir göstergedir. Mevcut su kalitesi standartları ve su kaynağının doğal konsantrasyonuna göre atıkları bertaraf etmek için gerekli tatlı su hacmi olarak tanımlanır. Gri suyu hesaplamak için alıcı ortama verilen kirlilik yükü, ortam kalite standardı ve alıcı su ortamındaki doğal konsantrasyon arasındaki farka bölünür (Hoekstra et al, 2011).

$$Gri\ su\ ayak\ izi = \frac{L\ (kirlilic\ kons.xDebi)}{C_{yasal\ limit} - C_{alıcı\ ortam}} \quad (2.1)$$

L=Alıcı ortama verilen kirlilik yükü (kg/yıl)

$Q_{alıcı\ ortam}$ = alıcı ortamın doğal su konsantrasyonu (mg/L)

$C_{yasal\ limit}$ = ortam su kalite standardı (mg/L)

2.2.2. Su Kıtlığı Ayak İzi Hesabı

Su kıtlığı ayak izi, bir kuruluşun bir alandaki faaliyetlerinden kaynaklanan su kıtlığıyla ilgili potansiyel çevresel etkileri değerlendirmek için kullanılmaktadır. (Zhao et al, 2018)

Bölgelerde aynı miktarda su tüketimi, yerel su kaynakları üzerinde farklı etkilere neden olabilir (Ridoutt et al, 2010).

Bu nedenle su kıtlığı ayak izi, yaşam döngüsü süreçleri boyunca doğrudan hacimsel su ayak izi muhasebesine dahil eden kullanışlı bir göstergedir (Yano et al, 2015) (Ridautt et al, 2018).

Belirli mal veya hizmetlerin yaşam döngüsü üretim süreçleri boyunca “kıt su” tüketimi, yani su stres indeksi ile ağırlıklandırılmış tatlı su tüketimi olarak tanımlanabilir (Ridoutt et al, 2010).

Su kıtlığı ayak izi yaklaşımının en önemli özelliği, su ayak izinin su kıtlığına katkıda bulunduğu bölgeler arasında anlamlı karşılaştırmalar yapılmasına olanak sağlamasıdır.

Bu çalışmada, su kıtlığı ayak izini tahmin etmek için CCaLC₂ yazılımı (The University of Manchester, 2018) kullanılmıştır (CCaLC₂, 2022).

Yazılım ISO 14044 ve PAS 2050 tarafından tanımlanan uluslararası kabul görmüş yaşam döngüsü metodolojisini takip etmektedir. Yazılımda CCaLC₂ veri tabanının sunulmasının yanı sıra dünyada en yaygın olarak kullanılan, en tutarlı ve kapsamlı veri tabanı olan Ecoinvent veri tabanını içermektedir. CCaLC₂ yönteminde, Su kıtlığı ayak izi, Pfister ve arkadaşları tarafından önerilen orta nokta etki değerlendirme yöntemine göre hesaplanır. Bu yöntem, tatlı su tüketiminin çevresel etkilerini, Su Stres İndeksi'ni (WSI) orta nokta karakterizasyon faktörü olarak dahil ederek değerlendirir. WSI, su kıtlığına bağlı olarak su tüketimi etkilerini gösterir. Bu nedenle, su kıtlığı ayak izi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Su kıtlığı ayak izi (m}^3 \text{ eq./f.u.)} = \text{su kullanımı (m}^3 \text{ /f.u.)} \times \text{WSI}$$

CCaLC₂ aracı, ulusal düzeyde tüm ülkeler için WSI değerlerini içerir. 0,01 ile 1 arasında değişen WSI değerleri, aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilir:

$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6.4 WTA^* \left(\frac{1}{0.01} - 1 \right)}} \quad (2.2)$$

Burada WTA*, yağışın aylık ve yıllık değişkenliğini hesaba katmak için değiştirilmiş bir sayıdır.

2.3. Su Ayak İzi Hesaplamalarında Kullanılan Veriler ve Kabuller

Kurumsal su ayak izi envanter aşamasında, suyla ilgili tüm girdiler ve çıktılar (temel akışlar) için veriler toplanmış ve analiz edilmiştir. ISO 14046'ya göre envanter verileri, çevreden çekilen ve önceden insan dönüşümü olmadan sisteme giren (yani sistem sınırını geçen) suyu ve daha sonra insan dönüşümü olmadan sistemden ayrılan ve çevreye salınan suyu içerir. Tesiste yürütülen mevcut durum analizi çalışmaları kapsamında su temininden atık su oluşumuna kadar tüm su kullanım noktalarının su tüketimleri belirlenmiştir. Bu kapsamda 2021 yılına ait su sayacı ve mevcut tesis verilerinden yararlanılmıştır.

2.3.1. Mavi Su Ayak İzi Hesaplaması

Kuruluş seviyesinde mavi su ayak izi, kuruluşun kendi operasyonlarına bağlı olarak tükettiği yüzey ve yeraltı tatlı su kaynaklarının toplam hacmi için ifade edilmektedir.

Bu tesiste faaliyetin gerçekleştirilmesi için ihtiyaç duyulan hamsu, tesise ait iki kuyudan temin edilmektedir. Buna göre, iki kuyudan çekilen suyun toplam hacmi, toplam mavi ayak izini oluşturmaktadır. Ayrıca üretim esnasında oluşan tüm atık sular tesiste bulunan atık su arıtma tesisinde arıtılarak ve ters osmoz sistemiyle geri kazanılmakta ve tekrar mavi su olarak sisteme verilmektedir. Kuyu suları ve ters osmozdan alınan su biriktirilerek hem evsel ve hem de endüstriyel amaçlı tesiste su döngüsünde kullanılmaktadır. Tablo 2.1'de İşletmenin 2021 yılında aylık olarak ölçülen mavi su ayak izi miktarları yer almaktadır.

Tablo 2.1. İşletmenin 2021 yılında faaliyetlerinde kullandığı su miktarları

Aylar	Kuyu Suyu 1 (m ³ /ay)	Kuyu Suyu 2 (m ³ /ay)	Ters Osmoz (m ³ /ay)
Ocak	1029	1469	4477
Şubat	851	1866	2323
Mart	1245	3493	6763
Nisan	1138	4464	6991
Mayıs	771	3531	4960
Haziran	1027	6902	6539
Temmuz	1039	4239	4679
Ağustos	3626	3654	6284
Eylül	2349	1735	3062
Ekim	1032	889	5076
Kasım	884	1053	9750
Aralık	1023	1406	10213
Toplam	16014	34701	71117

Tesiste mavi su tüketimleri; proseslerde, içme suyu, lavabo, mutfak, tesis ve ekipman temizliğinde gerçekleşmektedir. Buna göre, işletmede su tüketimi 2021 yılında 121832 m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tüm atık sular tesiste bulunan atıksu arıtma tesisinde arıtılarak ve ters osmoz sistemiyle geri kazanılmakta ve geriye kalan atıksu ırmağa deşarj edilmektedir. Tesiste bulunan atıksu arıtma tesisi, 31.12.2004 tarihi ve 25687 sayılı ‘‘Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’’ Tablo 10.2 (Tekstil Sanayii (Dokunmuş Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri)) kapsamında işletilmektedir. Çalışma kapsamına alınan, ölçümleri yapılan parametreler ve kullanılan analiz yöntemleri Tablo 2.2 ’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Atıksu Arıtma Tesisi ölçüm yapılan parametreler ve analiz yöntemleri

Parametre	Birim	SKKY Tablo-10.2 Kompozit Numune 2 Saatlik	Kullanılan analiz/Ölçüm Metodu
Amonyum Azotu	mg/l	5	SM 4500-NH3B-F
Askıda katı Madde	mg/l	140	SM 2540 D
Fenol	mg/l	1	SM 5530 B/SM 5530 D
Kimyasal oksijen İhtiyacı	mg/l	400	SM 5220 C

Bu çalışmada, gri su ayak izi hesabı için gerekli olan ve yönetmelikten alınacak sınır değerler, C_{yasal} olarak tanımlanacaktır. Alıcı ortam konsantrasyon ifadesi ise, alıcı ortamdaki kirleticinin fiili konsantrasyonu değil, kirleticinin insani hiçbir faaliyet olmaksızın alıcı ortamda bulunabilecek doğadan gelen konsantrasyonu olarak kabul edilecektir. Yapılan hesaplamalarda; amonyum azotu, askıda katı madde, fenol ve kimyasal oksijen ihtiyacı için alıcı ortam konsantrasyon değeri sıfır olarak kabul edilmiştir. Gri su hesabında kirletici yükünü hesaplayabilmek için işletmenin atıksu arıtma tesisi çıkışındaki debinin yanı sıra ve kirleticilerin deşarj koşullarının analizine ihtiyaç duyulmaktadır. 2021 yılına ait Denim (Kot) ve Konfeksiyon Ürünleri Yıkama Tesisi Atık Su Arıtma Tesisi girişi ve çıkışında elde edilen değerler Tablo 2.3 ve 2.4’ de verilmiştir.

Tablo 2.3. İşletmenin 2021 yılında aylık olarak ölçülen tesis girişi kirletici değerleri

AYLAR	AKM (mg/L)	KOI (mg/L)
Ocak	306	509
Şubat	342	600
Mart	803	186
Nisan	795	640
Mayıs	870	845
Haziran	850	655
Temmuz	935	185
Ağustos	970	850
Eylül	900	1300
Ekim	750	1224
Kasım	685	1310
Aralık	650	1129

İşletme 2021 yılında tükettiği su miktarına bağlı olarak atıksu arıtma tesisine girmeden önce AKM ve KOI parametrelerinde ölçüm yapılmaktadır.

Tablo 2.4. İşletmenin 2021 yılında aylık olarak ölçülen tesis çıkışı kirletici değerleri

AYLAR	KOI (mg/L)	AKM /mg/L)	Amonyum Azotu (mg/L)	Fenol (mg/L)
Ocak	180	53,5	1,4	0,2
Şubat	62,4	11,6	0,02	0,14
Mart	52	12,7	0,02	0,1
Nisan	307,2	42	0,02	0,22
Mayıs	155,2	23	0,02	0,85
Haziran	167,2	35	0,02	0,1
Temmuz	67,2	16,8	0,02	0,43
Ağustos	220	43,9	0,83	0,1
Eylül	114,4	13,2	0,02	0,8
Ekim	40	10,6	1,08	0,1
Kasım	80	5,4	0,02	0,19
Aralık	40	11,16	0,16	0,2

Buna göre 2021 yılı için işletmenin atıksu arıtma tesisinden çıkan kirletici konsantrasyonları incelendiğinde, KOI Nisan ayında, AKM ve Amonyum azotu Ocak ayında ve Fenol kirleticisi ise Mayıs ayında en yüksek değerlerine ulaşmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Denim (Kot) ve Konfeksiyon Ürünleri Yıkama Tesisi” konularında faaliyet gösteren işletmenin kapıdan kapıya yaklaşımı ile belirlenen organizasyon sınırları içerisindeki faaliyetlerden kaynaklanan su girdi ve çıktıları dikkate alarak hesaplamalar yapılmıştır. Doğrudan ölçümlere dayanan bir hesaplama elde edilen birincil veriler dikkate alınmıştır.

Çalışmada, ISO 14046:2014’te tanımlanan su ayak izi metodolojisi uygulanmıştır ve bu standart temel alınarak, mavi, yeşil ve gri su ayak izi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

İşletmede ölçümleri yapılan parametreler olan KOI, AKM, Amonyum azotu ve Fenol kirleticileri çoğunlukla gri su ayak izi değerinin bakılıp yüksek sonuçların elde edildiği kirleticiler olup, bu çalışmada da tercih edilerek gri su ayak izi hesabında kullanılmıştır.

İkinci aşamada, su stres indeksi ile ağırlıklandırılmış tatlı su tüketimine karşılık gelen ile su kıtlığı ayak izi CCaLC₂ yöntemi ile hesaplanmıştır.

3.1. Su Ayak İzi Envanter Hesaplanması

3.1.1. Yeşil Su Ayak İzi Hesaplaması

Kuruluş seviyesinde yeşil su ayak izi, kuruluşun kendi operasyonlarına bağlı olarak kullandığı toplam yağmur suyu miktarını ifade etmektedir. İşletme, çatılardaki yağmur sularını 9 m³ hacme sahip tanklarda depolamaktadır. Toplanan yağmur suyu, endüstriyel ve evsel amaçla kullanmak üzere kuyu sularının toplandığı havuza aktarılmaktadır. Tablo 3.1’de İşletmenin 2021 yılında aylık olarak ölçülen yeşil su ayak izi miktarları yer almaktadır.

Tablo 3.1. İşletmenin 2021 yılında faaliyetlerinde kullandığı yağmur suyu miktarları

Aylar	Toplanan Yağmur Suyu Miktarı (m ³ /ay)
Ocak	141
Şubat	240
Mart	110
Nisan	30
Mayıs	58
Haziran	81
Temmuz	50
Ağustos	127
Eylül	135
Ekim	36
Kasım	106
Aralık	37
Toplam	1151

Tesiste toplanan yağmur suyu, mavi su ile birleştirilerek tesisin üretim sürecine dahil edilmektedir. Buna göre, işletmede kullanılan yağmur suyu, 2021 yılında 1151 m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

3.1.2. Gri Su Ayak İzi Hesaplaması

Kuruluş seviyesinde gri su ayak izi, kirliliğe yönelik bir göstergedir. Mevcut su kalitesi standartlarına dayalı olarak, kirlilik yükünün bertaraf edilmesi ya da azaltılması için kullanılan tatlı su miktarını ifade etmektedir. Gri suyu ayak izini hesaplamak için öncelikle alıcı ortama verilen kirlilik yükünü hesaplamak gerekmektedir. Kirlilik yükü hesabında, deşarj edilen atık sudaki kirleticinin konsantrasyonu ile tüketilen su debisi çarpılmaktadır. Tesis girişi Ocak ayı verileri kullanılarak AKM ve KOI parametresinin kirlilik yükü hesabı örnek olarak gösterilmiştir.

$$L = Q \times C \quad (3.1)$$

L=kirlilik yükü

Q_{alıcı ortam} = alıcı ortamın doğal su konsantrasyonu (mg/L)

C_{yasal limit} = ortam su kalite standardı (mg/L)

Tesis girişi Ocak ayı için kirletici yükü hesaplamaları;

AKM kirletici yükü

$$L=7116\text{m}^3/\text{ay} \times 306 \text{ mg/L} \times 1000\text{L}/\text{m}^3 \times 1\text{kg}/10^6 \text{ mg}= 2177,5 \text{ kg/ay}$$

KOI kirletici yükü

$$L=7116\text{m}^3/\text{ay} \times 509 \text{ mg/L} \times 1000\text{L}/\text{m}^3 \times 1\text{kg}/10^6 \text{ mg}= 3622,04 \text{ kg/ay}$$

Tesisin kirletici yüklerinin hesaplanması aylara göre Tablo 3.2’de verilmiştir. Atık su arıtma tesisine girecek olan suyun kirlilik yükleri hesaba katılarak gri su ayak izi hesaplaması yapılmıştır.

Tablo 3.2. İşletmenin 2021 yılındaki atık su giriş kirletici yükleri

AYLAR	AKM (mg/L)	KOI (mg/L)
Ocak	2177,5	3622,04
Şubat	1805,76	3168
Mart	9323,63	2159,64
Nisan	10035,28	8078,72
Mayıs	8108,4	7875,4
Haziran	12366,65	9529,6
Temmuz	9356,54	1851,3
Ağustos	13280,3	11637,35
Eylül	6552,9	9465,3
Ekim	5274,75	8608,39
Kasım	8078,2	15448,83
Aralık	8241,35	14314,6

Ocak ayı için tesis girişine ait AKM parametresinin gri su ayak izi hesaplamasının açık hesabı aşağıda verilmiştir. Her ay için yapılmış olup Tablo 3.3’de gösterilmiştir.

$$Gri \text{ su ayak izi}_{(AKM)} = \frac{2177,5 \text{ mg/l}}{(140-0)\text{mg/l} \times \text{kg}/10^6 \text{ mg} \times 1000\text{l}/\text{m}^3} = 15553,57 \text{ m}^3/\text{ay}$$

Tablo 3.3. Tesis girişı AKM parametresinin gri su ayak izi

	Debi (m ³ /ay)	AKM Konsantrasyonu (mg/L)	SKKY 'e Göre Sınır Değeri	Kirletici Yüğü (kg/ay)	Alıcı Ortam konsantrasyonu	Gri Su Ayak İzi (m ³ AKM/ ay)
Ocak	7116	306	140	2177,5	0	15553,57
Şubat	5280	342	140	1805,76	0	12898,28
Mart	11611	803	140	9323,63	0	66597,35
Nisan	12623	795	140	10035,28	0	71680,57
Mayıs	9320	870	140	8108,4	0	57917,14
Haziran	14549	850	140	12366,65	0	88333,21
Temmuz	10007	935	140	9356,54	0	66832,42
Ağustos	13691	970	140	13280,3	0	94859,28
Eylöl	7281	900	140	6552,9	0	46806,42
Ekim	7033	750	140	5274,75	0	37676,78
Kasım	11793	685	140	8078,2	0	57701,46
Aralık	12679	650	140	8241,35	0	58866,78

İşletmeden alınan 12 aylık ölçüm değerlerinin kirletici yükleri hesaplaması yapılmış, AKM parametresine ait gri su ayak izi Tablo 3.3’de verilmiştir. Bulunmuş olan sonuçlara göre AKM değerinin en yüksek olduğu ay Ağustos (94859,28 m³/ay), en az olduğu ay ise Şubat (12898,28 m³/ay) olarak belirlenmiştir.

Ocak ayı için tesis girişine ait KOI Parametresinin gri su ayak izi hesaplamasının açık hesabı aşağıda verilmiştir. Her ay için yapılmış olup Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(KOI)} = \frac{3622,04\ mg/l}{(400-0)mg/l \times kg/10^6 mg \times 1000l/m^3} = 12073,46\ m^3/ay$$

Tablo 3.4. Tesis girişı KOI parametresinin gri su ayak izi

	Debi (m ³ /ay)	KOI Konsantrasyonu (mg/L)	SKKY 'e Göre Sınır Değeri	Kirletici Yüğü (kg/ay)	Alıcı Ortam konsantrasyonu	Gri Su Ayak İzi (m ³ KOI/ ay)
Ocak	7116	509	400	3622,04	0	12073,46
Şubat	5280	600	400	3168	0	10560
Mart	11611	186	400	2159,64	0	71980,8
Nisan	12623	640	400	8078,72	0	26926,66
Mayıs	9320	845	400	7875,4	0	26251,33
Haziran	14549	655	400	9529,6	0	31765,33
Temmuz	10007	185	400	1851,3	0	6171
Ağustos	13691	850	400	11637,35	0	38791,16
Eylöl	7281	1300	400	9465,3	0	31551
Ekim	7033	1224	400	8608,39	0	21520,97
Kasım	11793	1310	400	15448,83	0	38622,07
Aralık	12679	1129	400	14314,6	0	35786,5

Giriş suyu kirletici parametrelerinden olan KOI için yapılmış olan gri su ayak izi çalışmasında edinilen sonuçlarda Tablo 3.4’de verilmiştir. Gri su ayak izinin en fazla olduğu ay Mart (71980,8 m³/ay), en az olduğu ay Şubat (10560 m³/ay) olarak belirlenmiştir.

İşletmenin üretim faaliyetlerini gerçekleştirirken arıtma tesisinin olmadığı durumda kirleticilerinin iyileştirilebilmesi ve gerekli standartlara getirilebilmesi için 2021 yılına ait veriler kullanılarak AKM ve KOI parametresine ait gri su ayak izi hesaplaması aşağıda verilmiştir.

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(AKM)} = \frac{L}{C_{yasal} - C_{alıcı\ ortam}} = \frac{94601,26\ kg/yıl}{140\ mg/L} = 675723,28\ m^3/yıl$$

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(KOI)} = \frac{L}{C_{yasal} - C_{alıcı\ ortam}} = \frac{95759,17/yıl}{400\ mg/L} = 239397,92\ m^3/yıl$$

Tablo 3.5. Tesisin 2021 yılı giriş gri su ayak izi miktarları

	AKM	KOI
Gri su ayak izi (m ³ /yıl)	675723,28	239397,92

Tablo 3.5’de gri su ayak izi sonuçları gösterilmektedir. Tesis girişi ölçüm yapılan kirleticilerden olan AKM (675723,28 m³/yıl) en fazla gri su ayak izine sebep olmaktadır. AKM’nin gri su ayak izi miktarı KOI’nin değerinden fazla olmasından dolayı seyreltilmek için gerekli tatlı su miktarı atık su girişinde 675723,28 m³/yıl olarak belirlenmiştir.

Tesis çıkışı Ocak ayı için parametre hesaplamaları;

KOI kirletici yükü

$$L=7116 \text{ m}^3/\text{ay} \times 180 \text{ mg/L} \times 1000\text{L}/\text{m}^3 \times 1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}=1280,88 \text{ kg/ay}$$

AKM kirletici yükü

$$L=7116 \text{ m}^3/\text{ay} \times 53,5 \text{ mg/L} \times 1000\text{L}/\text{m}^3 \times 1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}=380,71 \text{ kg/ay}$$

Amonyum Azotu kirletici yükü

$$L=7116 \text{ m}^3/\text{ay} \times 1,4 \text{ mg/L} \times 1000\text{L}/\text{m}^3 \times 1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}=9,96 \text{ kg/ay}$$

Fenol kirletici yükü

$$L=7116 \text{ m}^3/\text{ay} \times 0,2 \text{ mg/L} \times 1000\text{L}/\text{m}^3 \times 1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}=1,42 \text{ kg/ay}$$

Yukarıda verilen örnek hesaplama göre, tüm aylar ve belirlenen kirleticiler için hesaplama yapılmış ve 2021 yılında tesiste oluşan kirlilik yükleri Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6. İşletmede oluşan kirlilik yüklerinin aylık olarak değerleri

	KOI (kg/ay)	AKM(kg/ay)	AMONYUM AZOTU(kg/ay)	FENOL(kg/ay)
Ocak	1280,88	380,71	9,96	1,42
Şubat	329,47	61,25	0,11	0,74
Mart	603,77	147,46	0,23	1,16
Nisan	2556,77	349,56	0,17	1,83
Mayıs	1446,46	214,36	0,19	7,92
Haziran	2432,59	509,92	0,29	1,45
Temmuz	672,47	168,12	0,2	4,3
Ağustos	3012,02	601,03	11,36	1,37
Eylül	832,95	96,11	0,15	5,82
Ekim	281,32	74,55	7,6	0,7
Kasım	943,44	63,88	0,24	2,24
Aralık	507,16	141,5	2,03	2,54
Toplam	14899,30	2808,45	32,53	31,49

Ocak Ayı İçin;

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(KOI)} = \frac{1280.88\ mg/l}{(400-0)mg/l \times kg/10^6 mg \times 1000l/m^3} = 3202,2m^3/ay$$

Şubat Ayı İçin;

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(KOI)} = \frac{329.47\ mg/l}{(400-0)mg/l \times kg/10^6 mg \times 1000l/m^3} = 823,67m^3/ay$$

Tablo 3.7’de KOI parametresinin 2021 yılında aylara göre neden olduğu gri su ayak izleri verilmiştir.

Tablo 3.7. Tesis çıkışı KOI değerleri için gri su ayak izi

	Debi (m ³ /ay)	KOI Konsantrasyonu (mg/L)	SKKY 'E Göre Sınır Değeri	Kirletici Yükü (kg/ay)	Alıcı Ortam Konsantrasyonu	Gri Su Ayak İzi (m ³ KOI/ ay)
Ocak	7116	180	400	1280,88	0	3202,2
Şubat	5280	62,4	400	329,47	0	823,68
Mart	11611	52	400	603,77	0	1509,43
Nisan	12623	307,2	400	2556,77	0	6391,93
Mayıs	9320	155,2	400	1446,46	0	3616,16
Haziran	14549	167,2	400	2432,59	0	6081,48
Temmuz	10007	67,2	400	672,47	0	1681,18
Ağustos	13691	220	400	3012,02	0	7530,05
Eylül	7281	114,4	400	832,95	0	2082,37
Ekim	7033	40	400	281,32	0	703,3
Kasım	11793	80	400	943,44	0	2358,6
Aralık	12679	40	400	507,16	0	1267,9

İşletmeden alınan verilere göre aylık ölçülmüş olan ve atık su arıtma tesisi çıkışındaki deşarj değerlerine göre, 12 aylık KOI değerlerine göre gri su ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Buna göre, tesiste KOI kirleticisine bağlı olarak gri su ayak izinin en fazla olduğu ay 7530,05 m³/ay ile Ağustos ayı, gri su ayak izinin en az olduğu ay ise 703,3 m³/ay ile Ekim ayında görülmüştür.

AKM parametresi için tesisin 2021 yılı deşarj miktarları ve kirletici konsantrasyonu tespit edilerek, AKM’den kaynaklanan gri ayak izi hesaplanmıştır. Bu değerin ayrıntılı hesabı aşağıda verilmiştir.

Ocak Ayı İçin;

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(AKM)} = \frac{380.71\ mg/l}{(140-0)mg/l \times kg/10^6 mg \times 1000l/m^3} = 2719,35\ m^3/ay$$

Şubat Ayı İçin;

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(AKM)} = \frac{61.25\ mg/l}{(140-0)mg/l \times kg/10^6 mg \times 1000l/m^3} = 437\ m^3/ay$$

Tablo 3.8’de AKM parametresinin 2021 yılında aylara göre neden olduğu gri su ayak izleri verilmiştir.

Tablo 3.8. Tesis çıkışı AKM değerleri için gri su ayak izi

	Debi (m ³ /ay)	AKM Konsantrasyonu (mg/L)	SKKY 'e Göre Sınır Değeri	Kirletici Yükü (kg/ay)	Alıcı Ortam konsantrasyonu	Gri Su Ayak İzi (m ³ AKM/ ay)
Ocak	7116	53,5	140	380,71	0	2719,33
Şubat	5280	11,6	140	61,25	0	437,49
Mart	11611	12,7	140	147,46	0	1053,28
Nisan	12623	42	140	349,56	0	2496,85
Mayıs	9320	23	140	214,36	0	1531,14
Haziran	14549	35	140	509,92	0	3637,25
Temmuz	10007	16,8	140	168,12	0	1200,84
Ağustos	13691	43,9	140	601,03	0	4293,11
Eylül	7281	13,2	140	96,11	0	686,49
Ekim	7033	10,6	140	74,55	0	532,5
Kasım	11793	5,4	140	63,88	0	454,87
Aralık	12679	11,16	140	141,5	0	1010,7

AKM parametresinin gri su ayak izi hesaplamaları incelendiğinde, 4293,11 m³/ay ile en yüksek gri su ayak izine Ağustos ayında ulaşılırken, AKM den kaynaklanan en düşük gri su ayak izi 437,49 m³/ay ile Şubat ayında hesaplanmıştır. Gri su ayak izindeki bu değişkenlik yine tesise gelen ürünün özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Ocak Ayı İçin;

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(Amonyum\ Azotu)} = \frac{9.96\ mg/l}{(5-0)mg/l \times kg/10^6 mg \times 1000l/m^3} = 1992,48\ m^3/ay$$

Şubat Ayı İçin;

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(Amonyum\ Azotu)} = \frac{0.11\ mg/l}{(5-0)mg/l \times kg/10^6 mg \times 1000l/m^3} = 21,12\ m^3/ay$$

Tablo 3.9. Tesis çıkışı Amonyum azotu değerleri için gri su ayak izi

	Debi (m ³ /ay)	Amonyum Azotu Konsantrasyonu (mg/L)	Skky'e Göre Sınır Değeri	Kirletici Yükü (kg/ay)	Alıcı Ortam Konsantrasyonu	Gri Su Ayak İzi (m ³ /ay)
Ocak	7116	1,4	5	9,96	0	1992,48
Şubat	5280	0,02	5	0,11	0	21,12
Mart	11611	0,02	5	0,23	0	46,44
Nisan	12623	0,02	5	0,17	0	33,29
Mayıs	9320	0,02	5	0,19	0	37,28
Haziran	14549	0,02	5	0,29	0	58,2
Temmuz	10007	0,02	5	0,2	0	40,03
Ağustos	13691	0,83	5	11,36	0	2272,71
Eylül	7281	0,02	5	0,15	0	29,12
Ekim	7033	1,08	5	7,6	0	1519,13
Kasım	11793	0,02	5	0,24	0	47,17
Aralık	12679	0,16	5	2,03	0	405,73

Diğer bir kirletici parametresi olan ve tesiste ölçümü yapılan amonyum azotunun gri su ayak izi değeri en yüksek 2272,71 m³/ay ile ağustos ayında hesaplanırken, en düşük gri su ayak izi değeri Şubat ayında 21,12 m³/ay olarak bulunmuştur.

Ocak Ayı İçin;

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(Fenol)} = \frac{1.42\ mg/l}{(1-0)mg/l \times kg/10^6 mg \times 1000l/m^3} = 1423,2\ m^3/ay$$

Şubat Ayı İçin;

$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(Fenol)} = \frac{0.74\ mg/l}{(1-0)mg/l \times kg/10^6\ mg \times 1000l/m^3} = 739,2\ m^3/ay$$

Tablo 3.10. Tesis çıkışı Fenol parametresinin gri su ayak izi

	Debi (m ³ /ay)	Fenol konsantrasyonu (mg/L)	SKKY 'e Göre Sınır Değeri	Kirletici Yükü (kg/ay)	Alıcı Ortam Konsantrasyon u	Gri Su Ayak İzi (m ³ /ay)
Ocak	7116	0,2	1	1,42	0	1423,2
Şubat	5280	0,14	1	0,74	0	739,2
Mart	11611	0,1	1	1,16	0	1161
Nisan	12623	0,22	1	1,83	0	1831,02
Mayıs	9320	0,85	1	7,92	0	7922
Haziran	14549	0,1	1	1,45	0	1454,9
Temmuz	10007	0,43	1	4,3	0	4303,01
Ağustos	13691	0,1	1	1,37	0	1369,1
Eylül	7281	0,8	1	5,82	0	5824,8
Ekim	7033	0,1	1	0,7	0	703,3
Kasım	11793	0,19	1	2,24	0	2240,67
Aralık	12679	0,2	1	2,54	0	2535,8

Tablo 3.10’da Fenol kirletici parametresi için aylık olarak hesaplanan gri su ayak izi değerlerine bakıldığında, Mayıs ayında en yüksek 7922 m³/ay, Ekim ayında ise en düşük 703,3 m³/ay gri su ayak izi değerlerine ulaşılmıştır.

Kirletici parametrelerinin su ayak izlerinin aylara göre değişkenlik göstermesi, yıkama işlemi için tesise gelen ürünlerin işlem reçetelerinin farklı olması dolayısıyla kullanılan kimyasalların ve oranlarının değişmesi ile açıklanabilmektedir.

İşletmenin üretim sürecinde; mevcut su standartlarına dayalı olarak, su kaynağının konsantrasyonuna göre kirliliği bertaraf etmek için 2021 yılında ortaya çıkan toplam gri su ayak izi yıllık olarak da hesaplanmıştır. 2021 yılı verileri kullanılarak KOI kirletici parametresi için gri su ayak izi hesaplaması örnek olarak aşağıda gösterilmiştir.

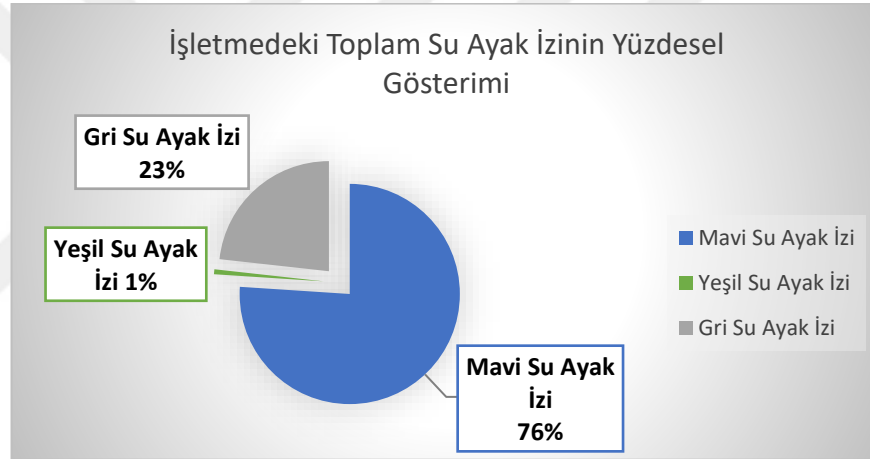
$$Gri\ su\ ayak\ izi_{(KOI)} = \frac{L}{C_{yasal} - C_{alıcı\ ortam}} = \frac{14899kg/yıl}{400\ mg/L} = 37248,25\ m^3/yıl$$

Tesiste oluşan gri su ayak izini hesaplamak için seçilen diğer kirletici parametreleri de yukarıda verilen örnekte olduğu gibi hesaplanmış ve 2021 yılında İşletmenin oluşturduğu toplam gri su ayak izi değerleri Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11. Tesisin 2021 yılı gri su ayak izi miktarları

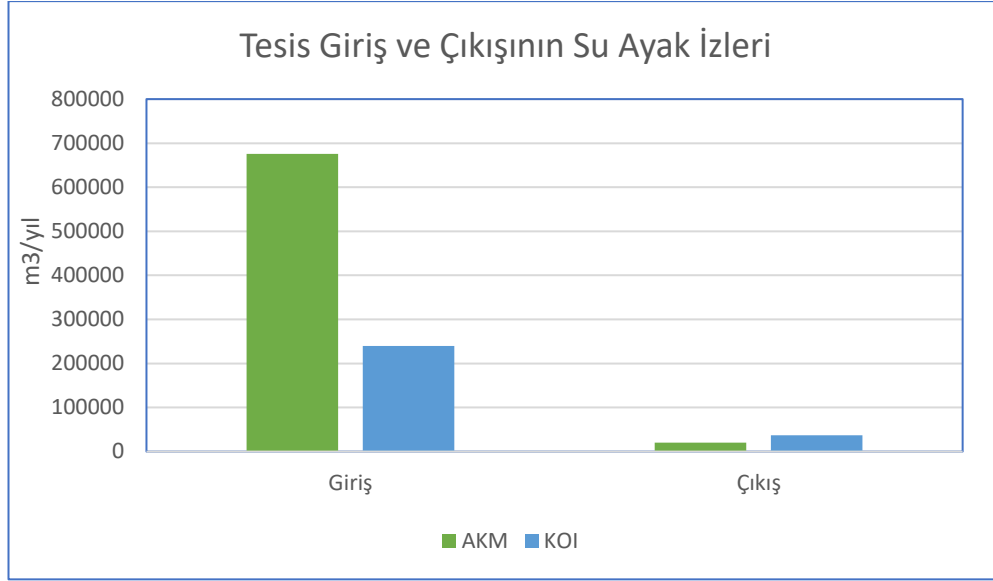
	KOI	AKM	Amonyum Azotu	Fenol
Gri su ayak izi (m ³ /yıl)	37248,25	20060	6506	31490

Tablo 3.11’de tesisin gri su ayak izi sonuçları yer almaktadır. Buna göre; tesiste en fazla gri su ayak izine neden olan kirletici KOI (37248,25 m³/yıl) en az gri su ayak izine neden olan kirleticinin ise Amonyum Azotuna (6506 m³/yıl) ait olduğu görülmüştür. KOI parametresinin su ayak izi diğer kirletici bileşenlere göre daha yüksek olduğundan, bu tesisin toplam gri su ayak izi KOI kirleticisinin su ayak izi olarak ifade edilmektedir. Yani, tesisin atık sularındaki kirletici derişiminin seyreltme yoluyla sınır değerlere düşürülmesi için gereken toplam tatlı su miktarı 37248,25 m³/yıl’dır.



Şekil 3.1. Kirletici parametrelerinin toplam su ayak izlerinin yüzdesel gösterimi

Yukarıda yapılmış hesaplamalar ve analizler sonucunda kirletici parametrelerinin Şekil 3.1’de gösterimi verilmiştir. 2021 yılına ait değerler neticesinde tesisin su tüketiminde en önemli kaynağının %76 oranında mavi su ayak izi’nden kaynaklı olduğunu görülmektedir. Gri su ayak izi ise mavi su ayak izinden sonra gelerek tesisin ikinci büyük su tüketimini sağlamaktadır. Tesisin su kullanımının en az payı alan ise yeşil su ayak izi olarak yağmur suyu gelmektedir oda grafikte %1’lik bir alan kaplamaktadır.



Şekil 3.2. Tesis giriş ve çıkışındaki kirletici parametrelerinin gri su ayak izleri

Kirleticiler atık su arıtma tesisine girmeden önce KOI ve AKM parametrelerinde ölçümler yapılmaktadır. Yapılan ölçümlerin gri su ayak izleri hesaplanmış olup grafikte karşılaştırılmıştır. Şekil 3.2’de gösterildiği gibi tesisin en büyük kirletici parametresi tesis girişinde AKM parametresinde etkilidir. Tesis çıkışında KOI konsantrasyonu AKM’ye göre daha fazla olduğundan gri su ayak izi KOI kirletici parametresinden kaynaklanmaktadır.

Literatür çalışmalarında tesisimizin işletme prensibi ile uyumluluk gösteren bir çalışma yapılmamış olmasından dolayı benzerlik gösteren pamuklu ürün üretimi yapan Pakistan da bir eyalete ait su ayak izi hesaplamaları Naqvi et al. (2018) tarafından yürütülmüştür. Mavi su ayak izi 1898 m³/ton olarak belirlenmiştir. Yeşil su ayak izi 1122 m³/ton, gri su ayak izi ise 709 m³/ton olarak kayıt edilmiştir. Bu değerler yürütmüş olduğumuz çalışmada mavi su ayak izi 121832 m³/yıl, yeşil su ayak izi 1151 m³/yıl, 37248,25 m³/yıl olarak bulunmuştur. Çalışmanın bir diğer kısmında pamuklu ürünler haricinde de su ayak izi hesaplamaları yürütülmüştür. Üretimin gerçekleştirildiği proseslerin bütününe bakıldığında 169 m³/ton olarak rapor edilmiştir. Bu tesise ait bulgular ve yöntem çalışması Mekonnen ve Hoekstra (2011) tarafından yönetilmiştir. Ürün işleme işlemi tamamlandıktan sonra prosesten çıkan ürünlerin su ayak izi veri çalışması tamamlanmış olup sırasıyla mavi su ayak izi 4650m³/ton, yeşil su ayak izi 2646 m³/ton, gri su ayak izi ise 1979 m³/ton olarak belirlenmiştir (Dal, 2020). Bu değerlerin kot yıkama tesisimizin değerlerine oranlandığında üretim faaliyetlerinin çok yönlü olmasından dolayı yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Değerlendirmeler yapıldığında tesisin içinde bulunan proseslerin ve iş yüklerinin su ayak izi miktarlarına etkilerinin olduğunu ve tesisin içinde kullanılan evsel nitelikteki sularında çalışan sayısına ve çalışma sürelerine bağlı olmasından dolayı benzerliklerinin kıyaslanması da zordur. Bir başka örnek olarak kurumsal su ayak izi hesaplamalarında Özbekistan’da bulunan bir tekstil fabrikasının su ayak izi raporlaması için Rudenko et al. (2013) çalışmalar yapmışlardır. Toplam su ayak izi değerlendirilmesi 6819 m³/ton olarak raporlanmıştır. Bir tişörtün su ayak izini için çalışmalar yapılmıştır. 2865 m³/ton olarak belirlenmiştir (Dal, 2020).

3.2. Su Kıtlığı Ayak İzi Hesabı

Çalışmada, su kıtlığı su ayak izinin hesaplanmasında CCaLC₂ yazılımı kullanılmıştır. Su kullanımı, mavi ve yeşil sudan oluşan bir tedarik zincirinde tüketilen tüm suyun toplamını temsil eder. Yeşil su ise üretimde kullanılan yağmur suyu miktarına eşittir.

Tesisin yıllık doğrudan su kıtlığı ayak izi (m³ H₂O-eq olarak ifade edilmiştir), yıllık tatlı su tüketimi ile tesis lokasyonunda ki su kıtlığının bir göstergesi olan yerel bir karakteristik faktör çarpılarak hesaplanmıştır. Pfister (Pfister, Koehler, 2009) tarafından önerilen yöntemle göre su çekme-mevcudiyet oranına dayanan su stresi indeksi (WSI) bu çalışmada yerel bir karakteristik faktör olarak kullanılmıştır. Yazılımda, Türkiye için su stres indeksi 0,779 olarak tanımlanmıştır. Her ay için hesaplanan gri su ayak izinin programdan ekran görüntüsü Şekil 3.3’de verilmiştir.

Functional unit: kot endüstrisi 2024131 kg											
Total water usage:					7116		m ³ water / f.u.				
Total water footprint (stress-weighted):					5434		m ³ water eq. / f.u.				
Data set	Stage	Amount / f.u.	Blue water	Green water	Total water	Blue water (m ³ /f.u.)	Green water (m ³ /f.u.)	Total water (m ³ /f.u.)	Country of impact	Water stress index	Water footprint (stress weighted) (m ³ eq./f.u.)
Process Water	Use	N/A	N/A	N/A	N/A	6975	141	7116	Turkey	0,779	5434
Total:						6975	141	7116			5434

Şekil 3.3. Ocak ayının CCaLC₂ yazılımı ile stres ağırlıklı su ayak izinin hesaplaması

2021 yılında her ay için bu yazılımda stres ağırlıklı su ayak izleri hesaplanmıştır ve aşağıda tablo 3.12’de hesaplanan değerler verilmiştir.

Tablo 3.12. Aylara göre CCaLC₂ yazılımı ile stres ağırlıklı su ayak izinin hesaplaması

Aylar	Stres Ağırlıklı Su Ayak İzi (m ³ \ay)
Ocak	5434
Şubat	3926
Mart	8959
Nisan	9810
Mayıs	71900
Haziran	11300
Temmuz	7757
Ağustos	10600
Eylül	5567
Ekim	5217
Kasım	9104
Aralık	9848
Toplam	159422

İşletmede su tüketimi 2021 yılında 122983 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre, CCaLC₂ yazılımı üzerinden su kısıtlığı ayak izi hesaplanmış ve ekran görüntüsü Şekil 3.4 ve 3.5’de verilmiştir.

The screenshot shows the CCaLC2 software interface. On the left, a dialog box titled 'Define water usage for data set' is open. It contains the following fields and options:

- Name:** Process Water
- Stage:** Use
- Define country data:**
 - Country: Turkey (selected from a dropdown)
 - Water stress index: 0,779
- Define your own data or select an approximation from the CCaLC database:**
 - ☒ Define data
 - ☐ Select from CCaLC waster use database
- Define data:**
 - Blue water (m³/f.u.): 121832
 - Green water (m³/f.u.): 1151
 - Total water (m³/f.u.): 1,23E+5
- Buttons:** Update, Exit

On the right, the main window displays the results for 'Denim Industry 2024131 kg':

- 0.00 m³ water / f.u.
- 0.00 m³ water eq. / f.u.

Below this, a table summarizes the water footprint data:

Blue water	Total water	Blue water (m ³ /f.u.)	Green water (m ³ /f.u.)	Total water (m ³ /f.u.)	Country of impact	Water stress index	Water footprint (stress weighted) (m ³ eq./f.u.)
Total:					0.00	0.00	0.00
Total:					0.00	0.00	0.00

Şekil 3.4. CCaLC₂ yazılımında su kullanımının tanımlanması

CCaLC2

FileCase studiesImport DataExport DataSummary DataComparisonHelp

Back to top level

Define water data

View graph

Functional unit: Denim Industry 2024131 kg

Total water usage:1.23E+5m³ water / f.u.

Total water footprint (stress-weighted):9.49E+4m³ water eq. / f.u.

Data set	Stage	Amount / f.u.	Blue water	Green water	Total water	Blue water (m³/f.u.)	Green water (m³/f.u.)	Total water (m³/f.u.)	Country of impact	Water stress index	Water footprint (stress weighted) (m³ eq. /f.u.)
Process Water	Use	N/A	N/A	N/A	N/A	1,22E+5	1151	1,23E+5	Turkey	0,779	9,49E+4
					Total:	1,22E+5	1151	1,23E+5			Total: 9,49E+4

Şekil 3.5. CCaLC₂ yazılımında toplam su ayak izinin hesaplanması

Buna göre, yılda 2024131 kg ürün yıkanan tesiste CCaLC₂ yazılımı kullanılarak hesaplanan su kıtlığı ayak izi 94900 m³ olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, su kıtlığı ayak izi toplam mavi su ayak izinin yaklaşık %77.15'ini oluşturmaktadır.

4. SONUÇLAR

Son yıllarda, tekstilde su sorunları tüm dünyada, özellikle gelişmekte olan ülkelerde giderek daha kritik hale gelmektedir. Bu sebeple, Su ayak izi değerlendirmesi (WFA) gibi metodolojiler ve analitik araçlar, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi için giderek daha önemli hale gelmiştir. Bu çalışma, Denim (Kot) ve Konfeksiyon Ürünleri Yıkama Tesis konularında faaliyet gösteren bir firma için kapsamlı bir su ayak izi envanter analizi ve değerlendirmesini sunmaktadır.

Çalışmada, Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) 14046:2014 tarafından atıfta bulunulan Hoekstra ve arkadaşlarının tarafından ortaya konulan hesaplama yöntemi ve Manchester Üniversitesi'nde Pfister ve arkadaşları tarafından geliştirilen CCaLC₂ LCA yazılımı kullanılmıştır. Bu iki küresel su ayak izi değerlendirmesi, denim yıkama tesisinin şirketinin organizasyonel düzeyinde su ayak izlerini incelemek için uygulanmıştır. Operasyonel (veya doğrudan) su ayak izi, bir kuruluşun doğrudan operasyonları kapsamındaki faaliyetlerinden kaynaklanan tüketilen tatlı su (mavi WF ve yeşil WF) ve/veya kirli (gri WF) hacmidir. Her iki hesaplama yönteminde, amaç, kapsam, sistem sınırı ve su kullanım aktiviteleri belirlenirken; ISO 14046, suyla ilgili girdilerin ve çıktıların toplanması ve gri su ayak izinin hesaplanmasını, CCaLC₂ yazılımı ise stress ağırlıklı su ayak izinin hesaplanmasını içerir.

Bu çalışmada kullanılan su kullanım dataları, tesisin 2021 yılı yılına ait su sayacı ve mevcut tesis verilerinden temin edilmiştir. Hem ISO metodolojisi hem de CCaLC₂ yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar organizasyon düzeyinde incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Tesiste mavi su ayak izi; evsel ve endüstriyel olmak üzere proseslerde, içme suyu, lavabo, mutfak, tesis ve ekipman temizliğinde gerçekleşmektedir. Bu işletmede su tüketimi 2021 yılında 122983m³/yıl olarak bu hesaplanmıştır ve su tüketimi en fazla endüstriyel işlemlerden kaynaklanmaktadır.
- Tesiste bulunan 9 m³ hacme sahip tanklarda toplanan yağmur suyu, endüstriyel ve evsel amaçla kullanmak üzere kuyu sularının toplandığı havuza aktarılmaktadır. Üretim sürecinde, işletmede kullanılan yağmur suyu, 2021 yılında 1151m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

- Gri suyu ayak izini hesaplamak için öncelikle tesiste oluşan ve alıcı ortama verilen kirletici parametrelerinin kirlilik yükünü hesaplanmıştır. İşletmede ölçümleri yapılan parametreler olan KOI, AKM, Amonyum azotu ve Fenol kirleticileri gri su ayak izi hesabında kullanılmıştır. İşletmeden alınan verilere göre aylık ölçülmüş olan ve atık su arıtma tesisi çıkışındaki deşarj değerlerine göre, aylık KOI, AKM, Amonyum azotu ve fenol değerlerine göre gri su ayak izi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Tesiste oluşan ve atık su arıtma tesisine verilmeden önce ölçülen kirletici parametrelerin 2021 yılında neden olduğu gri su değerleri KOI ve AKM için sırasıyla 239397,92 m³/yıl, 675723,28 m³/yıl' dır. AKM'nin kirletici yükünün fazla çıkmasının sebebi atık suyun arıtma girmemesidir. Tesis girişinde gri su ayak izinin ana kaynağı AKM olarak belirlenmiştir. Tesiste oluşan ve atık su arıtma tesisinden çıkarak alıcı ortama verilen kirletici parametrelerinin 2021 yılında neden olduğu gri su ayak izi değerleri, KOI, AKM, Amonyum azotu ve fenol için sırasıyla 37248,25 ,20060,36, 6506,00 ve 31490,00 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. KOI kirletici parametresinin su ayak izi diğer kirletici bileşenlere göre daha yüksek olduğundan, bu tesisin toplam gri su ayak izi 37248,25 m³/yıl'dır. Bu değer, kirli su hacmi olmayıp, kirletici yükünü özümsemek için gereken tatlı su hacmi cinsinden ifade edilerek su kirliliğinin yoğunluğunu ifade etmektedir. Yani doğal ortamın özellikle KOI olmak üzere atık su tesislerinden yapılan deşarjlardan oldukça etkilendiğini göstermiştir.
- Çalışmanın ikinci aşamasında su kıtlığı ayak izi CCaLC₂ yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Su kıtlığı karakteristik faktörü olarak su stresi indeksi (WSI) kullanılmıştır. İşletmede toplam su tüketimi 122983 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre, 2021 yılında 2024131 kg ürün yıkanan tesiste su kıtlığı ayak izi 94900 m³ olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak, bu çalışma, kot ürünleri yıkama tesisinin 2021 yılındaki su tüketim verilerini kullanarak küresel standart merceğinden su ayak izini inceleyen kapsamlı bir çalışma örneği sunmaktadır. Günümüzde, özellikle tekstil sektörü gibi su sarfiyatının fazla olduğu alanlarda, su ayak izinin hesaplanması; su verimliliğini ve su kalitesini artırmak için yenilikçi bir araç olarak nitelendirilebilmektedir. Hükümetlerin, endüstrilerin ve tüketicilerin, çevresel performansın iyileştirilmesi için düzenlemeler ve politikalar edinilebilmesi ve ayrıca su yoğun yatırımları göz önünde bulundurarak

daha iyi bilgiye dayalı kararlar alınmasında su ayak izinin bilinmesi önem teşkil etmektedir.



KAYNAKLAR

- Akdemir, E. (2010). *Deniz suyundan tatlı su üretiminin teknik ve ekonomik etüdü*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Akın, M. ve Akın, G. (2007). Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*. 47 (2). 105-118.
- Akkaya C. (2006). “Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifinin Türkiye’de Uygulama Olanakları”. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, TMMOB, Ankara.
- Akkuzu, G. P. (2008). Küresel su krizi ve su hasadı teknikleri. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 5 (2). 75-85.
- Atçı, E. B. (2019). *Dünya genelinde su kaynaklarının durumu*. Erişim: 11 Kasım 2022, <https://www.artemisaritim.com/dunya-genelinde-su-kaynaklarinin-durumu>
- Bakanlığı, T. C. (2019). *Ulusal Su Planı*. Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı.
- Batu, V. (2008). Yeraltı suyu hidroliği: Darcy ve Fick’den bu yana geçen süre içinde yapılan çalışmalara genel bakış. *Su Vakfı Dergisi*. 1 (1). 1-7.
- Bharti, N. and Katyal, D. (2011). Water quality indices used for surface water vulnerability. *International Journal of Environmental Sciences*. 2 (1). 154-173.
- Budak, Ç. (2014). Endüstrilerde temiz üretim ve su minimizasyonu yaklaşımları AB ve Türkiye’de temiz üretim uygulamaları: tekstil endüstrisi örneği. Uzmanlık Tezi. Ankara: T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Can, M., Ethemoglu, A.B., Avcı, A. (2002). Deniz suyundan tatlı su eldesinin teknik ve ekonomik analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 7 (1). 147-159.
- CCaLC₂. (2022). *The university of Manchester, 2022 CCaLC₂* Retrieved: Desember, 5 , 2022 from www.ccalc.org.uk/
- Clawson, M. and Landsberg, H. H. (1972). *Desalting seawater achievements and prospects*. New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- Çapar, G. ve Yetiş, Ü. (2018). Sanayide su verimliliğinin ülkemizdeki durumu. *Anahtar Dergisi*. 19-29.
- Dal, A. (2020). *Entegre bir tekstil baskı-boyama işletmesinde su ve karbon ayak izlerinin belirlenmesi*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta.
- Demirer, G. ve Alkaya, E. (2018). *Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Rehberi*. WWF, s. 14-15.
- DSİ. (2019). *Toprak su kaynakları*. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. Erişim: 16 Kasım 2022, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>
- FAO. (2007). *Coping with water scarcity - Challenge of the twenty-first century*. Retrieved: January, 28, 2023 from <https://www.fao.org/3/aq444e/aq444e.pdf>
- Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y. and Van der meen, T.H. (2009). The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Journal of Ecological Economics*. 68 (4). 1052-1060.
- Goudie, A. (2006). Global warming and fluvial geomorphology. *Geomorphology*. 79 (3-4). 384-394.

- Gökçe, N. (2022). Küresel su stresi ve ölçüm yöntemleri. *Bulletin of Economic Theory and Analysis*. 7 (1). 189-208.
- Güler, B.A. (1999). *Su hizmetleri yönetimi*. İstanbul: Todaie.
- Gür, H. (2020). *Su döngüsü algoritması ile pıd ve kayan kipli kontrol parametrelerinin optimizasyonu*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. İskenderun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İskenderun.
- Gürel, Ç. ve Çobanoğlu, Z. (1997). *Su kalitesi çevre sağlığı temel kaynak dizisi*. No: 43. Ankara.
- Gürsakaç, H. (2007). *İçme suyu arıtma tesisleri yapımında proje yönetimi*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Hacı, M. (2003). *Deniz suyu kalitesi izleme bilgi sistemi*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Hakyemez, C. (2019). *Su: Yeni elmas*. İstanbul: Türkiye Sınai Kalkınma Bankası. s. 13-14.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011). *The water footprint assessment manual*. Washington: Earthscan.
- Kocataş, A. (1986). *Osenoloji*. İstanbul.
- Maddocks, A., Young, R.B, Reig, P. (2015, August). Climate. Retrieved: January 26, 2023, from <https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040>
- Muluk, Ç.B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M.A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G. ve Zeydanlı, U. (2013). *Türkiye’de suyun durumu ve su yönetiminde yeni yaklaşımlar: Çevresel perspektif*. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği-Doğa Koruma Merkezi.
- Ozmehmet, E. (2008). Dünyada ve Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma. *Yaşar Üniversitesi Dergisi*. 3 (12). 1-20.
- Ozturk, E., Yetiş, Ü., Dilek, F.B. ve Demirel, G.N. (2009). A chemical substitution study for a wet processing textile mill in Turkey. *Journal of Cleaner Production*. 1 (17). 239–247.
- Pegram, G., Conyngham, S., Aksoy, A., Dıvrak, B.B. ve Öztok, D. (2014). *Türkiye’nin su ayakizi raporu su üretim ve uluslararası ticaret ilişkisi*. Erişim: 19 Kasım 2022, http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/su_ayak_izi_raporweb.pdf
- Pfister, S., Koehler, A., Hellweg, S. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environ. Sci. Technol.* 2009 (43). 4098–4104
- Rende, M. (2007). *Türkiye’nin su politikası. Dünyanın hızla artan su ihtiyacına çözüm arayışları: Dünya üçüncü su forumu ve bakanlar konferansı*. Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı. Erişim: 14 Kasım 2022, https://www.mfa.gov.tr/dunyanin-hizla-artan-su-ihtiyacina-cozum-arayislari_-dunya-ucuncu-su-forumu-ve-bakanlar-konferansi.tr.mfa
- Ridoutt, B.G., Hadjikakou, M., Nolan, M., Bryan, B. (2018). From water-use to water-scarcity footprinting in environmentally extended input-output analysis. *Environ Sci Technol.* 52(12). 6761–6770
- Ridoutt B.G., Pfister S. A (2010). Revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *Global Environ Chang* (20). 113–120.

- Rize İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, (t.y.). *Deli Göl*. Erişim: 12 Kasım 2022, <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/rize/gezilecekyer/deli-gol>
- Smedley, T. (2017). *Dünyada tatlı su kaynakları tükeniyor mu?* Erişim: 11 Kasım 2022, <https://www.bbc.com/turkce/vert-fut-39646356>
- Spiegler, K. (1977). *Salt water purification*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- TÇV. (2003). Türkiye'nin çevre sorunları. *Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını*. No:163 s. 115. Ankara.
- Tuğaç, Ç. (2014). İklim güvenliği açısından su kaynaklarının yönetimi. *Çağdaş Yerel Yönetimler*. 23 (3). 1-30.
- Turan, E. ve Bayrakdar, E. (2020). Türkiye'nin su yönetim politikaları: ulusal güvenlik açısından bir değerlendirme. *Uluslararası Araştırma Politik Dergisi*. 6 (2). 1-19.
- TÜİK. (2019). *Sektörel su ve atıksu istatistikleri*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu. Erişim: 16 Kasım 2022, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sektorel-Su-ve-Atıksu-Istatistikleri-2018-30673>
- TÜİK. (2021). *Su ve atıksu istatistikleri 2020*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu. Erişim: 17 Kasım 2022, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atıksu-Istatistikleri-2020-37197>
- Uyduranoğlu Öktem, A. ve Aksoy, A. (2014). *Türkiyenin su riskleri raporu*. Erişim: 27 Ocak 2023 http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/turkiyenin_su_riskleri__raporu_web.pdf
- Wang, Q., Li, P.J., Qi, C. and Ding, F., (2013). A review of surface water quality models. *Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal*. 2013 (1). 1-7.
- WFN. (2022). *What is water footprint assessment*. Retrieved: November 22, 2022, from <https://waterfootprint.org/en/water-footprint/water-footprint-assessment/>
- Wikipedia. (2022). *Acı su nedir?* Erişim: 11 Kasım 2022, https://tr.wikipedia.org/wiki/Ac%C4%B1_su
- Wikipedia. (t.y.). *Akifer nedir*. Erişim: 11 Kasım 2022, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Akifer>
- WWF. (2011). *Suyun akılcı kullanımına yönelik eğitim kitapçığı*. Erişim: 28 Ocak 2023, <https://www.yumpu.com/tr/document/read/51984767/suyun-akalca-kullanamana-yanelik-eaitim-kitapaaaa-ka-1-4-re-daalara-milli->
- Yano, S., Hanasaki, N., Itsubo, N., Oki, T., (2015). Water scarcity footprints by considering the differences in water resources. *Sustainability*. 2015 (7). 9753–9772.
- Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği. (2012). *Yerüstü su kalitesi yönetmeliği*. Erişim: 13 Kasım 2022, [https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16806&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5#:~:text=b\)%20\(De%C4%9Fi%C5%9Fik%20ibare%3ARG,%C5%9Fekilde%20al%C4%B1c%C4%B1%20su%20ortam%C4%B1na%20b%C4%B1rak%C4%B1lamaz.](https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16806&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5#:~:text=b)%20(De%C4%9Fi%C5%9Fik%20ibare%3ARG,%C5%9Fekilde%20al%C4%B1c%C4%B1%20su%20ortam%C4%B1na%20b%C4%B1rak%C4%B1lamaz.)
- Yıkılmaz, R. F. (2011). Sürdürülebilir kalkınmanın ölçülmesi ve Türkiye için yöntem geliştirilmesi. T.C Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Sosyal Sektörler ve Kordinasyon Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, Yayın No:2820
- Yıldız Turan, G. (2014). *Tekstil sektörü su sorunu ve su ihtiyacı*. Erişim: 18 Kasım 2022, <https://slideplayer.biz.tr/slide/2284190/>
- Zhao, X., Li, Y., Yang, H., Liu, W., Tillotson, M., Guan, D., Y, Yi., H, Wang., (2018). Measuring scarce water saving from interregional virtual water flows in China. *Environ Res Lett*. 2018(13). 1-8.

EKLER

Ek 1: Tesise Ait Resim ve Fotoğraflar



Resim 1. Tesisin Dış Görünüşü



Resim 2. Atıksu Arıtma Tesisi



Resim 3. Tesisin İç Görünüşü (Üretim Sahası)



Resim 4. Tesisin İç Görünüşü (Üretim Sahası)



Resim 5. Ters osmoz sistemi



Resim 6. Ters osmoz sistemi

ÖZ GEÇMİŞ

Ekin TEMİZ, Ordu Fatih Anadolu Lisesi’ni bitirdikten sonra Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, çevre mühendisliği bölümünden 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında OMÜ LEE Çevre Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans programını girdi, 2023 yılında bitirdi. İyi derecede İngilizce bilmektedir. (03.01.2023).

İletişim Bilgileri

ORCID NO: 0000-0002-4774-1346

Yayımlanmış Çalışmalar:

1. Temiz, E. 2022. “Tekstil Sektöründe Su Ayak İzi ve Azaltma Yolları”, V. *Ulusal Mühendislikte Bilimsel ve Mesleki Çalışmaları Kongresi*, Türkiye, 16-18 Aralık 2022, s.