

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SU POLİTİKALARI VE GÜVENLİĞİ
ANABİLİM DALI**

ANKARA'NIN KENTSEL ATIK SULARININ GRİ SU AYAK İZİ

Yüksek Lisans Tezi

Tuğba KUTLU

Ankara, 2022

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SU POLİTİKALARI VE GÜVENLİĞİ
ANABİLİM DALI**

ANKARA’NIN KENTSEL ATIK SULARININ GRİ SU AYAK İZİ

Yüksek Lisans Tezi

Tuğba KUTLU

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Gökşen ÇAPAR

Ankara, 2022

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SU POLİTİKALARI VE GÜVENLİĞİ
ANABİLİM DALI**

ANKARA’NIN KENTSEL ATIK SULARININ GRİ SU AYAK İZİ

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Gökşen ÇAPAR

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ

Adı ve Soyadı

İmzası

1- Prof. Dr. Nilsun DEMİR

2- Prof. Dr. Nuray ATEŞ

3- Doç. Dr. Gökşen ÇAPAR

Tarih

25.01.2022

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Doç. Dr. Gökşen ÇAPAR danışmanlığında hazırladığım “Ankara'nın Kentsel Atık Sularının Gri Su Ayak İzi (Ankara, 2022)” adlı yüksek lisans tezimdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

Tarih:25.01.2022

Tuğba KUTLU

ÖNSÖZ

Öncelikle tez danışmanım Doç. Dr. Gökşen ÇAPAR'a çalışmamın her bir aşamasında yaptığı yardımları, sunmuş olduğu rehberliği, katkısı ve özverisi için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda gerekli verilerin sağlanması konusunda ve vermiş oldukları destekten dolayı başta Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı Kimya Laboratuvarı olmak üzere çalıştığım kurum olan T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmamda kullanmış olduğum verilerin temininde bana yol gösteren ASKİ Genel Müdürlüğü'ne de teşekkür ederim.

Değerli arkadaşım Hazal AYDOĞDU KAYADELEN'e çalışmalarım süresince yapmış olduğu yardımı, sağladığı manevi destek ve motivasyonu için teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu çalışmamda da daima yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak çalışmalarım boyunca desteğini hissettiğim tüm dostlarıma en derin duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Ankara'ya Genel Bakış	1
1.2. Ankara'nın Su Kaynakları.....	3
1.3. Kentsel Atık Sular ve Arıtım.....	5
1.4. Su Ayak İzi Kavramı.....	11
1.4.1. Su Ayak İzinin Bileşenleri	13
Mavi su ayak izi.....	13
Yeşil su ayak izi.....	14
Gri su ayak izi.....	14
1.4.2. Doğrudan ve Dolaylı Su Ayak İzi.....	14
1.4.3. Sanal Su Kavramı.....	15
1.4.4. Gri Su Ayak İzi Hesaplaması.....	16
1.5. Tezin Amacı ve Önemi	17
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	20
2.1. Uluslararası Çalışmalar	20

2.2. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar	24
3. YÖNTEM	32
3.1. Çalışma Alanı.....	32
3.2. Gri Su Ayak izi Hesaplama Yöntemi.....	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
4.1. Seçilen Parametreler İçin Gri Su Ayak İzi Değerleri.....	38
4.2. Arıtma Tesisinin Gri Su Ayak İzini Azaltma Etkisi.....	48
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKÇA.....	56
ÖZET	61
SUMMARY	62
EK A-HAM VERİLER	63

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Ankara Çayı alt havzasında bulunan endüstriyel tesisler (SYGM, 2013).....	7
Tablo 2. Ankara'daki OSB, serbest bölgeler ve sanayi sitelerinde AAT durumu (ÇŞİDB, 2020).....	8
Tablo 3. Ankara Merkezi AAT giriş debisi ve tesis girişi KOİ verileri	34
Tablo 4. Ankara Merkezi AAT kirleticilerin tesis giriş ve çıkış verileri.....	35
Tablo 5. Ankara Çayı ve AAT için debi değerleri	38
Tablo 6. KOİ, Toplam Azot, Toplam Fosfor ve Amonyum AAT çıkış değerleri.....	39
Tablo 7. Ankara Çayı SAGİN026 kodlu istasyonun kalite durumu (DSİ, 2019).....	40
Tablo 8. YERÜSTÜ SU KALİTESİ YÖNETMELİĞİ" Ek 5 Tablo 2'ye göre kalite kriterleri	40
Tablo 9. Seçilen parametreler için ÇKS Değerleri (Cmax).....	40
Tablo 10. Kirletici yükünün (L) parametreler için hesaplanmış değerleri	41
Tablo 11. Seçilen parametreler için Cmax ve Cnat değerleri ile bunların farkı.....	42
Tablo 12. Seçilen parametrelere ait gri su ayak izi değerleri (m ³ /gün)	42
Tablo 13. Seçilen parametrelerin gri su ayak izi değerleri (Mm ³ /gün)	43
Tablo 14. KOİ parametresi için aylık gri su ayak izi	44
Tablo 15. AAT giriş değerleri	45
Tablo 16. Seçilen parametreler için tesis girişi kirletici yükü (L) değerleri.....	46
Tablo 17. Amonyum, Toplam Fosfor ve Toplam Azot için Cmax ve Cnat farkı	46
Tablo 18. Tesis girişi seçilen parametrelerin gri su ayak izi değerleri (m ³ /gün)	47
Tablo 19. Tesis girişi seçilen parametrelerin gri su ayak izi değerleri (Mm ³ /gün).....	47
Tablo 20. Tesis girişi KOİ değerleri için gri su ayak izi	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Türkiye'nin illeri ve Ankara haritası.....	2
Şekil 2. Alt havzalara göre atık sularda besi maddesi giderim oranları (SYGM, 2013)...	6
Şekil 3. Ankara Merkezi AAT genel vaziyet planı (ASKİ, 2021)	9
Şekil 4. Ankara Merkezi AAT akım şeması (ASKİ, 2021).....	10
Şekil 5. Ankara ASKİ Tatlar AAT deşarjı-Ankara Çayı (SYGM, 2013).....	11
Şekil 6. Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi (ASKİ, 2021).....	11
Şekil 7. Su ayak izi değerlendirmesinin dört aşaması (WFN, 2021).....	13
Şekil 8. Çalışma alanının görüntüsü.....	33
Şekil 9. Ankara AAT aylık ortalama debi değerleri (2005-2014).....	36
Şekil 10. Nehir debisi ile seçilen parametrelerin gri su ayak izi kıyaslaması	49
Şekil 11. Seçilen parametrelerin AAT giriş ve çıkışındaki gri su ayak izi değerleri	50
Şekil 12. Seçilen parametrelerin 2020 yılı Ankara Merkezi AAT giriş çıkış değerleri .	51

KISALTMALAR

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
ASKİ	: Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
ÇKS	: Çevresel Kalite Standartları
ÇŞİDB	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EN	: Eşdeğer Nüfus
FAO	: Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LCA	: Life Cycle Assessment (Yaşam Döngüsü Analizi)
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
SYGM	: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WF	: Water Footprint (Su Ayak İzi)
WF gray	: Gray Water Footprint (Gri Su Ayak İzi)
WWF	: World Wide Fund for Nature (Dünya Doğayı Koruma Vakfı)
WFN	: Water Footprint Network (Su Ayak İzi Ağı)

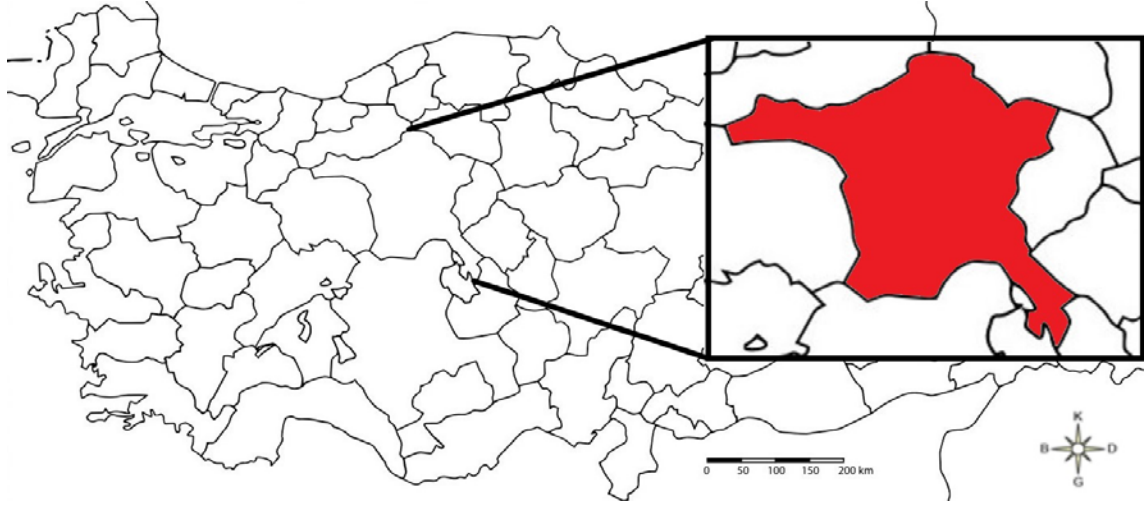
1. GİRİŞ

Tüm canlılar için hayati bir öneme sahip olan suyun ikamesi mümkün değildir. Artan nüfus, üretim ve tüketim, plansız kentleşme, bilinçsiz ve hatalı kullanım, iklim değişikliği, sıcaklık artışı, taşkın ve kuraklığın olumsuz etkilerinden dolayı su kaynaklarının arzında azalmaya karşın talebinde artış söz konusudur (Öztaş ve Çelikyay, 2018). Tez çalışması kapsamında kentsel atıksuların alıcı ortamlarda neden olduğu kirlenmeyi ortaya koyabilmek için su ayak izi kavramından yararlanılmıştır. Bunun için, Ankara ili örnek olarak seçilmiş, kentsel atıksuların tabi olduğu arıtma sonrasında Ankara Çayı'na deşarj edilen arıtılmış atıksuların kirletici yükünü tespit etmek amacıyla gri su ayak izi hesaplanmıştır.

Gri su ayak izi; belirli bir su kalite standardına göre su kaynağı içerisine çeşitli yollarla aktarılan kirletici yükün alıcı ortamda asimile edilmesi için gerekli olan tatlı su hacmini ifade etmektedir. Tezin ilerleyen bölümlerinde detaylı bilgiler sunulmuştur.

1.1. Ankara'ya Genel Bakış

Ankara, İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında, 39 ve 57' kuzey enlemi ve 32 ve 53' doğu boylamı arasında bulunmaktadır. Doğusunda Kırıkkale, kuzeydoğusunda Çankırı, kuzeybatısında Bolu, batısında Eskişehir, güneyinde Konya, güneydoğusunda Kırşehir ve Aksaray ile komşudur. Şekil 1. de Ankara'yı gösteren Türkiye haritası verilmiştir.



Şekil 1. Türkiye'nin illeri ve Ankara haritası

Karasal iklimin hakim olduğu şehirde genellikle step-bozkır (güney kesimde) görülürken, kuzey kesimde karadeniz iklimi görülmekte, yaz mevsimi sıcak, kış ise sıcaklıkların düşük olmasından ötürü soğuk geçmektedir. (Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2013).

Ankara'nın da içerisinde bulunduğu, Anadolu Yarımadası'nın kuzeybatısında yer alan Sakarya Nehri Havzasının, batısında Susurluk, güneyinde Akarçay ve Konya Kapalı Havzaları, doğusunda Kızılırmak ve Batı Karadeniz Havzaları bulunmaktadır. Havzada Ankara, Eskişehir, Konya, Sakarya, Bolu, Kütahya, Bilecik, Afyonkarahisar, Bursa, Kocaeli, Düzce, Çankırı ve Uşak illeri yer almaktadır. Ankara'nın merkezi ile diğer bazı büyük ilçeleri havza içerisinde yer almaktadır.

Türkiye'nin en kalabalık ikinci ili olan Ankara, her geçen gün hızlı kentleşme, nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak büyüyüp kirlenmekte ve üzerindeki baskı da giderek artmaktadır. Özellikle su kaynaklarının bilinçsizce kullanımı ve kirlenmesi sürdürülebilirlik açısından tehdit oluşturmaktadır. Tarım, sanayi ve evsel alanlarda aşırı su kullanımı ve meydana gelen kirlilik sonucunda su kaynaklarının iyileştirilmesi zorlaşmaktadır. Tarımda bilinçsiz gübre uygulanması, endüstri kuruluşlarının yaptığı atık

su deşarjları ve antropojenik etkiler bunlara örnek olarak verilebilir. Çeşitli kirlilik göstergeleri ve kriterler yardımıyla ve çevreye zarar vermeyen uygulamalarla bu kaynakların durumları iyileştirilmelidir. Yakın gelecekte su kaynaklarının hem miktar hem de kalite bakımından yetersiz hale gelebileceği düşünüldüğünde, uygun müdahalelerin yapılması elzem görülmektedir.

2020 TÜİK verilerine göre 5.663.322 nüfusa sahip olan ve artması beklenen başkent Ankara'nın evsel ve endüstriyel atık sularının sebep olduğu çevresel kirlilik ve baskı da artmaktadır. Su kaynakları açısından yetersiz ve iklimi de bunu tolere edebilecek durumda değildir. Çoğunlukla içme ve kullanma suyu için yakın havzalardan su çekilmekte ancak bunlara rağmen sürekli kirletilmeye ve bilinçsiz/yanlış kullanılmaya devam edilmektedir.

1.2. Ankara'nın Su Kaynakları

Ankara'nın büyük bir alanının yer aldığı Sakarya Havzası doğduğu noktadan Karadeniz'de döküldüğü yere kadar 6 alt havzaya bölünmüştür; Yukarı Sakarya Alt Havzası, Porsuk Çayı Alt Havzası, Ankara Çayı Alt Havzası, Orta Sakarya Alt Havzası, Göksu-Karasu Çayları Alt Havzası ve Aşağı Sakarya Alt Havzası (DSİ, 2019).

Sakarya Nehri'nin drenaj alanı 63.303 km², bazı kaynaklarının kuruduğu da hesaba katılırsa kolları ile birlikte toplam uzunluğu 720 km'dir. Nehrin suyu, çay ve dereler açısından bir birleşim yeri, ana akarsu olmasından dolayı bol ve ılıktır. Mart, Nisan ve Mayıs aylarında debi değerleri en fazla çıkarken, en az çıktığı aylar ise Temmuz, Ağustos ve Eylül gibi yaz sonu aylarıdır. Nehirdeki en düşük debi değeri 25,7 m³/s, en yüksek 996 m³/s iken ortalama debi değeri ise 206 m³/s olarak ölçülmüştür. Nehrin suyu yerleşim yerleri ve endüstri kuruluşları için kullanım suyu olarak, rekreasyon amaçlı, tarımda

sulama suyu olarak ve atık suyun deşarj yeri olarak kullanılır. Havza konumu itibariyle büyük ve gelişmiş şehirleri kapsadığı için, suda kirlilik de fazla olmaktadır. Ayrıca nüfusun fazla olması ve sanayi faaliyetlerinin de artması bu durumu olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle nehrin birçok kolu evsel ve endüstriyel kaynaklı atık sular nedeniyle kirlenmektedir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2019).

Sakarya Nehri'nin en önemli kollarından biri olan Ankara Çayı'nın kolları olan Çubuk, Hatip ve Ova Çayları Ankara merkezinden geçmektedir. Ayrıca içeride İnce suyu Deresi ve Haymana suyu da çaya karışmaktadır. Sonunda Ankara Çayı, Eskişehir'in Mihalıççık ilçesinde bulunan Dümrek köyünde Sakarya Nehri'ne karışmaktadır (DSİ, 2019). Ankara Çayı, il içerisinde bulunan 98 km'lik kısmında Çubuk, Hatip, Ova Çayları ile İmrahor, Ravlı ve Söğütözü derelerinden beslenmektedir (SYGM, 2013).

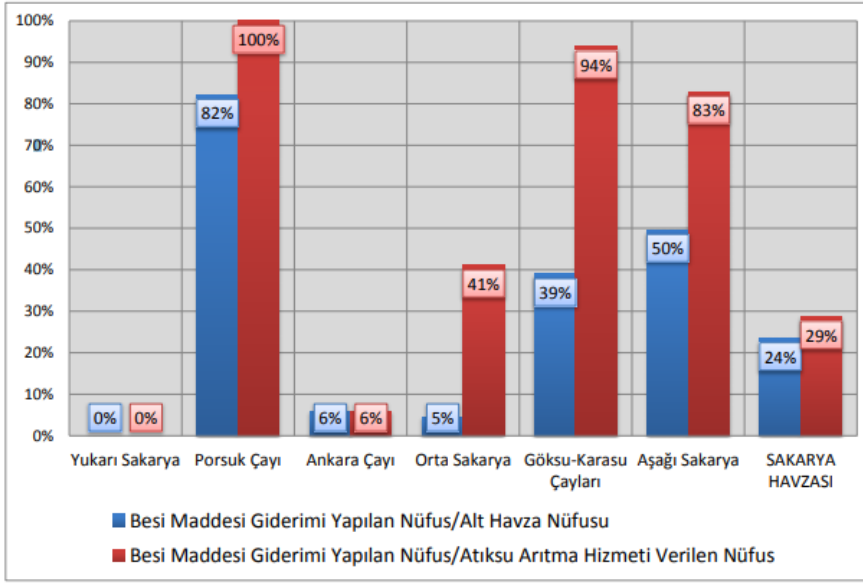
Ankara, Sakarya, Kızılırmak ve Konya Kapalı Havzaları olmak üzere üç akarsu havzası içerisinde kalmaktadır. En büyük gölü (490 km²) Tuz Gölü, en uzun akarsuyu (151 km) Sakarya Nehri, en büyük barajı (83,8 km²) Sarıyar Barajıdır. 14 doğal göl, 136 sulama göleti ve 11 baraja sahiptir. Akarsuları; Kızılırmak, Sakarya Nehri, Ankara Çayı, Kirmir Çayı, Ova Çayı, Balaban Çayı' dır. Barajları; Sarıyar Barajı, Kızılırmak-Kesikköprü Barajı, Çubuk-1 Barajı, Çubuk-2 Barajı, Bayındır Barajı, Kurtboğazı Barajı, Çamlıdere Barajı, Asartepe Barajı, Akyar Barajı, Eğrekkaya Barajı, Elmadağ - Kargalı Yeraltı Barajı, Kavşakkaya Barajı' dır. Başlıca gölleri; Tuz Gölü (567,5 ha), Mogan Gölü (567,5 ha) ve Eymir Gölü' dür (111,9 ha). Su kaynakları ise Kızılırmak-Kesikköprü Barajı, Elmadağ - Kargalı Yeraltı Barajı, Kavşakkaya Barajı, Akyar Barajı, Çubuk II Barajı, Eğrekkaya Barajı, Kurtboğazı Barajı ve Çamlıdere Barajı' dır. Yeraltı suyu potansiyeli çoğunlukla Ankara Ovası, Kazan-Mürted Ovası, Polatlı güneyi ve Şereflikoçhisar-Peçenek havzasında yer almaktadır. İlde 17 adet atık su arıtma tesisi, 9 adet içme suyu arıtma tesisi ve 108 adet paket içme suyu arıtma tesisi bulunmaktadır. (ASKİ, 2021)

1.3. Kentsel Atık Sular ve Arıtım

Ankara'nın kentsel atıksuları Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi'nde (AAT) arıtılmaktadır. Tesis 4.996.878 nüfusa hizmet vermektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021). Ankara'nın kanalizasyon sisteminden gelen ve tamamen cazibeyle tesise ulaşan tüm evsel ve endüstriyel atık sular burada arıtılmaktadır. Ankara Merkezi AAT şehir merkezine 45 km uzaklıkta, Sincan ilçesi Tatlar köyü yakınında bulunmaktadır. Tesis 765.000 m³/gün kapasiteyle "Klasik Aktif Çamur Prosesi" prensibine göre tasarlanmıştır; karbon bazlı organik kirlilik giderilmektedir. Ankara Merkezi AAT' de azot ve fosfor giderimi henüz mevcut değildir (ÇŞİDB, 2021). Türkiye'nin en büyük atık su arıtma tesisi olup, yıllık 250 milyon m³ atık suyu arıtarak alıcı ortama deşarj etmektedir. Deşarj yeri Ankara Çayı'dır (ASKİ, 2021).

Atık sularda azot ve fosfor gibi besi maddeleri, alıcı ortamda ötrofikasyona sebep olmaktadır. Ötrofikasyon; göl, baraj gölü gibi kapalı su ekosistemlerine girmiş olan besin maddelerinin artmasıyla plankton ve alglerin çok fazla miktarda çoğalması sonucunda meydana gelmektedir. Suyun kalitesi giderek bozulmaya başlar ve kaynağın ömrü azalır, kullanım alanları kısıtlı olmaya başlar ve doğal bir yaşlanma sürecine girer. Bu yaşlanma süreci binlerce yılı alırken, insanların yapmış olduğu baskılardan dolayı çok kısa bir sürede de meydana gelebilmektedir (Dereli, 2018). Bu nedenle su kaynaklarına azot ve fosfor girdisinin engellenmesi, azaltılması ve kontrol altına alınması gerekir. Bu konuda bir takım önlemler ve yapılabilecek uygulamalar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi olan ileri arıtmayla, azot ve fosfor giderimi yapılarak su kaynakları korunmuş, kirlilik seviyesi azaltılmış ve kalitesi kontrol altına alınmış olacaktır.

Çubuk, Karaköy ve Kazan Atık Su Arıtma Tesislerinde besi maddesi (azot ve fosfor) giderimi de yapılırken; Beypazarı, Nallıhan ve Kızılcahamam ilçelerinde AAT bulunmadığı için yaklaşık 180.000 kişi atık su arıtma hizmetini alamamaktadır. Şekil 2’de alt havzalara göre atık sularda besi maddesi giderim oranları verilmiştir. Buna göre; Ankara Çayı alt havzasında besi maddesi giderimi yapılan nüfusun arıtma yapılan nüfusa oranı yalnızca %6 civarında olup, düşük bir orandır. Sakarya Havzası için bu oran %24-29 seviyesindedir.



Şekil 2. Alt havzalara göre atık sularda besi maddesi giderim oranları (SYGM, 2013)

Sakarya Havzası Havza Koruma Eylem Planı’na (2013) göre, arıtılmamış evsel atık su deşarjlarına ek olarak kanalizasyon şebekesine deşarj edilip tesise gelen endüstriyel atık sular ve şehrin nüfus fazlalığı nedeniyle arıtılmış atık suların da çay üzerinde bir baskı unsuru olduğu belirtilmiştir. Ayrıca eylem planında; kolektör hatlarına deşarj edilen endüstriyel atık sularla birlikte tesise taşınan konvansiyonel kirlilik türlerinin dışındaki kirlilik parametrelerinin arıtılmadığı ve tüm bu konvansiyonel olmayan kirliliğin doğrudan Ankara Çayı’na deşarj edildiği belirtilmiştir. Bu nedenle kirliliğin her geçen

gün daha da elzem bir konu haline geldiği kentte, bunun çeşitli göstergelerle belirtilip, çözümü için somut iyileştirmeler yapılması gerekmektedir.

Ankara’da bulunan Organize Sanayi Bölgelerinin (İvedik, Ostim ve ASO I) atık suları öncelikle kanalizasyon şebekesine verilmektedir. Ardından şebekenin bittiği yerde Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi’ ne verilerek burada arıtılmaktadır (SYGM, 2013).

Ayrıca Temelli’deki Başkent OSB’nin atık su arıtma tesisi olmadığı için OSB içerisinde oluşmuş olan atık sular Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi deşarj noktasının ilerisinde bulunan bir noktadan direkt çaya deşarj yapılmaktadır. Tarımsal faaliyetler bakımından da öneme sahip olan Ankara Çayı ve bağlı kollarında, Ankara İl Hıfzıssıhha Kurulu tarafından 2010 yılında alınan karara göre tarımsal arazi sulaması için su kullanılması yasaklanmıştır (SYGM, 2013).

AAT lere ek olarak gıda alanında ve motorlu taşıtların imalatı ile ilgili çalışan endüstriyel kuruluşlar vardır. Bazıları atık sularını kanalizasyon şebekeleri aracılığıyla Tatlar AAT ye ulaştırmakta iken, bazı kuruluşların kanalizasyona bağlantıları gerçekleştirilme aşamasındadır. Bunların dışında kalan endüstriyel kuruluşların hali hazırda AAT leri bulunduğu için, burada arıtılıp akarsular aracılığıyla Sakarya Nehri’ne ulaşmaktadır. Ankara Çayı Alt Havzası’nda yer alan endüstriyel tesisler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ankara Çayı alt havzasında bulunan endüstriyel tesisler (SYGM, 2013)

<i>İli</i>	<i>Tesis Adı</i>	<i>Atıksu Miktarı (m³/gün)</i>	<i>SKKY Sektörü</i>	<i>Deşarj İzin Durumu</i>	<i>Deşarj Ortamı</i>
Ankara	Coca Cola İçecek A.Ş.	300	6	+	Çubuk Ç.
Ankara	Kavaklıdere Şarapları	200	6	+	Kanalizasyon
Ankara	Nabay Tekstil	250	10	+	Çubuk Ç.
Ankara	Samur Halıları	500	10	+	Çubuk Ç.
Ankara	Ülker Gıda San.	200	5	+	Kanalizasyon
Ankara	Anadolu Efes Biracılık	1.000	6	+	Ova Ç.
Ankara	New Gıda	75	5	+	Ova Ç.
Ankara	TAİ	300	19	+	Ova Ç.
Ankara	Ortadoğu Rulman	110	15	+	Babayakup D.
Ankara	Baymina Enerji	9.403	9	+	Ankara Ç

Tablo 2’de Ankara’da bulunan OSB, serbest bölge ve sanayi sitelerinin atık su arıtma durumları verilmiştir.

Tablo 2. Ankara'daki OSB, serbest bölgeler ve sanayi sitelerinde AAT durumu (ÇŞİDB, 2020)

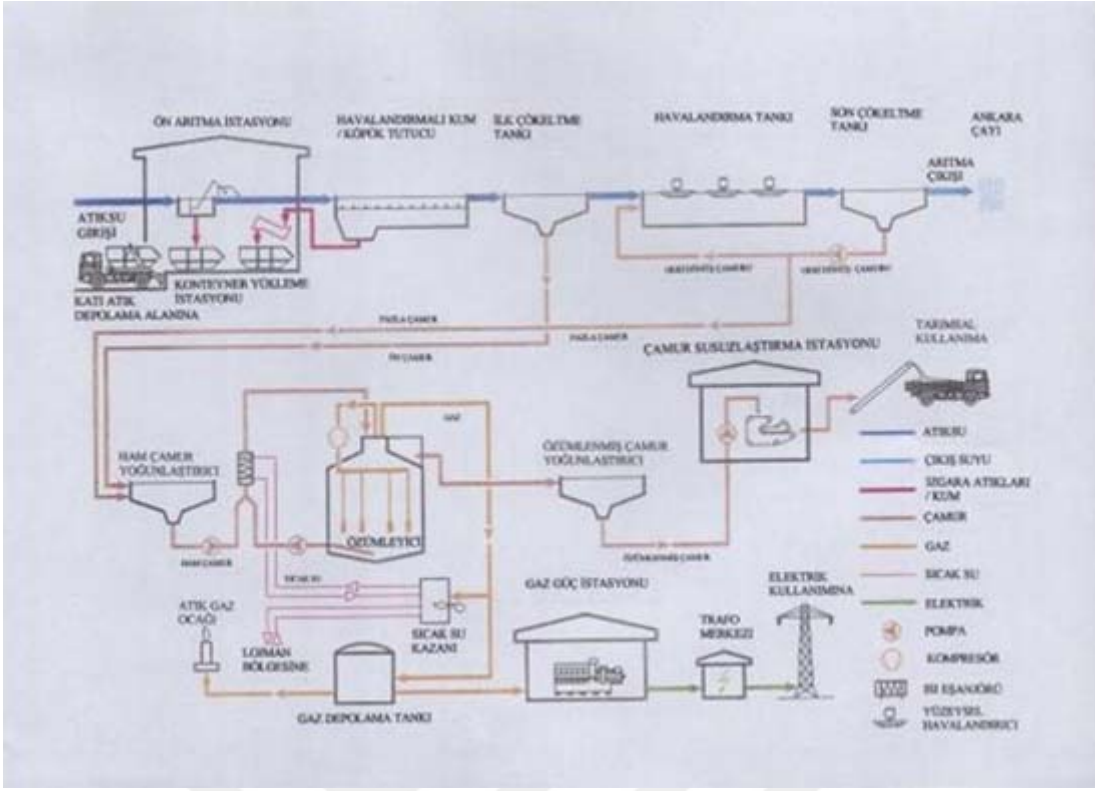
OSB/Serbest Bölge/Sanayi Sitesi Adı	Mevcut Durumu	Kapasitesi (ton/gün)	SAİS Kabini Durumu (var/yok)	AAT Türü	AAT Çamuru Miktarı (ton/gün)	Deşarj Ortamı
ASO 1. OSB	Atıksu arıtma tesisi bulunmamaktadır. Atıksu Belediye kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir.					
ASO 2.ve 3. OSB	Atıksu arıtma tesisi faal	2500 m ³ /gün	Yok	Fiziksel+ Kimyasal+ Biyolojik Arıtma Tesisi (uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi)	0,5 ton/gün	Ankara Çayına mansaplanan kuru dere yatağı
Anadolu Organize Sanayi Bölgesi	Faal	250 m ³ /gün	Yok	Paket Atık Su Arıtma Tesisi (Ardışık Kesikli Reaktör)	16350 kg/yıl	Sakarya Havzası- Kuru Dere Yatağı
Anadolu Organize Sanayi Bölgesi	Proje Aşamasında	3.000 m ³ /gün	Yok	Fiziksel, Kimyasal, Biyolojik (A/O İki Aşamalı Phoredux)	-	Sakarya Havzası- Kuru Dere Yatağı
Başkent OSB						
OSTİM OSB	Atıksu arıtma tesisi bulunmamaktadır. Atıksu Belediye kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir					
İVEDİK OSB	Atıksu arıtma tesisi bulunmamaktadır. Atıksu Belediye kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir					
Polatlı OSB	Faal	260 m ³ /gün	Yok	Paket Biyolojik		Kuru Dere Yatağı
Polatlı OSB	İnşaat	1000 m ³ /gün	Yok	Klasik		Kuru Dere Yatağı

Şekil 3' te Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi'nin genel vaziyet planı verilmiştir. Tesis; ön arıtma ünitesi, ön çökteltme havuzları, havalandırma havuzları, son çökteltme havuzları, geri dönüş çamuru pompa istasyonu, ham çamur yoğunlaştırma havuzları, çamur çürütücü (digesters), biyogaz güç istasyonu, gaz depolama tankları, çamur yoğunlaştırma havuzları, çamur susuzlaştırma ünitesi ve sosyal donatılardan oluşmaktadır. Bu bölümler Şekil 4'te gösterilmiştir (ASKİ, 2021).



Şekil 3. Ankara Merkezi AAT genel vaziyet planı (ASKİ, 2021)

Ön arıtma aşamasında tesise gelen su içindeki kum ve kaba pislikler ızgaralar yardımıyla uzaklaştırıldıktan sonra, yüzen ve askıda katı maddeler de ön çökeltme ve son çökeltme tankları yardımıyla giderilir. Havalandırma tankı ise aktif çamur prosesini sağlamaktadır. Aktif çamur prosesi; mikroorganizmaların kirleticileri besin ve enerji kaynağı olarak kullanması ile sudan uzaklaştırmaları prensibine dayanır; yani organik kirlilik bakteriler tarafından giderilir.



Şekil 4. Ankara Merkezi AAT akım şeması (ASKİ, 2021)

İşlemler sonunda çöken bir miktar çamur havalandırma havuzundaki mikroorganizma konsantrasyonunu sağlamak için tekrar alınıp kullanılırken, buradan artan çamur da yoğunlaştırılarak anaerobik çürütücüler vasıtasıyla çürütülüp biyogaz (günde ortalama 30.000 m³) üretilmektedir. Ortaya çıkan biyogazdan da elektrik üretilerek tesisin enerjiye duyduğu gereksinimin %80-85'i bu yolla karşılanmaktadır. Yüksek organik içeriğe sahip olan çamur keki de tarımda gübre olarak kullanılması amacıyla kurutulmaya bırakılır (Özalp, 2005).

Kirlilik yükü azaltılmış olan su, ulusal deşarj kriterlerine uygun bir şekilde Ankara Çayı'na boşaltılmaktadır (Şekil 5). Arıtılan sudan birinci ve ikinci kalitede su elde edilmektedir. Şekil 6' da Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi' nin görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 5. Ankara ASKİ Tatlar AAT deşarjı-Ankara ayı (SYGM, 2013)



Şekil 6. Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi (ASKİ, 2021)

1.4. Su Ayak İzi Kavramı

Su ayak izi kavramı, insanların üretim ve tüketim ile ilgili yapmış olduğu seçimlerinin doğal kaynakları nasıl etkilediğini ortaya koymak için Prof. Dr. Arjen Hoekstra tarafından 2000 li yıllarda geliştirilmiş bir baskı göstergesidir. Kaynaklar üzerinde yaratılan baskıyı, ne kadar kirliliğe sebebiyet verildiği ve günlük hayatımızda ihtiyaçlarımızı giderirken

suyun ne kadar kullanıldığı gibi durumları ortaya koyar. Bir kişi, ülke, kuruluş, nehir havzası, ürün ve/veya ürünün tedarik zinciri vb. için su ayak izi hesabı yapılabilir. İşletmelerde suyun kullanımı, önemi ve oluşabilecek riskleri, hükümetlerin su politikaları ve yönetimindeki yeri, insanların herhangi bir süreç içerisinde ne kadar su tükettiğini bilmeleri suyun etkin, bilinçli ve sürdürülebilir kullanımı açısından önem arz etmektedir (Water Footprint Network, 2021).

Su ayak izi kavramından önce, 1993 yılında Prof. Tony Allen tarafından sanal/saklı su kavramı ortaya atılmış; su kıtlığı çeken ülkelerdeki insanların ihtiyaçlarını başka ülkelerden karşılarken o ülkelerin su kaynaklarını da kullandıkları ifade edilmeye çalışılmıştır. Yenilen, kullanılan, giyilen, alınan ve satılan her şey için suya ihtiyaç duyulmaktadır. Su ayak izi; mal ve hizmetlerin üretimi için ne kadar su harcandığını ölçmektedir. Böylelikle ne kadar suyun kirletildiği ve kullanıldığının anlaşılması, şirketlerin suya bağımlı oldukları süreçleri tespit edebilmeleri, nasıl düzenlemeler yapılırsa su kaynaklarının korunabileceği, insanların kendi su ayak izlerini öğrenerek çevre ve canlılar için azaltmaya çalışabileceği gibi maddeler tamamen su ayak izinin önemini vurgulamaktadır.

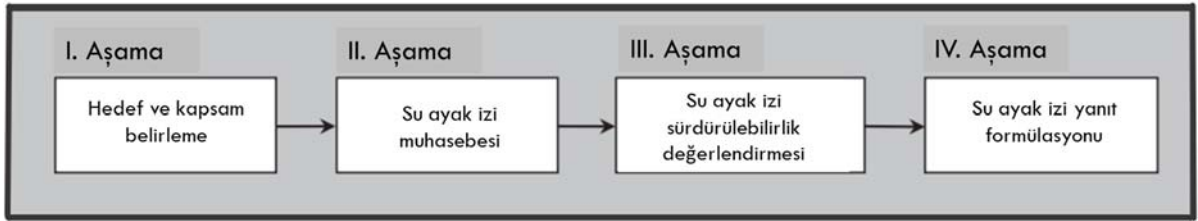
Ayrıca etkisini anlayabilmek için suyun nereden ve ne zaman alındığına da bakmak gerekmektedir. Çünkü su kıtlığı yaşanan bir yer ile zengin su kaynaklarına sahip bir yerden alınan suyun etkisi aynı olmamaktadır (Water Footprint Network, 2021). Mavi, yeşil ve gri olmak üzere üç bileşeni bulunan su ayak izi; bunların hesaplanıp haritalanması, sürdürülebilir, verimli ve adil olması yönünde değerlendirme yapılması ve bu nedenle ne tür stratejik eylemlerin önceliklendirilmesi gerektiğinin belirlendiği dört temel aşamada değerlendirilir (Şekil 7):

1. Hedef ve kapsam belirleme: Yapılacak olan çalışmanın neden, hangi zaman aralığında ve kim/ne/neresi için gerçekleştirileceğinin belirlenmesidir. Bundan sonraki adım için ne yapılacağı netleştirilmiş olacaktır.

2. Su ayak izi hesaplaması: Gerekli veriler toplanarak (küresel veri tabanları ve yerel veriler) mavi, yeşil ve gri su ayak izi hesaplamaları uygun yöntem ve formülasyonlar kullanılarak yapılır.

3. Sürdürülebilirlik değerlendirmesi: Su kullanımının çevresel açıdan (insan ve doğanın ihtiyaçlarını dengeleyip dengelemediği) sürdürülebilir, kaynak açısından (sınırlı su kaynaklarının adil paylaşımı ve doğru kullanımı) verimli ve adil bir şekilde tahsis edilip edilmediğini değerlendirmektir.

4. Tepki geliştirilmesi: Elde edilen sonuçlara göre su ayak izinin azaltılması ve sürdürülebilirliğinin artırılması yönünde doğru stratejiler belirlenmesidir.



Şekil 7. Su ayak izi değerlendirmesinin dört aşaması (WFN, 2021)

1.4.1. Su Ayak İzinin Bileşenleri

Mavi su ayak izi

Yüzey veya yer altı sularından çekilen, buharlaşan, üründe kalan, farklı bir kaynağa veya farklı bir zamanda aynı kaynağa geri dönen suyun miktarını gösterir (WFN, 2021). Evsel kullanım, sanayi ve tarım mavi su ayak izinin hesaplandığı alanlardır.

Yeşil su ayak izi

Yeşil su ayak izi, özellikle gıda ürünlerinin üretimi sürecinde kullanılan ve toprakta bulunan nemin hacmidir. Buradaki su; yağmurlarla toprağa düşen ve bitki kökleri tarafından emilen, depolanan ve buharlaşan ya da bitkinin kendi bünyesinde bulundurduğu sudur (WFN, 2021). Yeşil su ayak izinin hesaplandığı alanlar: tarım, bahçe bitkileri ve orman ürünleri yetiştiriciliğidir.

Gri su ayak izi

Belirli bir su kalite standardına göre su kaynağı içerisine çeşitli yollarla aktarılan kirletici yükün asimile edilmesi için gerekli olan tatlı su hacmini ifade eder. Prof. Arjen Hoekstra'ya göre gri su ayak izinin sebebi, bir tatlı su kaynağına doğrudan deşarj edilen noktasal kaynaklı bir kirlilik olabileceği gibi dolaylı olarak topraktan, geçirimsiz yüzeylerden veya diğer yayılı kaynaklardan akma veya sızıntı yoluyla su kaynağına ulaşan bir kirlilik de olabilir (WFN, 2021).

1.4.2. Doğrudan ve Dolaylı Su Ayak İzi

Doğrudan su ayak izi: Birey/topluluk, ulus/tüm insanlık tarafından mal ve hizmet üretiminde doğrudan kullandıkları su miktarıdır. Tüketici veya üretici tarafından tatlı su kullanımını veya kirliliğini ifade eder (WFN, 2021).

Dolaylı su ayak izi: Tüketilen ürünlerin üretimi sırasında kullanılan su miktarını gösterir. Bu süreçte hammaddenin ve ara ürünün üretim aşaması, tedarik zinciri gibi süreçleri kapsar. Yani; bir ürün veya hizmetin üretimi/oluşturulması süresince kullanılan veya kirlatilen su ile ilişkili ayak izidir (WFN, 2021). Mesela bir kek yapımında kullanılan su

doğrudan su ayak izini oluştururken, gerekli diğer malzemelerin üretimi ve bize ulaşması süresince tüketilen su ise dolaylı su ayak izini oluşturmaktadır.

1.4.3. Sanal Su Kavramı

Endüstri ve tarımda, üretim aşaması süresince tüketilen toplam suya sanal su denilmektedir. Yani bir ürün veya hizmet ithal edildiğinde ya da ihraç edildiğinde burada kullanılmış toplam su da ithal/ihraç edilmiş olur.

İlk olarak su kıtlığı ile mücadele edilen yerlerde çeşitli ihtiyaçların (gıda, giyim ve suya dayalı ihtiyaçlar) nasıl giderileceği araştırılırken, su açısından zengin olan yerlerden ürünün/hizmetin alınabileceği ve böylelikle su kıtlığı yaşanan yerlerin de baskı altında olmayacağı düşünülerek bulunmuştur (Tony Allen, 1993). Buradan yola çıkılarak, öncelikle Avrupa olmak üzere daha birçok ülke kendi su kaynaklarını tüketmek ve kirletmek istememişler ve çeşitli su yoğun ürünleri (üretiminde bol suya ihtiyaç duyan ürünler) başka yerlerde oraların su kaynaklarını kullanarak üretmişlerdir. Yani çok suya gereksinim duyan ürünler ithal edilirken, az suya gereksinim duyanlar ise ihraç edilmiştir. Böylece sınırlı yerel su kaynakları üzerinde baskı oluşmamış ve arazi mevcudiyeti de korunmuştur.

WWF' nin 2014 yılında Türkiye'nin su ayak iziyle ilgili hazırlamış olduğu raporda sanal su da dikkate alındığında bir bireyin günlük doğrudan ve dolaylı su tüketimi 5.416 litre olarak hesaplanmıştır. Yani doğrudan ve dolaylı ithal edilen mal ve hizmetler aracılığıyla tüketilen su miktarının giderek arttığı vurgulanmıştır. Ayrıca Türkiye'ye ithal edilen mal ve hizmetlere ait sanal su miktarının, ülkedeki tüketimin su ayak izinin %17'sini oluşturduğu belirtilmiştir (Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu, 2014).

1.4.4. Gri Su Ayak İzi Hesaplaması

Gri su ayak izi hesaplaması yapılırken çoğunlukla toplam azot, toplam fosfor, amonyum ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerleri dikkate alınır. Bu parametreler su kaynaklarındaki kirlenmeyi gösterir ve hesaplamalarda daha fazla gri su ayak izi değerleri gösterirler. Çankaya (2019), çalışmasında 5 parametre (KOİ, azot, fosfor, demir ve çinko) için hesaplamalar yapmış ve bunların içinde toplam azot parametresinin en yüksek değere sahip olduğunu tespit etmiş ve gri su ayak izi hesabında kullanmıştır. Tez çalışmasında da Ankara Merkezi AAT de düzenli olarak izlenen toplam azot, toplam fosfor, amonyum ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) verileri elde edilerek hepsi için hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar verilmiştir. Bu parametreler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Toplam azot: Azot, atmosferde %79 ile en fazla orana sahip, tüm canlılarda bulunan, bilhassa bitkilerin yaşam kaynağı olan bir elementtir. Yüzey sularında ve atık sularda azot bileşiklerinin izlenmesi çevre ve canlılar için büyük bir öneme sahiptir. Organik azot, amonyak/amonyum azotu, nitrat azotu ve nitrit azotunun toplamıdır.

Toplam azot = İnorganik azot + Organik azot

Amonyum: Suda bulunan katyonlardan biri olan Amonyum iyonu (NH_4^+), Amonyak (NH_3)'a asit eklenerek, topraktaki bakteriler tarafından azotun dönüştürülmesiyle, doğada var olan organiklerin ve bitkisel proteinin çürüyüp bozulması ile, insanların ve hayvanların idrar yoluyla dışarı atması ile, doğal ve suni gübre kullanımı vb. dolayısıyla suya geçebilmektedir.

Toplam fosfor: Organik veya inorganik yapıya sahip olabilen fosfor, doğal sularda ve atık sularda fosfat (PO_4^{3-}) olarak bulunmaktadır. Toplam fosfor ise ortofosfatlar, kondens fosfatlar (pyro, meta, ve diğer polifosfatlar) ve organik bağlı fosfatların tümünü kapsar. Suyu çeşitli yollardan geçebilmektedir; arıtma işlemi esnasında, kullanılan deterjanlar

vasıtasıyla, kayalardan ve topraktan doğal olarak, gübre kullanımından, endüstriyel kaynaklı atıklardan, hayvancılıktan ve kanalizasyon sisteminin veriminden dolayı suya ulaşabilir. Fosfat suda çoğaldığı zaman ötrofikasyona ve suyun kalitesinde bozulmaya sebep olabilir.

Toplam fosfat = Toplam İnorganik Fosfat + Toplam Organik Fosfat

Toplam fosfor ise; $P = PO_4 * 0,33$ denklemiyle bulunur.

KOI: Su ve atık sularda evsel ve endüstriyel kaynaklı atıkların organik kirliliğini ve su kalitesini gösteren bir parametredir. Suda bulunan organik maddenin yükseltgenenlerinin oksitlenmesi için gereken oksijen miktarını ifade eder. KOİ değerinin yüksek olduğu sularda organik kirlilik artarken, sudaki oksijen miktarı düşmektedir.

1.5. Tezin Amacı ve Önemi

Tezin amacı, Ankara'nın kentsel atık sularının gri su ayak izinin hesaplanması ve Ankara Çayı üzerinde Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi'nde arıtılan atık suların neden olduğu kirliliğin ortaya konmasıdır. Literatürde benzer çalışmalar bulunmakla birlikte (Mekonnen ve Hoekstra, 2015; Boyacıoğlu, 2018; Çankaya, 2019; Ansorge ve ark., 2020), Ankara ili ölçeğinde daha önce yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Özellikle gri su ayak izinin hesaplandığı çalışmalar dışında mavi ve yeşil bileşenlerle beraber incelendiği çalışmalar da bulunmaktadır (Hoekstra ve Mekonnen, 2012; Chapagain ve ark., 2005; Mekonnen, 2011; Mekonnen ve Hoekstra, 2011; Gerbens-Leenesve ark., 2013; Zhang ve ark., 2012; Francke ve Castro, 2013; Çankaya, 2019; İraz, 2020; Kayhan, 2020; Turan, 2017). Tez çalışmasında ise Ankara'nın kentsel gri su ayak izi hesaplaması yapılarak öncelikle alıcı ortamın ne kadar kirletildiği, bu kirlilik yükünü

bertaraf etmek için gerekli tatlı su hacmi, 2020 yılı verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen su ayak izinin değerlendirmesi yapılmış, öneriler sunulmuştur.

Hızlı kentleşme, nüfus artışı, iklim değişikliği, endüstriyel faaliyetlerin artması gibi sebeplerle baskı altında olan su kaynaklarının miktar ve kalite bakımından düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir. Herhangi bir sorun ile karşılaşıldığında veya su kaynakları üzerinde durum iyileştirilmesi yapılmak istenildiğinde mevcut veriler ışığında müdahaleler yapılabilir. Ayrıca karbon ve su ayak izi gibi göstergeler de çevresel sorunların tespiti ve durumu hakkında yardımcı olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada da gri su ayak izi kullanılarak Ankara'nın kentsel kirliliği ile ilgili durumu hakkında değerlendirme yapılmıştır. Çalışma alanı olarak Ankara Tatlar Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi ve arıtılmış suyun deşarj edildiği Ankara Çayı'nda DSI'nin düzenli olarak numune aldığı SAGİN026 (TR120111761121) kodlu bir istasyon seçilmiştir.

Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporuna (2020) göre; atık su arıtma tesislerine gelen ilave yükler sebebiyle kapasite artırımına cevap veremeyen yerlerde bir takım sıkıntılar oluşmaktadır. Bilhassa Tatlar Merkezi Atık Su Arıtma Tesisine ulaşan atık su yükünün arıtma kapasitesinin üstüne çıktığı ve bu nedenle arıtmada sıkıntılar yaşandığı belirtilmiştir.

Ankara'nın hızlı nüfus artışı ve bahsedilen diğer sorunlarla beraber her geçen gün kirlenmesi ve daha önce kentsel gri su ayak izi hesabının yapılmamış olması açısından bu çalışma büyük bir önem arz etmektedir. Böylelikle literatüre de önemli bir katkısı olacaktır. Bununla beraber bu alandaki bilgi ve uygulama eksikliğini de giderecektir.

Ayrıca bu çalışmada kullanılan toplam azot, toplam fosfor, amonyum ve KOİ parametreleri dışında diğer kirleticiler için de gri su ayak izi hesabı yapmak isteyen araştırmacılara yardımcı olacaktır.

Düzenli arazi çalışmaları ve laboratuvardaki deneylerle elde edilmiş güvenilir ve yeterli DSİ verileri (2005-2014 arası debi değerleri) ile ASKİ nin sürekli olarak Tatlar Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi girişi ve çıkışında izlemiş olduğu 2020 yılı verileri kullanılarak kentsel gri su ayak izi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile kirlilik bağlantısı kurulmuş ve bunların nedenleri araştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Uluslararası Çalışmalar

Tony Allan (1993) sanal su kavramını ilk ortaya atan ve tanıtan kişi olarak, sadece su içildiğinde ve duş alındığında değil, diğer ihtiyaçlarımız için de su tüketildiğini belirtmiştir. Sanal su, bir ürünün veya prosesin içeriğinde görülmediği halde üretimi süresince kullanılmış olan suyun bütününe denilmektedir. Sanal olarak adlandırılmasının nedeninin süreçte dolaylı olarak bulunmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bir ürün veya hizmet ihraç edildiği vakit, ürünlerle beraber tüketilmiş olan suyun da ihraç edildiği vurgulanmıştır. Bu nedenle üretimin yapıldığı ülkenin su kaynakları kullanıldığı için tüketilen suyun bedelini de ihracatla karşılamış olmaktadır. Su kıtlığından muzdarip olan ülkeler üretimlerini buna dayanarak yapabilmekte ve bu sayede su kaynaklarının üzerindeki baskıyı azaltabilmektedir.

Sanal su kavramından sonra ürünlerin/hizmetlerin tedarik zinciri süresince su kullanımının ölçülmesi düşüncesi Arjen Hoekstra tarafından 2002 yılında su ayak izi kavramının ortaya atılmasıyla önem kazanmıştır. Su ayak izi yalnızca üretim ve tüketimi kapsayan doğrudan su kullanımını değil aynı zamanda dolaylı su kullanımını da içermektedir. Ayrıca tatlı su kaynaklarının ne kadar kullanıldığını ve ne ölçüde kirletildiğini de gösteren kapsamlı bir göstergedir. Hoekstra ve ekibi tarafından dünyanın pek çok bölgesi için ve pek çok tarımsal ürün için su ayak izi değerlendirmesi yapılmıştır. Hoekstra tarafından Water Footprint Network 2008 yılında kurulmuş ve uzun yıllar araştırmalar devam etmiştir. Dünyada pek çok bilim insanı da bu yöntemi kullanarak araştırmalar yürütmekte ve bilimsel yayınlar yapmaktadır.

Ene ve Teodosiu (2011), çalışmalarında Prut-Barlad havzasında bulunan 22 atık su arıtma tesisinde, 2006-2007 yılları arası önemli kirleticiler (BOİ, KOİ, amonyak, deterjanlar ve fenoller) için aylık olarak elde edilmiş veriler kullanılarak gri su ayak izi hesaplaması yapmışlardır. Buna göre; kentsel ve endüstriyel atık suların nehirlere yetersiz arıtılarak deşarj edildiğini, tesisin eski boru ve sistemlerle işletildiğini, yetersiz mali koşullarla yönetildiğini, üçüncül arıtma yapan tesis olmadığını ve dolayısıyla azot fosfor giderimi yapılamayıp maksimum izin verilen konsantrasyonu çoğunlukla aştığını söylemişlerdir. Bu nedenlerden dolayı çoğu nehir ve göllerde ötrofikasyonun mevcut olduğu belirtilmiştir. Ayrıca hesaplanan bütün atık su arıtma tesislerinin gri su ayak izi değerinin yüksek olduğu görülmüş ve bunun sebebi yetersiz atık su arıtma performansına bağlanmıştır.

Mekonnen ve Hoekstra (2015), çalışmalarında nehir havzalarındaki azot ile ilişkili olan su kirliliğinin tarım alanında ürünlere ve ekonomi alanında kirliliğe göre gri su ayak izleri hesaplamıştır. Küresel olarak yapılmış ilk çalışmadır. Burada azot yükünden kaynaklanan gri su ayak izinin dörtte üçünün tarımdan yayılı kaynaklardan geldiğini ve %23 ünün yerel noktasal kaynaklardan, %2 sinin ise sanayi alanında noktasal kaynaklardan meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca tarımda; azotla ilişkili gri su ayak izinde; tahıllar en fazla orana sahipken, sebzeler ve yağ ürünleri de ardından gelmektedir. Azot kaynaklı gri su ayak izinin küresel bazda toplam değerinin %45 ini Çin'in, %18 ini Rusya, Amerika ve Hindistan'ın oluşturduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca su kirlilik seviyesinin de birçok nehir havzasında 1 den büyük olduğu yani; asimilasyon kapasitesinin sadece azot kaynaklı kirlilik ile dolmuş durumda olduğu belirtilmiştir.

Ansorge ve ark. (2020), yapmış oldukları çalışmada atık su arıtma tesislerinden deşarj edilen kirlilik yükünde artış olup olmadığını anlamak için gri su ayak izi göstergesini kullanmışlardır. Bunun için 2002-2018 yılları arası veriler kullanılmıştır ve büyük çapta olan atık su arıtma tesislerinin gri su ayak izi değerinin azaldığını görmüşlerdir. Ancak

küçük çaplı ve çok sayıda olan atık su arıtma tesislerinin gri su ayak izinin ise artmış olduğu saptanmıştır. Ayrıca toplam fosfor ve amonyum azotunun gri su ayak izi değerini belirleyen parametreler olduğu vurgulanmıştır. Eğer bu iki kirlilik parametresi hedef alınır; atık su arıtma tesislerinden deşarj edilen toplam kirlilik yükünün önemli derecede azaltılabileceği belirtilmiştir.

Hoekstra ve Mekonnen (2012), küresel yıllık ortalama su ayak izinin 1996 ve 2005 yılları arası periyotta tarım, endüstri ve evsel alanda oranlarının %74'ünü yeşil, %11'ini mavi ve %15'ini gri suyun oluşturduğunu belirtmiştir.

Chapagain ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada 1997-2001 yılları arası verileri ile Su Ayak İzi Ağı ve CROPWAT modellerini kullanarak pamuk tüketimi için su ayak izi hesabı yapmışlardır. Sonuçlardan yola çıkıldığında; %39 oranla yeşil, %42 oranla mavi, %19 oranla ise gri su ayak izine ve toplamda küresel bazda 256 milyar m³/yıl değerinde su ayak izine sahip olduğu görülmüştür.

Mekonnen (2011), değişik birçok ülkede üretim ve tüketim için su ayak izi değeri hesaplamıştır. Bu çalışmada tarımsal ve endüstriyel ürünlerin ticareti ile ilgili uluslararası sanal su akışının yeşil su ayak izini %68, mavi su ayak izini %13 ve gri su ayak izini %19 oranlarında (toplam hacmi 2320 Gm³/yıl) bulmuşlardır.

Mekonnen ve Hoekstra (2011) nın bir başka çalışmasında ise; CROPWAT yazılımı kullanılmış ve küresel ekin üretiminin mavi, yeşil ve gri su ayak izi hesaplanarak %78 yeşil, %12 mavi ve %10 unun gri olduğu görülmüştür. Bunların arasında en yüksek küresel su ayak izine sahip olanların ise buğday, mısır ve pirinç olduğu görülmüştür. Su ayak izi değerlerinin; ürünlerin yağmur suyuyla beslenmesi, sulamayla yetiştirilmesi (kurak veya yarı kurak bölgelerde mavi su ayak izinin daha fazla çıktığı) ve ekin verimi gibi nedenlerden dolayı her bir ürün için farklı sonuçlar gösterdiği saptanmıştır.

Hoekstra ve Hung (2005) in yapmış olduğu çalışmada; ithal ve ihraç edilen ürünler için sanal su hacimleri bulunmuştur. Bu hesaplama için FAO verileri kullanılarak CROPWAT ve CLIMWAT yazılımları üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Sonuç olarak; Japonya'nın en yüksek sanal su ithalatı yaptığı, Amerika'nın ise en yüksek sanal su ihracatı yapan ülke olduğu saptanmıştır.

Gerbens-Leenes, ve ark. (2013), yapmış oldukları çalışmalarında kümes hayvanları, domuz eti ve sığır eti için küresel bazda su ayak izi hesabı yapmışlardır. Endüstriyel sistemlerde hayvanların daha çok konsantre yem ile beslenip, daha az hareket edip, daha hızlı büyütülüp daha genç kesildiğini ve dolayısıyla su ayak izinin otlatmadan daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca konsantre yemin kaba yemden daha fazla su ayak izine sebep olduğunu ve besin kaynağının da burada su ayak izini belirleyici faktör olduğu vurgulanmıştır. Kümes hayvanlarının ve domuz etinin sığır etinden daha fazla mavi ve gri su ayak izine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Zhang ve ark. (2012), yapmış oldukları çalışmalarında kozmetik alanında faaliyet gösteren bir şirket için su ayak izi hesabı yapmışlardır. Su Ayak İzi Ağı metodu kullanılarak yapılan hesaplamada gri su ayak izinin %52,3 ile en fazla orana sahip olduğu, yeşil su ayak izinin %30,5 ve mavi su ayak izinin %17,2 pay aldığı görülmüştür.

Francke ve Castro (2013), yapmış olduğu çalışmalarında kozmetik sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin üretmiş olduğu bir ürün için su ve karbon ayak izi değerlendirilmiştir. Buna göre; kullanılan ürün olan sabunun 3,672 litre gri su ayak izine, 1,587 litre mavi su ayak izine ve 1,581 litre yeşil su ayak izine sahip olduğu saptanmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri ve İspanya beslenme şekillerinin su ayak izi değerlerinin hesaplandığı ve aralarında bir karşılaştırma yapıldığı çalışmada Blas ve ark. (2016), Amerika'daki beslenme tarzının İspanya'daki beslenme tarzına (Akdeniz mutfağı) kıyasla daha fazla (%29) su ayak izinin olduğunu tespit etmiştir. Bu nedenle Akdeniz

mutfağında sıklıkla kullanılan meyve, sebze, balık ve tahıllar düşük su ayak izine sahip oldukları için beslenmede bu ürünleri kullanmanın su verimliliği açısından faydalı olacağı bildirilmiştir.

2.2. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Ülkemizde su ayak izi ile ilgili ilk çalışmaların başında, WWF Türkiye tarafından hazırlanan Türkiye’nin Su Ayak İzi Raporu gelmektedir (WWF Türkiye, 2014). Raporunda üretim ve tüketimin, ihracat ve ithalatın su ayak izi hesaplanmıştır. Bunun sonucunda Türkiye’nin mevcut su kaynaklarına bağlı olduğu ve üretimini yapamadığı ürünleri ithal ettiği, suya çok ihtiyaç duyan ve yüksek katma değerli ürünleri ihraç ettiği belirtilmiştir. Ayrıca üretim ve tüketim konusunda su kaynaklarının nasıl etkilendiğini analiz edebilmek için bulunduğu havzanın da çok yönlü olarak incelenmesi gerektiği söylenmiştir. Örneğin su sıkıntısı çeken bir havzada çıkan yüksek değerdeki su ayak izi; içme suyuna erişme, yüzeysel suların kuruması, bazı türlerin yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalması gibi sorunlara sebebiyet verebilirken; havza eğer su açısından bolluk içerisindeyse burada çıkan su ayak izi değerinin birçok alanda etkisi diğer duruma göre az olabilmektedir. Bu nedenle değerlendirme yapılırken birçok faktörün birlikte ele alınması gerektiği belirtilmiştir.

Boyacıoğlu (2018), yapmış olduğu çalışmada ülkemizin Ege Bölgesi’nde bulunan şehirler için belediyeler ölçeğinde gri su ayak izi hesaplamasında; toplam azot parametresini kullanmıştır. Toplam 8 şehir arasında Muğla’nın turistik aktivitelerden dolayı yıllık atık su deşarjının ve gri su ayak izinin çok fazla olduğu, İzmir’de suyun %100 ünün arıtılması sebebiyle gri su ayak izinin en az çıktığı, yüksek değerlerdeki gri

su ayak izinin çıkma sebebinin ise arıtma proseslerinin türünden kaynaklandığı, arıtma tesislerinde azot giderimi yapılmasının gri su ayak izinin düşük çıkmasının üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca atık su yönetimi konusunda belirlenecek stratejilerin ve çevresel etkilerinin araştırılması konusunda iyi bir gösterge olduğu görülmüştür.

Çankaya (2019), çalışmasında 5 farklı parametre ile Borçelik'te fiziksel, kimyasal ve biyolojik ünitelere sahip endüstriyel atık su arıtımı yapan AAT de girdi ve çıktı verilerine göre gri su ayak izi hesabı yapmıştır. Çıkan sonuçlara göre; %71 oranla en fazla su ayak izi gri, %29 u mavi ve %0,35 i ise yeşil su ayak izidir. Kullanılan temiz su, yüzeyden buharlaşan su, çamur içindeki su ve kayıp su doğrudan mavi su ayak izi hesabına katılırken; kimyasallar, atık arıtma çamurunun bertarafı ve elektrik enerjisi için kullanılan su da dolaylı mavi su ayak izini oluşturan kaynakları oluşturmuştur. AAT' nin yüzey alanına düşen toplam yağış da yeşil su ayak izi kaynağını oluşturmuştur. En fazla su ayak izi giderimi demirden, en fazla bakiye kirletici su ayak izinin ise toplam azot parametresi sebebiyle olduğu görülmüş ve toplam azot gri su ayak izi hesabı için parametre olarak tercih edilmiştir.

Fırat havzasının 2008-2019 yılları arasındaki su ayak izinin ayrıntılı olarak hesaplandığı çalışmada İraz (2020), uzun yıllara dayanan iklim verileri, evapotranspirasyon tahmini, kişi başına su tüketimi ve son 11 yıllık ortalama yağış verilerini kullanmıştır. Buna göre; su ayak izi değerinin oransal olarak (%90) en fazla olduğu alanın tarım olduğu ve 25,29 milyar m³ toplam olmak üzere 6,33 milyar m³ ünün yeşil, 89 milyar m³ ünün mavi ve 3,07 milyar m³ ünün ise gri su ayak izi olduğu belirtilmiştir.

Pedagojik formasyon eğitimi alan öğrencilerin su tüketim davranışlarının incelendiği ve su ayak izlerinin hesaplandığı bir çalışmada Bulut ve Şahin (2020), değerlendirme için çeşitli değişkenler kullanmışlardır. Buna göre; öğrencilerin su tüketim davranışlarını belirleyip su ayak izi hesaplamalarını bu değişkenlere göre karşılaştırmışlardır. Çıkan

sonuçlarda; cinsiyet, daha önce su ayak izi ile ilgili bir duyuma sahip olunup olunmaması, su ayak izinin hesaplanması gibi değişkenlerde kayda değer bir fark olduğu görülmüştür. Ayrıca öğrencilerin hesaplanan su ayak izi değerlerinin ortalama küresel su ayak izi değerinden yüksek çıktığı belirtilmiştir. Daha önce su ayak izini hesaplamış olan veya onunla ilgili bilgiye sahip olan öğrencilerin sonuçlarının daha düşük çıktığı da görülmüştür. Sonuç olarak çalışmada; çevreci davranışların teşvik edilmesi, tüketim alışkanlıklarının iyileştirilmesi ve eğitim verilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

WWF nin raporunda, 2006-2011 arası veriler kullanılarak Türkiye'nin kişi başına düşen su ayak izi değerinin 1.977 m³/yıl olduğu belirtilmiştir (WWF, 2014). Ilgar (2020), globalleşme ile hayat kalitesinin yükselmesi doğrultusunda, su ayak izi değerlerinin de günden güne arttığını belirtmiştir. Bu nedenle çevreye duyarlı yaklaşımlar ve uygulamalar ile sürdürülebilir bir gelişme sağlanırsa su ayak izinin azaltılabileceğini söylemiştir.

Muratoğlu'nun yapmış olduğu çalışmada (2019), Diyarbakır'da tarımsal üretim, hayvancılık ve evsel/endüstriyel alanlar olmak üzere yıllık toplam su ayak izi gerekli veriler toplanarak hesaplanmış ve 2008-2019 yılları arası için ortalama 3,4 milyar m³ olarak bulunmuştur. Kurak ve yarı kurak alanlarda üretimin su ayak izinin ve mavi su ayak izinin azaltılması için çeşitli uygulamaların ve stratejilerin belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Su kaynaklarının sürdürülebilir olması, verimli ve doğru yönetimi için sanal su içeriği ve ne kadar mavi su kullanımı olduğu konusunda değerlendirilme yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle su ayak izi ile ilgili araştırma ve çalışmaların ülkemizde artırılması, tarımsal üretim ve su konusunda politika geliştirilmesini sağlayacaktır.

Engin (2019), Türkiye'de pamuk üretiminin su ayak izini belirlemek için 2016 ve 2018 yıllarına ait 6 şehirde (Şanlıurfa, Aydın, Hatay, Diyarbakır, Adana ve İzmir) mavi, yeşil ve toplam su ayak izi hesaplaması yapmıştır. Bunun için pamuk tarımının çoğunlukla

yapıldığı şehirlerdeki üretim miktarları, iklim yağış verileri, pamuk bitkisinin su tüketimi ve sulama tesislerinin özellikleri ile ilgili bilgiler toplanmış ve değerlendirme yapmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada; pamuk yetiştirilmesi sürecinde birim hektar başına toplam su ayak izinin 2016 için ortalama 17,746 m³/ha, 2018 yılı için 16,059 m³/ha olduğu bulunmuştur. Pamuk üretiminin yıllık toplam su ayak izi değerinin 2016 yılı için 3,3 milyar m³ ve 2018 yılı için ise 4,4 milyar m³ e çıktığı görülmüştür. Yıllık toplam su ayak izinin yeşil su ayak izi oranı %4 iken, mavi su ayak izi bileşeninin %96 lık orana sahip olduğu belirtilmiştir. 1 ton pamuk yetiştirilirken açığa çıkan su ayak izinin 2016 yılı için 1,782 m³/ton, 2018 yılı için ise 2,029 m³/ton olduğu görülmüştür. Tarım faaliyetlerinde modern ve etkin sulama uygulamalarının kullanılmasını ve çiftçilerin bunlarla ilgili bilinçlendirilmesini konusunda öneride bulunmuştur.

Van ilinde yapılmış olan bir çalışmada Yerli ve ark. (2019); mısır, patates, şeker pancarı ve yonca gibi bazı bitkilerin mavi ve yeşil su ayak izlerini hesaplamıştır. Çıkan sonuçlar incelendiğinde yeşil su ayak izinin dünya ortalamasından daha az olduğu görülmüş ve yeşil su kullanımının artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu nedenle yetiştirilen ürünlerin çeşidinin değiştirilmesi ve yağıştan faydalanacak şekilde ekim ve hasat zamanının düzenlenmesi ile daha çok verim alınabileceği ve yeşil suya teşvik olacağını belirterek, bu alanda araştırma yapılmasına gereksinim olduğu söylenmiştir. Böylelikle sürdürülebilir ve etkin bir su tüketimi için mavi su ayak izi azaltılmış ve yeşil suya yönelim sağlanmış olacaktır. Bitkilerin su ayak izlerine bakıldığında ise; en yüksek değere sahip olan yonca yerine daha az su isteyen ve ekonomik olarak daha fazla gelir getirebilecek olan başka bitkilerin tercih edilmesi önerilmiştir.

Muğla Seydikemer ilçesinde üç farklı alabalık çiftliğinde bütün üretim aşamaları için (kuluçka aşaması dışında) mavi, yeşil ve gri su ayak izi hesaplanmıştır. Yıllık yağış oranında düşüş olduğu için yeşil su ayak izi değerlerinin çiftlikler arasında farklılık gösterdiği belirtilmiştir. 1 ton alabalık yetiştiriciliğinde tüketilen su miktarı belirlenmiş

ve bunun için mavi, yeşil ve gri su ayak izi hesaplanmıştır. 2009-2019 arası mavi su ayak izi değerleri incelendiğinde; sonuçların birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak ise bu işletmelerdeki üretim miktarının sabit olması, havuz su hacimlerinin aynı kalması, sudaki buharlaşmanın kayda değer bir fark göstermemesi gösterilmiştir. Gri su ayak izi hesaplamasında ise sonuç sıfır olarak verilmiştir. Çünkü işletmelerdeki kirlilik oranının yüksek olması beklenirken, su kalitesindeki kıstaslar esas alınarak değerlendirildiğinde parametrelerin birbirini nötrlediği bildirilmiştir. Ayrıca alabalık çiftlikleri için hesaplanan su ayak izi değerlerinin diğer çiftlik hayvanları ile karşılaştırıldığında daha az çıktığı görülmüştür. Bu nedenle alabalık yetiştiriciliğinin çevre ve besin yönünden insanların ihtiyacını karşılama noktasında önemli bir kaynak olduğu belirtilmiştir (Kayhan, 2020).

Avanoz (2020), tarımsal su ayak iziyle ilgili hesaplamalar ve değerlendirmeler yaptığı çalışmada 2008-2018 yılları için elde edilmiş iklim verilerini (yağış, evapotranspirasyon ve bitkisel üretim) kullanarak ülkemizde yetiştirilen 97 bitkisel ürün için il bazında hesaplamalar yapmıştır. Çıkan sonuçlara göre; ülkemizin tarım alanında toplam su ayak izinin 106,85 milyar m³, yeşil su ayak izinin 47,01 milyar m³ ve mavi su ayak izinin ise 59,84 milyar m³ olduğu görülmüştür. İllere bakıldığında ise; Konya' nın en yüksek değere (yeşil ve toplam su ayak izi) Yalova' nın en düşük değere sahip olduğu saptanmıştır. Mavi su tüketiminin ülkemizde fazla olmasından ve buna sebep olacak ürünlerin yetiştirilmesinden dolayı bu konuda önlem alınması gerektiği belirtilmiştir.

Turan (2017), Türkiye'nin su ayak izini ithalat, ihracat, üretim ve tüketim açısından değerlendirmiş ve buna göre; üretiminde suya çok ihtiyaç duyulan pamuk ve buğday gibi hammadde ürünlerin ithal edildiği görülmüştür. İthal edilen mallar işlendikten sonra ihracatı yapıldığı için ihracat su ayak izinin önemli bir parçasını oluştururlar. Tüketim için hesaplanan su ayak izi değerinin 140,2 milyar m³/yıl olduğu ve bunun %66'sının

yeşil, %17'sinin mavi ve yine %17'sinin gri su ayak izi olduğu belirtilmiştir. Tarımın oluşturduğu su ayak izi %89 oranla en büyük paya sahip olurken, endüstriyel kullanım %6 ve evsel kullanım %5 orana sahiptir. Üretimin su ayak izinde ise; bitkisel üretim, otlatma, endüstriyel su kullanımı ve evsel su kullanımı alanlarında yeşil, mavi ve gri su ayak izi değerleri incelenmiş olup; bitkisel üretimin su ayak izi oranına bakıldığında büyük bir kısmının yeşil suya bağlı olduğu ve %20'sinin mavi sudan oluştuğu belirtilmiştir. Yani sulama konusunda doğru uygulamalar yapılırsa sürdürülebilirlik açısından faydalı olacağı vurgulanmıştır. Evsel ve endüstriyel su kullanımına bakıldığında ise; tamamının yalnızca gri su ayak izinden oluştuğu söylenmiştir. Sonuç olarak su ayak izi değerlerinin yüksek veya düşük olmasının tek belirleyici faktör olmadığı, önemli olanın entegre bir bakış açısıyla havzanın da içinde bulunduğu şartlarla (suyun az/çok olduğu bir havza mı) incelenerek değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ancak böyle anlamlı bir sonuca varılabileceği, su kaynakları üzerindeki etkinin anlaşılabilmesi vurgulanmıştır.

Teke ve Kahya (2021), inek sütü üretiminin su ayak izini inceleyen araştırmada; çiftlik ve fabrika olmak üzere iki alanda 4 farklı parametre belirlenerek hesaplamalar yapılmıştır. Çiftlikte hayvanların ne kadar yem ve su tükettiği, sütün işlendiği fabrikada ne kadar elektrik ve doğalgaz kullanıldığı ve makineleri temizlemek için ne kadar su kullanıldığı hesaplanarak inek sütü üretiminin su ayak izi bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda hayvanlara verilen yem miktarının en önemli faktör olduğu, burada kullanılan yem bitkisini az su gerektirecek şekilde yetiştirilenlerden seçmek su ayak izinin azalmasını sağlayacağı belirtilmiştir. Yenilenebilir enerjinin tercih edilmesi ile de su ayak izinin azaltılabileceği saptanmıştır. Sonuç olarak; süt işleme fabrikasında kullanılmakta olan enerji ve makine temizliği için tüketilen su miktarının ve hayvanlara verilen su ve yem miktarlarının su ayak izini etkileyen en belirleyici faktörler olduğu görülmüştür. Bireysel olarak su ayak izi hesaplanmak istenirse eğer ne kadar sütün kullanıldığı, sütün

türü ve ısıtmak için ne kadar enerji kullanıldığı gibi konuların ele alınması gerektiği belirtilmiştir.

Ülkemizde su ayak izi çalışmaları uluslararası araştırmalara kıyasla yenidir. Çeşitli üniversitelerde tez çalışmaları ve lisansüstü düzeyde dersler mevcuttur. Ancak bu konu giderek daha fazla ilgi çekmektedir. Sürdürülebilir su yönetimi için akıllı bir araç olarak kullanılması mümkündür. Avrupa Birliği'ne aday olan ülkemizde su kaynaklarının havza bazında yönetilmesi için çalışmalar devam etmektedir. İklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri değerlendirildiğinde su kaynaklarının verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından 2021 yılında ilk defa düzenlenen 1. Su Şurası'nda su ayak izi çalışma grubu kurulmuş ve üç aylık bir süreçte ülkemizdeki konu ile ilgili tüm uzmanların görüşleri alınmış, rapor hazırlanmıştır. Şura sonuç bildirgesinde su ayak izi değerlendirmesi ile ilgili olan kararlar şöyledir:

- Kullanılmış suların yeniden kullanım için uygun kalitede olacak şekilde iyileştirilip özellikle tarımsal sulama faaliyetleri için aktif hale getirilmesi, su ayak izlerinin sektörel ve havza bazında belirlenmesi ve su verimliliğinin sanayi alanında yaygın hale getirilmesi sağlanacaktır.
- Atık Su Arıtma Tesisleri projelendirilirken Nehir Havzası Yönetim Planları ile birlikte değerlendirilecek ve geri kazanım potansiyeli ve deşarj edilmiş olduğu alıcı ortam için kullanım amaçları da göz önünde bulundurulacaktır.
- Su kaynaklarının kalitesini koruma amaçlı, alıcı ortam kriterleri dikkate alınarak deşarj yapılacak ve buna uygun standartlara geçilecektir. Ayrıca miktar ve kalite açısından suları iyileştirme amacıyla nehir havza yönetim planlarında bulunan tedbirler uygulamaya alınacaktır.

- 2022 yılı itibariyle su, meteoroloji ve iklim değişikliği konularında toplumun her kesimi için okuryazarlığı geliştirmek amacıyla eğitimler ve çeşitli bilinçlendirme faaliyetleri yapılacaktır.

Görüldüğü üzere, ülkemizde su ayak izi göreceli olarak yeni bir konudur. Özellikle havza bazında su ayak izi değerlendirmesi yapılması önem taşımaktadır. Gerçekleştirilen tez çalışmasının bu bağlamda ülkemizde su yönetiminin daha etkin yürütülmesine katkı yapacağı düşünölmektedir.

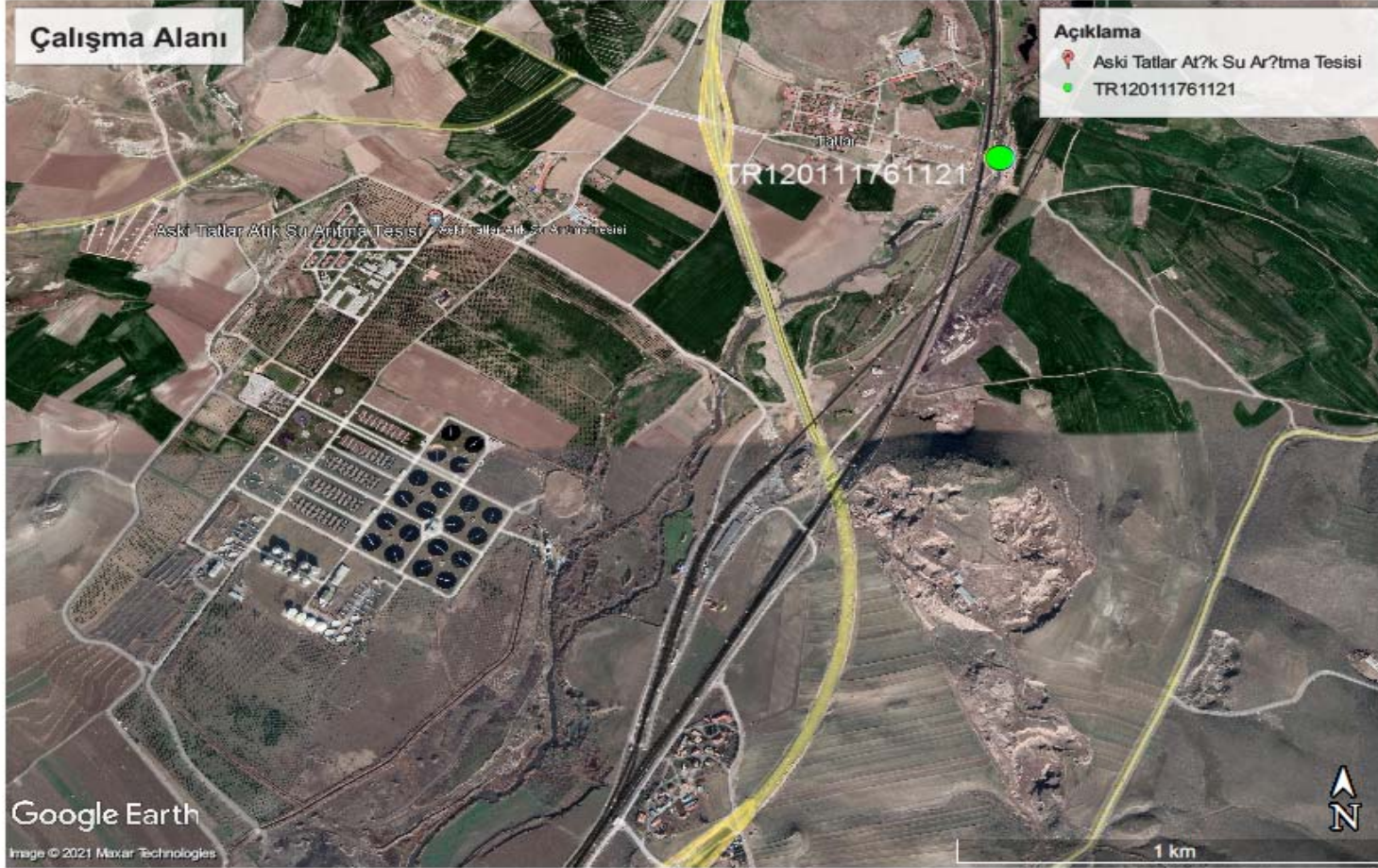


3. YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Hesaplanan gri su ayak izi, tüm Ankara'nın kentsel atıksularına ait olduğundan, çalışma alanı Ankara ili olarak kabul edilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilmesi için veri toplanan nokta ise; Ankara Tatlar Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi ve arıtılmış suyun deşarj edildiği Ankara Çayı'nda DSİ'nin düzenli olarak numune aldığı SAGİN026 (TR120111761121) kodlu bir istasyondur.

Çalışma için seçilen; Ankara Tatlar Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi ve buradan deşarj edilen arıtılmış suyun ulaştığı SAGİN026 (TR120111761121) kodlu Ankara Çayı'nda bulunan DSİ'nin sürekli numune alarak kalitesini izlediği istasyonun görüntüsü Şekil 8. de verilmiştir.



Şekil 8. Çalışma alanının görüntüsü

TS EN ISO/IEC 17025 “Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği için Genel Şartlar” çerçevesinde Türk Akreditasyon Kurumu (TURKAK) tarafından AB-0308-T belge numarası ile akredite olan ASKİ tarafından elde edilmiş veriler kullanılmıştır.

Alınan veriler; ASKİ tarafından Amonyum için TS EN ISO 14911 (İyon Kromatografi metodu), Toplam Azot için ISO 29441 (Akış analizi ve spektrometrik tespit yöntemi), / AOAC Official Method 973.48 (Kjeldahl Metodu), Toplam Fosfor için TS EN ISO 15681-2 (Akış analizi yöntemi) / SM 4500 Phosphorus (Özütleme ve Spektrometrik Metod) ve KOİ için SM 5220 B (Açık Refleks-Titrimetrik Metot) standartları kullanılarak elde edilmiştir.

2020 yılına ait Ankara Tatlar Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi giriş ve çıkışında elde edilen değerler ve ortalamaları Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir.

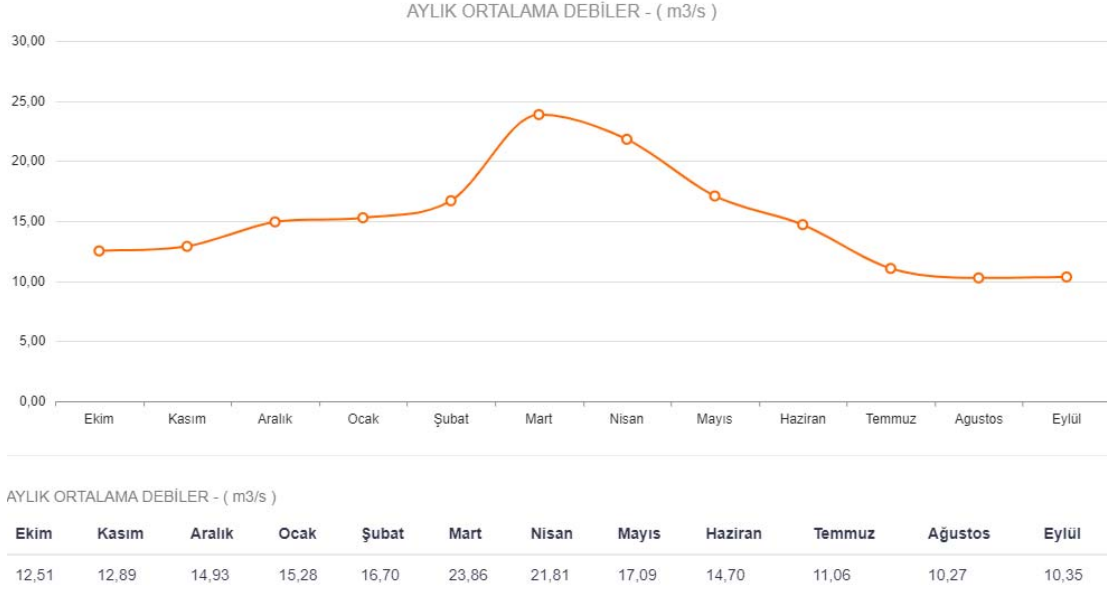
Tablo 3. Ankara Merkezi AAT giriş debisi ve tesis girişi KOİ verileri

2020			
	Giriş KOİ (mg/L)	Çıkış KOİ (mg/L)	Giriş debi (m ³ /gün)
Mart 2020	412,9	82,3	856192
Nisan 2020	444,1	57,1	919421
Mayıs 2020	387,1	45,8	946905,3
Haziran 2020	332,8	63,1	981352
Temmuz 2020	485,1	41,1	836828,7
Ağustos 2020	744,2	40,7	829021,8
Eylül 2020	476,7	41,8	793861,1
Ekim 2020	480,6	55,5	826935,1
Kasım 2020	439,6	53,4	793032,5

Tablo 4. Ankara Merkezi AAT kirleticilerin tesis giriş ve çıkış verileri

	Tesis Giriş			Tesis Çıkış		
	Amonyum (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	Toplam Azot (mg/L)	Amonyum (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	Toplam Azot (mg/L)
Ocak 2020						
Şubat 2020						
Mart 2020						
Nisan 2020						
Mayıs 2020						
Haziran 2020	21,6	1,3	35,4	11,8	0,4	28,6
Temmuz 2020						
Ağustos 2020	19,7	2	43,2	11,8	1	34,3
Eylül 2020	7,6	3,7	69,3			
Ekim 2020						
Kasım 2020	24,1	2,1	44,8			
Aralık 2020	15,1	2,3	47,3	1,4	0,1	43,1
Yıllık ortalama	17,6	2,3	48	8,3	0,5	35,3

Hesaplamaların yapıldığı 2020 yılı için güncel debi değerlerinin bulunmaması sebebiyle DSİ' nin 2005-2014 yılları arası düzenli olarak numune alıp su kalitesinin izlenmesi amacıyla elde etmiş olduğu deney sonuçlarından 10 yıllık debi ortalamaları kullanılmıştır. DSİ' nin 2005-2014 yılları arası her ay için elde ettiği ve ortalamasını aldığı debi değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Ayrıca ASKİ (Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi)' nin arıtılmış olduğu ve deşarj ettiği suda belirli değerleri sağlaması gerektiği için devamlı olarak izlediği parametrelere (KOİ, Toplam azot, Toplam fosfor ve Amonyum) ait verilerden faydalanılmıştır.



Şekil 9. Ankara AAT aylık ortalama debi değerleri (2005-2014)

3.2. Gri Su Ayak izi Hesaplama yöntemi

Hesaplamalar için Hollanda’ da bulunan Twente Üniversitesi ve Water Footprint Network-WFN (Su Ayak İzi Ağı) tarafından geliştirilmiş hesaplama yöntemi kullanılmıştır. “Water Footprint Assesment Manual (Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu) ” doğrudan su ayak izi hesaplamaları için esas kaynaktır. Dolaylı Su Ayak İzi hesaplamalarında da birçok yaklaşım benimsenmiş olup; Available Water Remaining metodu, Water Scarcity metodları, SimaPro gibi LCA programlarına entegre edilmiş ve Yaşam Döngüsü Analizi yöntemi ile hesaplanabilen metodlar kullanılmaktadır.

Bu araştırmada ise kentsel atık sular için gri su ayak izi hesabı;

$$WF_{gray} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$$

Formülü kullanılarak yapılmıştır (Hoekstra ve ark., 2011).

Buradaki değerler;

WF_{gray} = Gri su ayak izi değeri

L = Alıcı ortama verilen kirletici yükü ($Q_{eff} \times C_{eff}$)

C_{max} = Alıcı ortam için çevresel kalite standardı olarak belirlenen kirletici/lerin konsantrasyon değeri

C_{nat} = Alıcı su ortamındaki kirleticinin arkaplan konsantrasyonu

Q_{eff} : Atık su debisi

C_{eff} : Kirletici için çıkış konsantrasyonu

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Seçilen Parametreler İçin Gri Su Ayak İzi Değerleri

Su kaynaklarındaki kirliliği gösteren en önemli parametrelerden KOİ, toplam azot, toplam fosfor ve amonyum çoğunlukla gri su ayak izi değerinin bakılıp yüksek sonuçların elde edildiği kirleticiler olup, bu çalışmada da tercih edilerek gri su ayak izi hesabında kullanılmıştır.

Gri su ayak izi hesaplamalarında kullanılan nehir ve AAT çıkışı debi değerleri Tablo 5'te farklı birimlerde gösterilmiştir. 2019 debi değeri gözetimsel izleme için yılda bir kez alınmış olan bir değerdir. Çalışmamızda diğer parametreler için 2020 ASKİ verileri kullanılmış ve debi için ise 10 yıllık (2005-2014) ortalama değerler baz alınmıştır.

Tablo 5. Ankara Çayı ve AAT için debi değerleri

Aylar	Nehir Debisi 2005-2014 m3/sn	Nehir Debisi 2005-2014 m3/gün	Nehir Debisi 2019 m3/gün	Nehir Debisi 2005-2014 Mm3/gün	AAT Çıkış Debisi m3/gün
Ocak	15,28	1320192	-	-	-
Şubat	16,7	1442880	-	-	-
Mart	23,86	2061504	-	-	856192
Nisan	21,81	1884384	-	-	919421
Mayıs	17,09	1476576	-	-	946905
Haziran	14,7	1270080	-	-	981352
Temmuz	11,06	955584	-	-	836829
Ağustos	10,27	887328	-	-	829022
Eylül	10,35	894240	-	-	793861
Ekim	12,51	1080864	-	-	826935
Kasım	12,89	1113696	-	-	793033
Aralık	14,93	1289952	-	-	-
Ortalama	15,1	1306440	108432	1,3	864839

ASKİ den alınan verilere göre yılda üç kez ölçülmüş olan toplam azot, toplam fosfor ve amonyum parametrelerinin atık su arıtma tesisi çıkışındaki deşarj değerleri, 9 aylık KOİ değerleri ve ortalamaları Tablo 6’da verilmiştir (Değerler tam sayı olarak gösterilmiştir).

Tablo 6. KOİ, Toplam Azot, Toplam Fosfor ve Amonyum AAT çıkış değerleri

Aylar	AAT Çıkış Değerleri			
	KOİ mg/L	Toplam azot mg/L	Toplam fosfor mg/L	Amonyum mg/L
Ocak	-	-	-	-
Şubat	-	-	-	-
Mart	82	-	-	-
Nisan	57	-	-	-
Mayıs	46	-	-	-
Haziran	63	29	0	12
Temmuz	41	-	-	-
Ağustos	41	34	1	12
Eylül	42	-	-	-
Ekim	55	-	-	-
Kasım	53	-	-	-
Aralık	-	43	0	1
Ortalama	53	35	1	8

ÇKS Değerleri “YERÜSTÜ SU KALİTESİ YÖNETMELİĞİ” Ek 5 te yer alan Tablo 2: Kıtaıçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterlerinden alınmıştır. Tablo 9’da verilen aynı zamanda Cmax olarak hesaplamalarda kullanılan değer ÇKS (Çevresel Kalite Standardı) değerleridir. Durmuş (2021), yapmış olduğu çalışmada NSF-WQI kalite indeksine göre Ankara Çayı’nın su kalitesinin “kirli” olduğunu bulmuştur. DSİ’ nin 2019 yılında hazırlamış olduğu raporda da çalışma alanının olduğu istasyondaki Ankara Çayı kalite durumunu gösteren bilgiler Tablo 7. de verilmiştir. Çay, kalite durumu açısından kötü durumda olması sebebiyle, hesaplamalarda Tablo 8’de III (Orta) su kalite sınıfı altındaki değerler kullanılmıştır.

Tablo 7. Ankara Çayı SAGİN026 kodlu istasyonun kalite durumu (DSİ, 2019)

Ekolojik Durum				Kimyasal Durum	Yerüstü Suyu Durumu
Biyolojik Kalite Unsurları	Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal	Belirli Kirleticiler	Hidromorfolojik Kalite Unsurları	Öncelikli Maddeler ve AB Düzeyinde Diğer	
Kötü	Orta	Orta		Orta	Kötü

Tablo 8. YERÜSTÜ SU KALİTESİ YÖNETMELİĞİ" Ek 5 Tablo 2'ye göre kalite kriterleri

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
Çözülmüş 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 9. Seçilen parametreler için ÇKS Değerleri (Cmax)

ÇKS Değerleri (Cmax)			
KOİ	Toplam azot	Toplam fosfor	Amonyum
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
50	11,5	0,2	1

Tablo 10’da verildiği gibi kirletici yükü L; atık su arıtma tesisinin çıkış debisiyle tesisten deşarj edilen atık sudaki kirleticilerin konsantrasyonunun çarpılmasıyla elde edilmiştir. Burada atık su arıtma tesisinin çıkış debisi giriş debisiyle aynı kabul edilmiştir. Hesaplamada günlük olarak alınan debi değerlerinin aylık ortalamaları baz alınmıştır.

Tablo 10. Kirletici yükünün (L) parametreler için hesaplanmış değerleri

Aylar	L (Qeff*Ceff)			
	KOİ kg/gün	Toplam azot kg/gün	Toplam fosfor kg/gün	Amonyum kg/gün
Ocak	-	-	-	-
Şubat	-	-	-	-
Mart	70433057,7	-	-	-
Nisan	52526919,6	-	-	-
Mayıs	43404916,7	-	-	-
Haziran	61890597,4	28066666,2	392540,8	11579953
Temmuz	34396546,9	-	-	-
Ağustos	33704025,8	28435449,1	829021,8	9782458
Eylül	33164870,6	-	-	-
Ekim	45854886,7	-	-	-
Kasım	42335737,1	-	-	-
Aralık	-	-	-	-
Ortalama	46412395,4	28251057,7	610781,3	10681205

C_{max} ve C_{nat} değerleri ile bunların farkı her bir parametre için Tablo 11’de verilmiştir. C_{nat} insan müdahalesi olmadığında alıcı su ortamında oluşan konsantrasyonu ifade eder. Doğal ortamda konsantrasyonlar tam olarak bilinmediğinde ve düşük olduğu tahmin ediliyorsa eğer kolaylık olması amacıyla sıfır alınabilir. Sıfır varsayıldığında ancak sıfıra eşit olmadığında ise; gri su ayak izi değeri azımsanmış olacaktır (Hoekstra ve ark., 2011). Ancak bu çalışmada doğal ortam konsantrasyonları bilinmediğinden C_{nat} sıfır kabul edilmiştir.

Tablo 11. Seçilen parametreler için Cmax ve Cnat değerleri ile bunların farkı

	Cnat	Cmax-Cnat			
		KOİ kg/gün	Toplam azot kg/gün	Toplam fosfor kg/gün	Amonyum kg/gün
Yıllık Ortalama	0	50	11,5	0,2	1

Formülde bu değerler yerine koyularak; her bir parametre için gri su ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Tablo 12’de m³/gün olarak sonuçlar verilmiştir.

Öncelikle kirlilik yükü L için bir yıllık ortalama değeri kullanılmıştır. Aylık hesaplamaları yapılırken atık su arıtma tesisinin çıkış debisiyle (Q_{eff}) tesisten deşarj edilen atık sudaki parametrelerin konsantrasyonu (C_{eff}) çarpılmıştır. Mart ayı verileri kullanılarak KOİ parametresi için L hesaplaması örnek olarak gösterilmiştir. Bütün aylara bu şekilde hesaplama yapılarak tüm senenin ortalama değeri alınır.

$$L = Q_{eff} \times C_{eff} = 856192 \times 82 = 70433057,7 \text{ kg/gün}$$

Ortalama L değeri ise hesaplamalar sonucunda 46412395,4 kg/gün çıkmıştır.

$$WF_{gray} = \frac{L}{C_{max}-C_{nat}} = \frac{46412395,4}{50} = 928247,9 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Tablo 12. Seçilen parametrelere ait gri su ayak izi değerleri (m³/gün)

	WF gray (m ³ /gün)			
	KOİ	Toplam azot	Toplam fosfor	Amonyum
Ortalama	928247,9	2456613,7	3053906,6	10681205

Tablo 13. de ise hesaplanmış olan gri su ayak izi sonuçları $Mm^3/gün$ olarak gösterilmiştir. Buna göre; en fazla değer amonyum parametresine ($10,7 Mm^3/gün$) ait iken en az gri su ayak izinin KOİ ye ($0,9 Mm^3/gün$) ait olduğu görülmüştür. Ene ve Teodosiu (2011), Prut-Barlad havzasında bulunan 22 atık su arıtma tesisinde, 2006-2007 yılları için yapmış oldukları hesaplamada amonyağın gri su ayak izi değerini sırasıyla 0,46 ve 0,50 $Mm^3/gün$, KOİ nin gri su ayak izini $0,05 Mm^3/gün$ olarak bulmuşlardır. Bu sonuçlara göre; asimilasyon kapasitesinin aşıldığı, suyun kirlilik seviyesinin arttığı, arıtma performansının yeterli olmadığı ve ileri arıtmanın gerektiği vurgulanmıştır. Tatlar AAT için hesaplanmış olan değerlerde de benzer sonuçlar görülmektedir. Su kaynakları, havzalar ve çevresel koşulların farklı olması sebebiyle rakamsal karşılaştırma yapmak mümkün görünmemektedir. Ancak deşarj edildiği nehrin debisiyle beraber değerlendirildiğinde KOİ parametresi hariç diğerlerinin asimilasyon kapasitesini aştığı görülmüştür.

Tablo 13. Seçilen parametrelerin gri su ayak izi değerleri ($Mm^3/gün$)

	WFgray ($Mm^3/gün$)			
	KOİ	Toplam azot	Toplam fosfor	Amonyum
Ortalama	0,9	2,5	3,1	10,7

Ayrıca KOİ için aylık gri su ayak izi hesaplaması da yapılmıştır. Tablo 14'te gösterildiği üzere arıtımı yapılan ve günlük olarak sudaki değeri izlenen KOİ nin tesis çıkışı verileriyle yapılan hesaplamada gri su ayak izi ortalama $0,9 Mm^3/gün$ olarak bulunmuştur. Deşarj değerinin alıcı ortam için belirlenen sınırlara uyma zorunluluğundan dolayı yıl içinde de çok fazla saptığı görülmemektedir. Maksimum $1,4 Mm^3/gün$ iken minimum $0,7 Mm^3/gün$ olduğu görülmüştür.

Tablo 14. KOİ parametresi için aylık gri su ayak izi

	AAT Çıkış Debisi m ³ /gün	KOİ mg/L	ÇKS Değerleri (C _{max}) KOİ mg/L	L (Q _{eff} *C _{eff}) KOİ kg/gün	C _{nat}	C _{max} -C _{nat}	Aylık WFgray KOİ m ³ /gün	Aylık WFgray KOİ Mm ³ /gün
Ocak	-	-		-	0	50	-	-
Şubat	-	-		-	0	50	-	-
Mart	856192	82		70433057,7	0	50	1408661,2	1,4
Nisan	919421	57		52526919,6	0	50	1050538,4	1,1
Mayıs	946905	46		43404916,7	0	50	868098,3	0,9
Haziran	981352	63		61890597,4	0	50	1237811,9	1,2
Temmuz	836829	41		34396546,9	0	50	687930,9	0,7
Ağustos	829022	41		33704025,8	0	50	674080,5	0,7
Eylül	793861	42		33164870,6	0	50	663297,4	0,7
Ekim	826935	55		45854886,7	0	50	917097,7	0,9
Kasım	793033	53		42335737,1	0	50	846714,7	0,8
Aralık	-	-		-	0	50	-	-
Ortalama		53	50				928247,9	0,9

Giriş ve çıkış değerleri için gri su ayak izi hesaplayıp karşılaştırma yapabilmek amacıyla, tesis girişi için KOİ ye ek olarak diğer parametrelere de hesaplama yapılmıştır. Tablo 15’ te giriş ve çıkış aynı kabul edilen atık su arıtma tesisi debisi ile Amonyum, Toplam Fosfor ve Toplam Azot için tesis giriş değerleri verilmiştir.

Tablo 15. AAT giriş değerleri

Aylar	AAT Giriş/Çıkış Debisi m ³ /gün	AAT Giriş Değerleri		
		Amonyum mg/L	Toplam Fosfor mg/L	Toplam Azot mg/L
Şubat	-	-	-	-
Mart	856192	-	-	-
Nisan	919421	-	-	-
Mayıs	946905	-	-	-
Haziran	981352	21,6	1,3	35,4
Temmuz	836829	-	-	-
Ağustos	829022	19,7	2	43,2
Eylül	793861	7,6	3,7	69,3
Ekim	826935	-	-	-
Kasım	793033	24,1	2,1	44,8
Aralık	-	15,1	2,3	47,3
Ortalama		17,6	2,3	48

Amonyum, Toplam Fosfor ve Toplam Azot için Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre belirlenmiş ÇKS değerleri Tablo 9’da yer almaktadır. Tesis girişi için yapılan gri su ayak izi hesaplamalarında Cmax olarak kullanılmıştır.

Tablo 16’da Amonyum, Toplam Fosfor ve Toplam Azot parametrelerinin tesis girişi için yapılan kirletici yükü (L) hesabı gösterilmiştir.

Tablo 16. Seçilen parametreler için tesis girişi kirletici yükü (L) değerleri

Aylar	L (Qeff*Ceff)		
	Amonyum kg/gün	Toplam Fosfor kg/gün	Toplam Azot kg/gün
Şubat	-	-	-
Mart	-	-	-
Nisan	-	-	-
Mayıs	-	-	-
Haziran	21197203	1275757,6	34739859,6
Temmuz	-	-	-
Ağustos	16331730	1658043,7	35813743,4
Eylül	6033344	2937286,1	55014574,2
Ekim	-	-	-
Kasım	19112084	1665368,3	35527857,7
Aralık	-	-	-
Ortalama	15668590	1884113,9	40274008,8

Tesis girişi gri su ayak izi hesabında $C_{max}-C_{nat}$ değerleri Tablo 17’de, sonuç değerler ise Tablo 18 ($m^3/gün$) ve Tablo 19’da ($Mm^3/gün$) verilmiştir.

Tablo 17. Amonyum, Toplam Fosfor ve Toplam Azot için C_{max} ve C_{nat} farkı

	Cnat	Cmax-Cnat		
		Amonyum kg/gün	Toplam Fosfor kg/gün	Toplam Azot kg/gün
Yıllık Ortalama	0	1	0,2	11,5

Tablo 18. Tesis girişi seçilen parametrelerin gri su ayak izi değerleri (m³/gün)

	WF gray (m ³ /gün)		
	Amonyum	Toplam Fosfor	Toplam Azot
Ortalama	15668590	9420569,5	3502087,7

Tablo 19. Tesis girişi seçilen parametrelerin gri su ayak izi değerleri (Mm³/gün)

	WF gray (Mm ³ /gün)		
	Amonyum	Toplam Fosfor	Toplam Azot
Ortalama	15,7	9,4	3,5



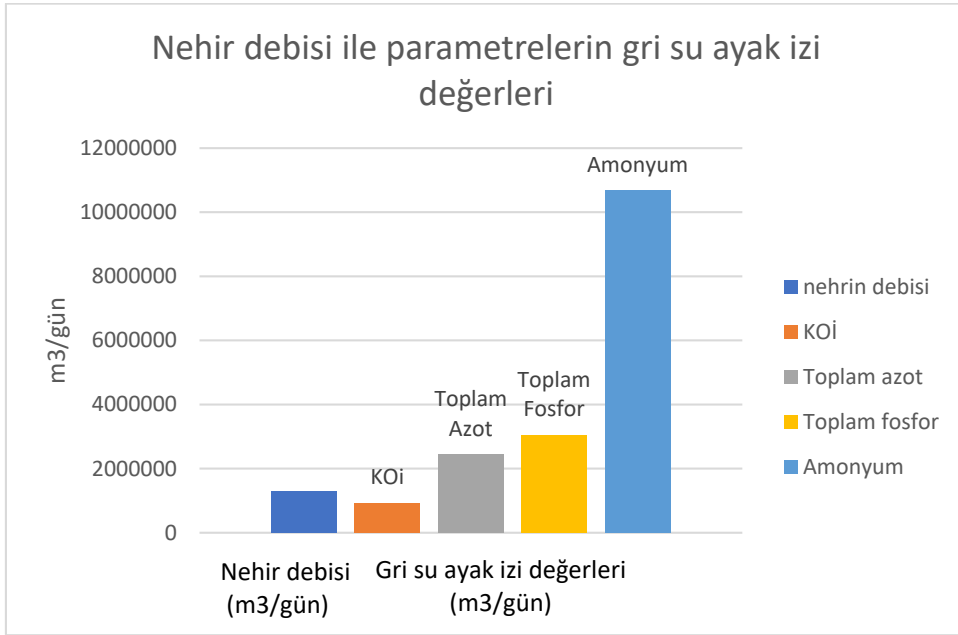
4.2. Arıtma Tesisinin Gri Su Ayak İzini Azaltma Etkisi

Arıtma tesisinin, gri su ayak izini ne kadar azalttığını görmek amacıyla, KOİ parametresinin Tablo 20’de gösterildiği gibi tesis girişi değerleri için de gri su ayak izi hesabı yapılmıştır.

Tablo 20. Tesis girişi KOİ değerleri için gri su ayak izi

	KOİ mg/L	AAT Giriş/Çıkış Debisi m ³ /gün	ÇKS Değerleri (Cmax) KOİ mg/L	L (Q _{eff} *C _{eff}) KOİ kg/gün	C _{nat}	C _{max} -C _{nat} KOİ kg/gün	WF gray m ³ /gün	WF gray Mm ³ /gün
Ocak	-	-		-	0	50	-	-
Şubat	-	-		-	0	50	-	-
Mart	412,9	856192		353478867	0	50	7069577	7,1
Nisan	444,1	919421		408328996	0	50	8166580	8,2
Mayıs	387,1	946905,3		366582955	0	50	7331659	7,3
Haziran	332,8	981352		326561223	0	50	6531225	6,5
Temmuz	485,1	836828,7		405973517	0	50	8119470	8,1
Ağustos	744,2	829021,8		616919790	0	50	12338396	12,3
Eylül	476,7	793861,1		378433586	0	50	7568672	7,6
Ekim	480,6	826935,1		397413617	0	50	7948272	7,9
Kasım	439,6	793032,5		348629304	0	50	6972586	7
Aralık	-	-		-	0	50	-	-
Ortalama	467	864838,8	50		0	50	8005160	8

Gri su ayak izi değerlendirilirken asimilasyon kapasitesini aşp aşmadığı hususunda nehrin debisi referans alınır. Şekil 10'da gösterildiği üzere KOİ parametresi dışında diğerleri (Toplam azot, toplam fosfor ve amonyum) asimilasyon kapasitesini aşmıştır ve nehrin kirliliğine sebep olmaktadır. Bir alıcı su kütlesinin asimilasyon kapasitesi belirli bir maddenin izin verilen maksimum konsantrasyonu ile arkaplan konsantrasyonu arasındaki farka bağlıdır (Hoekstra ve ark., 2011).

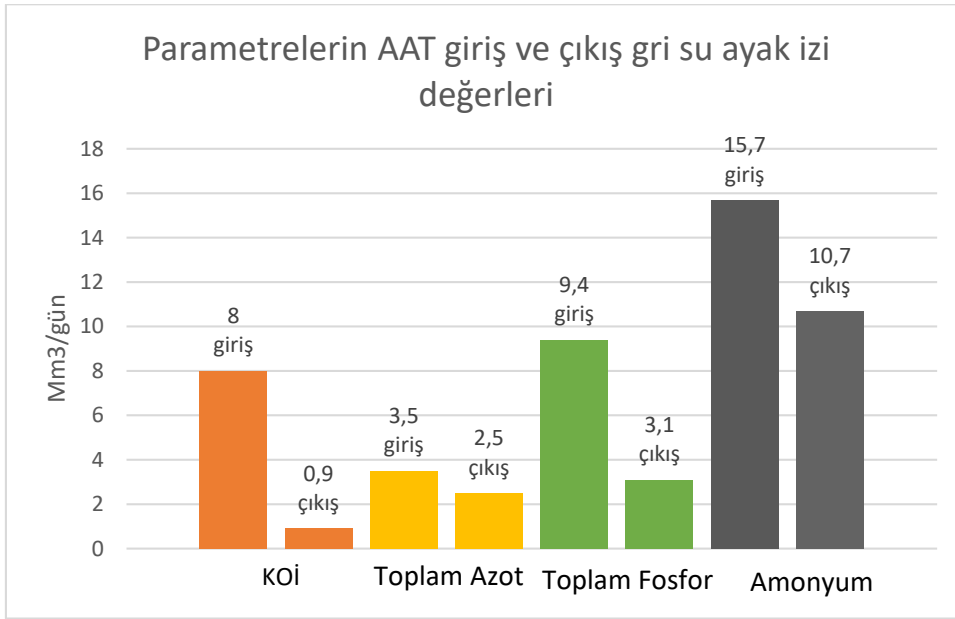


Şekil 10. Nehir debisi ile seçilen parametrelerin gri su ayak izi kıyaslaması

Suda amonyum arttıkça toplam azotun da artması gerekir, ancak burada gri su ayak izi hesabı yaparken paydada bulunan ÇKS değerlerine (C_{max}) bölüldüğü için toplam azot ve amonyumun normalde sahip olduğu türden bir korelasyon görülememiştir. Yani daha yüksek bir değer olan toplam azotun 11,5 mg/L, daha düşük değere sahip amonyumun 1 mg/L olarak belirlendiği ÇKS değerlerinden dolayı (Tablo 9) gri su ayak izi değerleri toplam azot ve amonyum arasında beklenen türden bir ilişki yansıtmamıştır.

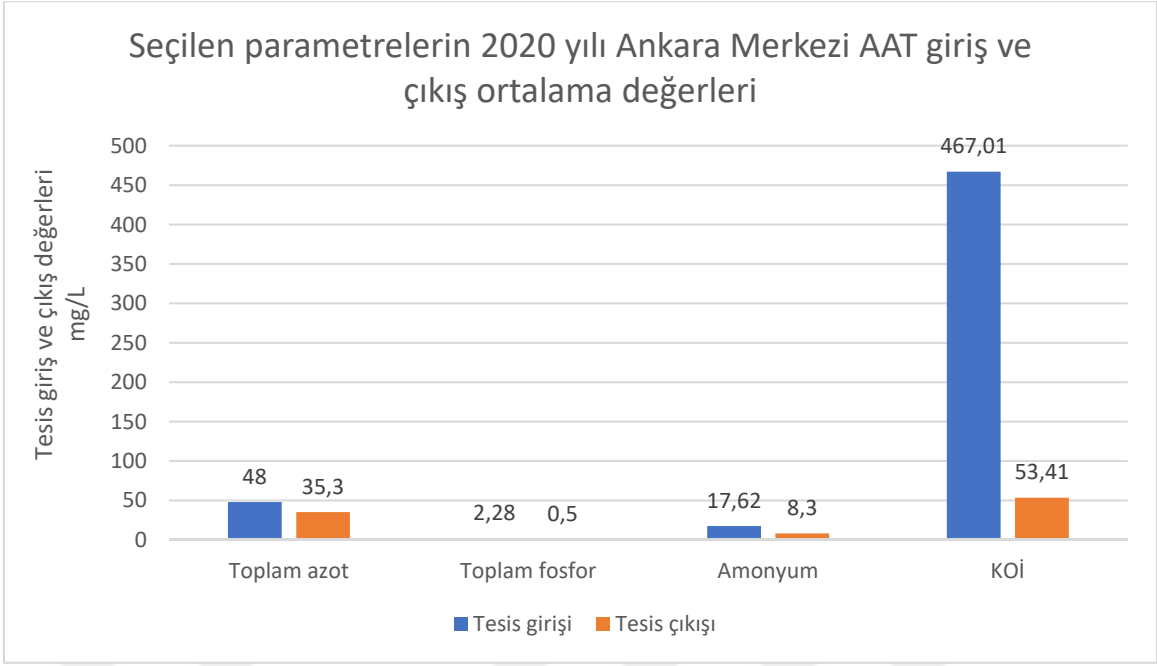
Şekil 11'de KOİ, toplam azot, toplam fosfor ve amonyum parametrelerinin atık su arıtma tesisi girişinde ve çıkışında elde edilen verilere göre yapılmış olan gri su ayak izi değerleri

birlikte verilmiştir. Buradan her bir kirlenici için giriş ve çıkış değerleri alınıp karşılaştırıldığında; giderimi yapılan KOİ nin tesis çıkışındaki gri su ayak izinin büyük oranda azaldığını, diğer kirlenici oranlarında da tesis içerisindeki procesten kaynaklı azalma olması sebebiyle gri su ayak izlerinin giriş değerlerine kıyasla azaldığı görülmektedir.



Şekil 11. Seçilen parametrelerin AAT giriş ve çıkışındaki gri su ayak izi değerleri

Ankara Merkezi AAT nin atık su arıtımındaki verimini ve atık suyun arıtılmasının önemini vurgulanması amacıyla Şekil 12. de toplam azot, toplam fosfor, amonyum ve KOİ kirlenicilerinin tesis girişi ve tesis çıkışı verileri karşılaştırılmıştır. Buradan giderimi yapılan KOİ parametresinin yıllık ortalama değerinin 467,01 mg/L den 53,41 mg/L ye düşerek % 90 a yakın bir verimle arıtımının gerçekleştiği görülmektedir. Diğer kirlenicilerin arıtım verimleri; toplam azot yaklaşık %27, toplam fosfor % 78 ve amonyum yaklaşık % 53 tür. Sonuç olarak KOİ gideriminin yüksek olması, KOİ kaynaklı gri su ayak izini azaltmıştır. Diğer üç parametrenin (toplam azot, toplam fosfor ve amonyum) de tesisteki procesten kaynaklı giderimi olması sebebiyle, bu kirlenicilerin neden olduğu gri su ayak izinde azalma sağlanmıştır. Eğer ileri arıtım da yapılırsa bu parametrelerin sebebiyet verdiği gri su ayak izi değerlerinin daha da azaldığı görülecektir.



Şekil 12. Seçilen parametrelerin 2020 yılı Ankara Merkezi AAT giriş çıkış değerleri

Zhang ve ark. (2019), yapmış oldukları araştırmalarında hızlı şehirleşme ve yaşam şartlarının iyileşmesinden dolayı Çin'in gri su ayak izinin büyük oranda artmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle özellikle büyük şehirlerde atık su arıtma tesislerinden deşarj edilen suyun standartlarının geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Buna paralel olarak bu çalışmada verileri kullanılan, bir metropol olan ve giderek büyüyen Ankara için de benzer sonuçlar görülebileceğinden tesis giriş ve çıkış verileri karşılaştırıldığında ve ayrıca gri su ayak izi değerlerine bakıldığında; kirletici parametrelerin arıtılmasının önemi açıkça görülmektedir. Örneğin; su kalitesi değerlendirilirken izlenen parametrelerden biri olan KOİ, tesis girişi gri su ayak izi değeri 8 Mm³/gün iken, arıtma sağlandığı için tesis çıkışında hesaplanan gri su ayak izinin 0,9 Mm³/gün olarak çıktığı görülmüştür. Gri su ayak izi, KOİ için, arıtma tesisi sayesinde %89 azaltılmıştır. Nitekim tesis için yıllık ortalama verimin KOİ için %85 in üzerinde olduğu ASKİ tarafından belirtilmiştir (2021). Bu tesiste ikincil arıtma yapıldığı için azot ve fosfor giderimi yapılmamaktadır. Bu nedenle toplam azot ve toplam fosfor parametreleri için hesaplanan gri su ayak izi sonuçlarında çok büyük bir fark

görülmemektedir. Tesis girişi toplam azot için gri su ayak izi 3,5 Mm³/gün iken tesisi çıkışında 2,5 Mm³/gün e düşmüştür (%29 azaltım). Toplam Fosfor, tesis girişi için gri su ayak izi değeri 9,4 Mm³/gün iken, tesis çıkışında 3,1 Mm³/gün olmuştur (%67 azaltım). Aynı şekilde amonyum parametresi için gri su ayak izi tesis girişinde 15,7 Mm³/gün iken tesis çıkışında 10,7 Mm³/gün olduğu görülmüştür (%32 azaltım). Bu düşüşün sebebi; prosten kaynaklı olabileceği gibi, gerçekleşen denitrifikasyondan dolayı da olabilmektedir.

2016 yılında Li ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada; Çin'in Beijing şehrinin 2007 senesi için kentsel gri su ayak izi hesaplanmış ve toplam evsel gri su ayak izinin mavi su ayak izinden fazla olduğu saptanmıştır. Ayrıca nehir debisinden de fazla olduğu görülen gri su ayak izi değerinin, nehrin asimilasyon kapasitesini aştığını ve nehrin daha fazla deşarjı kaldırabilecek durumda olmadığını, sonunda su kalitesinin bozulacak seviyeye ulaşacağını vurgulamışlardır. Aynı şekilde bu çalışmada ise; Ankara Çayı'na yapılan deşarjlar evsel ve endüstriyel kaynaklıdır ve Tatlar Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi de arıtmış olduğu suyu buraya deşarj etmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Toplam Azot, Toplam Fosfor ve Amonyum parametreleri için hesaplanan gri su ayak izi değeri Çin'deki duruma benzer olarak nehrin asimilasyon kapasitesini aşmıştır. Bu da bize kirliliğin müdahale edilerek kontrol altına alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Hali hazırda kalite açısından kötü durumda olan Ankara Çayı, bu tür deşarjlarla daha da kirlenmekte, canlılar ve çevre açısından birçok zarara sebebiyet verebilmektedir.

Ene ve Teodosiu (2011), çalışmalarında Prut-Barlad havzasında bulunan atık su arıtma tesislerinde, 2006-2007 yılları arası BOİ, KOİ, amonyak, deterjanlar ve fenoller için gri su ayak izi hesaplaması yapmışlardır. Üçüncül arıtma yapan tesis olmadığını ve bundan dolayı azot fosfor giderimi yapılamayıp maksimum izin verilen konsantrasyonu çoğunlukla aştığını söylemişlerdir. Ayrıca bu çalışmada, hesaplanan bütün atık su arıtma

tesislerinin gri su ayak izi değerinin yüksek olduğu görülmüş ve bunun sebebinin yetersiz atık su arıtma performansı olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada da benzer sonuçlar görülmüş ve tesise giriş ile çıkış için gri su ayak izi hesabı sonucunda Toplam Azot, Toplam Fosfor ve Amonyum parametrelerinin gideriminin olmadığı ve dolayısıyla gri su ayak izi değerlerinin Ankara ayı debisinden yüksek çıktığı, kirliliğin asimilasyon kapasitesini aştığı saptanmıştır.

KOİ için hesaplanan gri su ayak izi değerleri incelendiğinde ise arıtma performansının yeterli olduğu ve alıcı ortam olan Ankara ayı için asimilasyon kapasitesini aşmadığı grlmştir. Böylelikle su kalitesinde ve kaynakların sürdürülebilirliği konusunda arıtmanın önemi vurgulanmıştır.

Boyacıoğlu (2018), lkemizde bulunan 8 il için toplam azot kirletici parametresini kullanarak gri su ayak izi hesaplaması yapmıştır. Turistik aktivitelerin yoğun olduğu ilde yüksek gri su ayak izi çıkarken, atık su arıtımının %100 yapıldığı ilde en az değerin çıktığı belirtilerek burada azot giderimi yapan arıtma tesislerinin önemi vurgulanmıştır. Aynı şekilde bu çalışmada da; Tatlar AAT de azot giderimi yapılmadığı için gri su ayak izi yüksek çıkmaktadır.

Mekonnen ve Hoekstra (2015), 2002-2010 yılları arası dünya geneli antropojenik azot yüküne göre hesaplamış oldukları gri su ayak izi değerinin $13 \times 10^{12} \text{ m}^3 / \text{yıl}$ olduğunu ve Çin'in %45 lik oranla büyük bir paya sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bu değerin dörtte üçünün (%75) tarımda yayılı kaynaklardan, %23 ünün evsel noktasal kaynaklardan ve son olarak da %2 sinin endüstriyel noktasal kaynaklardan meydana geldiğini saptamışlardır. Sonuç olarak daha çok atık su arıtma tesisinin yapılmasını ve azot gideriminin sağlanması, yani ileri (ncl) arıtma tekniklerinin kullanılmasını önermişlerdir. Bu çalışmada ise; 2020 yılı için Ankara Tatlar Merkezi Atık Su Arıtma

Tesisi çıkışı verileri kullanılarak, deşarj suyunda azot için hesaplanan gri su ayak izi 2,5 Mm³/gün dür. Azot giderimi yapılmadığı için deşarj edildiği Ankara Çayı'nda kirliliğe sebep olarak nehrin asimilasyon kapasitesini aşmaktadır. 2025 yılında yaklaşık 6 milyon EN (Eşdeğer Nüfus) ve 1.377.000 m³ /gün atık su arıtma kapasitesi ile N ve P giderimini gerçekleştirecek biçimde revize edilmesi planlanan tesiste bu sağlandığı vakit; deşarj edilen suyun da hem kirlilik seviyesi düşmüş hem de gri su ayak izi değeri azalmış olacaktır. Ayrıca tesisten Ankara Çayı' na deşarj edilen atık su mevzuattaki deşarj limitlerini sağlamış olsa bile, tesisin yüksek kapasitesi ve azot fosfor giderimini yapmadığı için çay üzerinde özellikle besi maddesi açısından baskı oluştuğu belirtilmiştir (SYGM, 2013).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatür bilgileri ve bu çalışmada elde edilen bulgular değerlendirildiğinde; atık su arıtma tesislerinin kirliliği azaltma, engelleme ve su kalitesini koruma noktalarında çok büyük bir öneme sahip olduğu görülmüştür. Yalnızca tesis sayısının artırılması değil, var olanların da iyileştirilmesi, aktif kullanılır hale getirilmesi, kapasitesinin artırılması, arıtma yöntemlerinin geliştirilip bilhassa ileri arıtmanın yapılması ile gri su ayak izinin azaltılması, kirliliğin önlenmesi, su kaynaklarının korunması ve iyileştirilmesi hususlarında çok gerekli olduğu görülmüştür. Ayrıca bu tesislerin sıkı bir şekilde denetlenmesi, alıcı ortama deşarj edilen suların ve bu deşarjları yapan işletmelerin/kişilerin kontrolünün daha katı kurullarla yapılması, alıcı ortam deşarj kriterlerinin daha katı kurullarla belirlenmesi ve sınırlandırılması çok önemlidir. Kalitesi bozulan Ankara Çayı'nın iyileştirilmesi ve asimilasyon kapasitesini aşmasına sebep olan parametrelerin tespit edilerek kontrolünün sağlanması hem su kaynağımız için hem de canlıların sağlığı için gereklidir.

Buna ek olarak; su ayak izi kavramının daha çok insan ve kurum tarafından bilinirliğinin artırılması sağlanmalıdır. Özellikle gri su ayak izi değerlerini kullanarak su kaynaklarının kirliliği noktasında önemli bir gösterge olduğunun bilincine varılması ve bunun devamlı kullanılır hale getirilmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

Allan, J. A. (1994). Overall perspectives on countries and regions. Rogers, P. and Lydon, P. Water in the Arab World: perspectives and prognoses, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 65-100

Allan, J. A. (2003). Virtual water-the water, food, and trade nexus. Useful concept or misleading metaphor?. Water international, 28(1), 106-113.

Ansorge, L., Stejskalová, L., & Dlabal, J. (2020). Effect of WWTP size on grey water footprint—Czech Republic case study. Environmental Research Letters, 15(10), 104020. doi: 10.1088/1748-9326/aba6ae

Blas, A., Garrido, A., & Willaarts, B. (2016). Evaluating the water footprint of the Mediterranean and American diets. Water, 8(10), 448.

Boyacıoğlu, H. (2018). New Approach to Municipal Grey Water Footprint Estimation: A Case Study for Aegean Region Cities in Turkey. *Environment And Ecology Research*, 6(2), 125-129. doi: 10.13189/eer.2018.060205

Bulut, S, Şahin, G. (2020). Pedagojik Formasyon Öğrencilerinin Su Tüketim Davranışları ile Su Ayak İzlerinin İncelenmesi. Akdeniz Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 3 (2), 53-70. Erişim adresi:

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/akuned/issue/56976/690021>

Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H. G., ve Gautam, R. (2005), The Water Footprint of Cotton Consumption. In Value of Water Research Report Series No. 18. <https://doi.org/10.7763/jocet.2016.v4.251>

Çankaya, T. (2019), Atık Su Arıtma Tesislerinde Su Ayak İzi Hesaplama Yöntem Önerisi ve Haddeleme-Galvanizleme Tesisinde Uygulama Örneği, Yüksek Lisans

Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. <https://doi.org/10.377/0033-2909.126.1.78>

Çapar G. (2019). Eğitim ve Ders Notları, Su Yönetimi Enstitüsü, Ankara Üniversitesi.

Çapar, G., Kutlu, T., Kayadelen H. A. (2019). *Suya Bıraktığımız İz: 'Su Ayak İzi'*. Su Dünyası Dergisi, 180, 35.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021). *Ankara İli 2020 Yılı Çevre Durum Raporu*. Erişim adresi:

https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/2020_ankara--cdr-20210728144247.pdf

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2020). *Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu*. Erişim adresi:

<https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/tu-rk-yecevresorunlariveoncel-kler-2020-20210401124420.pdf>

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2020). *Ankara İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu*. Erişim adresi:

https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/ankara_2019_cevre_durum_raporu-20200814085714.pdf

Dereli, E. M. (2018). *Durgun Kıta İçi Su Ortamlarında Ötrofikasyon ve Ağır Metal İle İlgili Süreçlerin Etkileşimlerinin Modellenmesi*. (Yayımlanmamış Doktora tezi).

Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2019). *Sakarya Havzası'nda Su Kalitesi İzleme ve DSİ Kapasite Geliştirme Projesi Nihai Raporu*.

Durmuş, M. T. (2021). Ankara Çayı su kalitesinin NSF-WQI indeksi kullanılarak belirlenmesi ve çözüm önerilerinin değerlendirilmesi.

Ene, S. A., & Teodosiu, C. A. R. M. E. N. (2011). Grey water footprint assessment of the wastewater treatment plants in the Prut-Barlad catchment. *Bul Inst Polit Iasi*, 57, 127-143.

Engin, S. (2019), Türkiye’de pamuk üretiminin su ayak izi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Francke, I. C. M., ve Castro, J. F. (2013), Carbon and water footprint analysis of a soap bar produced in Brazil by Natura Cosmetics. *Water Resources and Industry*, 1–2, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.003>

Gerbens-Leenes, P. W., Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2013), The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*, 1–2, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.001>

Li, H., Liang, S., Liang, Y., Li, K., Qi, J., Yang, X., ... & Yang, Z. (2021). Multi-pollutant based grey water footprint of Chinese regions. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105202.

Hoekstra, A. Y., ve Hung, P. Q. (2005). Globalisation of Water Resources: International Virtual Water Flows in Relation to Crop Trade. *Global Environmental Change*, 15(1), 45-56. https://doi.org/10.1016/_j.gloenvcha.2004.06.004

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M., & Aldaya, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*.

Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (9), 3232-3237.

Ilgar, R. (2008). Kaz Dağı’nın Üstü “Altın”dan Kıymetli mi? *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Volume 1 Issue 2. 170-182.

Ilgar, R. (2020). Su Okuryazarlığı ve Su Ayak İzi Üzerine Yaklaşımlar. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, cilt.13, sa.73, ss.294-307.

İraz, E. (2021). Fırat havzasının su ayak izinin hesaplanması. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.

- Mekonnen, M esfin Mergia. (2011). Spatially and Temporally Explicit Water Footprint Accounting (Issue June). <https://doi.org/10.3990/L9789036532211>
- Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2011). The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577-1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2015). Global Gray Water Footprint and Water Pollution Levels Related to Anthropogenic Nitrogen Loads to Fresh Water. *Environmental Science & Technology*, 49(21), 12860-12868. doi: 10.1021/acs.est.5b03191
- Muratoğlu, A. (2019). Üretim su ayak izinin incelenmesi: Diyarbakır ili için bir vaka çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. doi: 10.17341/gazimmfd.543933
- Özalp, F. N. (2005). Ankara ASKİ Atıksu Özellikleri ve Arıtma Sisteminin Değerlendirilmesi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öztaş, R.G. & Çelikyay, H.S. (2018). Alternative indicator on water management in planning: water footprint, V. International Multidisciplinary Congress Of Eurasia, 24.07.2018 26.07.2018, Barcelona, İspanya, 2018
- Su Kaynaklarımız. <https://www.aski.gov.tr/TR/ICERIK/Su-Kaynaklarimiz/32> (son erişim tarihi 10.04.2021)
- Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2013). *Sakarya Havzası Havza Koruma Eylem Planı*.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021. I. Su Şurası Sonuç Bildirgesi. Erişim adresi: <https://susurasi.gov.tr/Sayfa/Detay/1497>.
- Teke, B., & Kahya, C. (2021). İnek Sütü Üretim su Ayak İzi.

Turan, E. (2017). An evaluation of Turkey's water footprint. *Turkish Bulletin Of Hygiene And Experimental Biology*, 74(50), 55-62.

doi: 10.5505/turkhijyen.2017.29592

Water Footprint Network (WFN). <https://waterfootprint.org/en/> (son erişim tarihi 31.01.2021).

WWF Türkiye, (2014), Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu, www.wwf.org.tr.

Yerli, C., Şahin, Ü., Kızıloğlu, F., Tüfenkçi, Ş., & Örs, S. (2019). Van İlinde Silajlık Mısır, Patates, Şeker Pancarı ve Yoncanın Su Ayak İzi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 195-203. doi: 10.29133/yyutbd.541890



ÖZET

Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi, her geçen gün kirlenen Büyükşehir Ankara'nın endüstriyel ve evsel atık sularının arıtıldığı yerdir. Bu atık sular belirli arıtma aşamalarından geçirilerek deşarj kriterlerine göre Ankara Çayı'na verilmektedir. Ancak kirlilik seviyesi giderek artan nehir, su kalitesi açısından (sınıf IV) kötü durumdadır.

Bu çalışmada Ankara için kentsel gri su ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Ankara Tatlar Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi giriş ve çıkış verileri ve Ankara Çayı üzerinden alınmış olan debi değerleri kullanılmış, Prof. Arjen Hoekstra' nın geliştirmiş olduğu gri su ayak izi formülüyle hesaplama yapılarak değerlendirilmiştir. KOİ için hesaplanan gri su ayak izinin 0,9 Mm³/gün, toplam azot için 2,5 Mm³/gün, toplam fosfor için 3,1 Mm³/gün ve amonyum parametresi için 10,7 Mm³/gün olduğu görülmüştür. Sonuçlara göre; KOİ parametresi arıtılıp deşarj edildiği için asimilasyon kapasitesini aşmazken, diğer parametreler (Toplam Azot, Toplam Fosfor ve Amonyum) asimilasyon kapasitesini aşmıştır. Bunlar; nehrin giderek kirlenmesine sebep olacağını ve ilerleyen zamanda da yükü kaldıramaz duruma geleceğini göstermektedir. Bu nedenle mevcut arıtma tesisinde azot ve fosfor gideriminin yapılması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Gri su ayak izi, kentsel atıksu, atıksu arıtma tesisi

SUMMARY

Industrial and domestic waste water of Metropolitan Ankara, which is polluted day by day, is treated in Ankara Central Waste Water Treatment Plant. These waste waters are passed through certain treatment processes and discharged into the Ankara Stream according to the national discharge criteria. However, the pollution level is increasing and the river is in poor quality (class IV).

In this study, urban gray water footprint was calculated for Ankara. The input and output data of Ankara Tatlar Central Waste Water Treatment Plant and flow rates from Ankara Stream were used and calculated and evaluated with the formula developed by Prof. Arjen Hoekstra. It was determined that the gray water footprint calculated for COD was 0,9 Mm³/day, 2,5 Mm³/day for total nitrogen, 3,1 Mm³/day for total phosphorus and 10,7 Mm³/day for ammonium parameter. According to the results, while the COD parameter did not exceed the assimilation capacity since it was purified and discharged. On the other hand other parameters (Total Nitrogen, Total Phosphorus and Ammonium) exceeded the assimilation capacity. These show that the river will become increasingly polluted and will not be able to handle the load in the future. For this reason, nitrogen and phosphorus removal should be done by the existing treatment plant.

Keywords: Gray water footprint, urban waste water, waste water treatment plant

EK A- HAM VERİLER

Tablo A.1. 2020 yılı Ankara Merkezi AAT nin giriş ve çıkışında ölçülen değerler

2020			
Tarih	Giriş KOİ (mg/L)	Çıkış KOİ (mg/L)	Giriş debi (m ³ /gün)
1.03.2020			21.284
2.03.2020			24.223
3.03.2020			20.261
4.03.2020			674.583
5.03.2020			849.408
6.03.2020	508		973.151
7.03.2020			949.033
8.03.2020			929.624
9.03.2020	356	63	955.958
10.03.2020	325	63	1.018.266
11.03.2020	362	86	930.445
12.03.2020	369	54	898.154
13.03.2020	436	107	950.310
14.03.2020	386	106	965.470
15.03.2020	376	104	951.438
16.03.2020	480	108	957.887
17.03.2020	403	94	924.331
18.03.2020	424	90	938.944
19.03.2020	470	105	1.125.275
20.03.2020	441	66	1.028.373
21.03.2020	360	62	978.975
22.03.2020			961.797
23.03.2020	477	94	961.141
24.03.2020		91	988.991
25.03.2020	397		939.886
26.03.2020	444	94	891.597
27.03.2020	457	35	864.417
28.03.2020			1.155.734
29.03.2020			930.867
30.03.2020	356	90	897.419
31.03.2020	430	51	884.710
1.04.2020	484	101	889.424
2.04.2020	509	65	936.107
3.04.2020	469	98	1.687.471
4.04.2020			1.029.459
5.04.2020			964.580
6.04.2020	363	54	967.336
7.04.2020	554	62	962.449
8.04.2020	494	54	922.443
9.04.2020	272	39	924.454

10.04.2020	407	50	930.595
11.04.2020			906.529
12.04.2020			902.941
13.04.2020	509	74	878.930
14.04.2020	387	51	874.945
15.04.2020	352	60	859.984
16.04.2020	534	54	913.273
17.04.2020	490	45	863.064
18.04.2020	405	59	874.793
19.04.2020	320	67	889.733
20.04.2020	412	67	877.504
21.04.2020	347	30	866.661
22.04.2020	403	5	873.228
23.04.2020	335		877.835
24.04.2020	712	39	858.920
25.04.2020	385		824.214
26.04.2020	405		832.476
27.04.2020	426	52	858.328
28.04.2020	543	61	835.878
29.04.2020	494	66	830.673
30.04.2020	536	61	868.402
1.05.2020	241	8	923.628
2.05.2020	295	19	1.088.816
3.05.2020	203	14	1.347.766
4.05.2020	333	23	990.640
5.05.2020	325	31	968.324
6.05.2020	336	32	902.700
7.05.2020	980	35	992.128
8.05.2020	370	31	899.084
9.05.2020		56	891.123
10.05.2020		42	871.974
11.05.2020	380	51	916.091
12.05.2020	480	65	892.556
13.05.2020	368	18	894.459
14.05.2020	449	62	879.140
15.05.2020	394	50	882.265
16.05.2020	359	31	880.433
17.05.2020	310	46	903.936
18.05.2020	356	51	902.870
19.05.2020	595	42	885.765
20.05.2020	321	108	914.554
21.05.2020	342	88	901.345
22.05.2020	445	58	921.106
23.05.2020	260	15	859.503
24.05.2020	349	23	886.530
25.05.2020	416	57	796.303
26.05.2020	245	58	825.923
27.05.2020	385	49	852.583

28.05.2020	306	55	856.994
29.05.2020	838	68	1.586.615
30.05.2020	249	58	1.093.826
31.05.2020	297	77	945.084
1.06.2020	374	102	960.511
2.06.2020	271	102	929.525
3.06.2020	316	108	897.803
4.06.2020	396	96	939.805
5.06.2020	421	92	954.684
6.06.2020	286	69	852.016
7.06.2020	230	85	847.617
8.06.2020	368	73	846.637
9.06.2020	417	75	852.077
10.06.2020	414	66	873.252
11.06.2020	286	64	973.671
12.06.2020	400	91	1.227.566
13.06.2020	294	43	1.310.211
14.06.2020	205	39	1.032.389
15.06.2020	250	70	1.220.590
16.06.2020	400	102	1.058.363
17.06.2020	400	56	1.041.939
18.06.2020	370	29	1.180.244
19.06.2020	279	62	1.081.855
20.06.2020	332	16	995.969
21.06.2020	360	25	969.199
22.06.2020	339	53	1.001.323
23.06.2020	331	40	1.101.146
24.06.2020	401	48	966.166
25.06.2020	362	47	893.525
26.06.2020	270	49	885.721
27.06.2020	232	42	908.390
28.06.2020	281	49	895.989
29.06.2020	319	62	909.406
30.06.2020	379	37	832.970
1.07.2020	243	37	850.470
2.07.2020	383	27	885.490
3.07.2020	370	57	903.929
4.07.2020	350	30	866.809
5.07.2020	420	38	825.692
6.07.2020	228	33	840.789
7.07.2020	439	25	832.244
8.07.2020	365	35	845.033
9.07.2020	396	46	835.445
10.07.2020	414	33	830.137
11.07.2020	423	<10	819.731
12.07.2020	474	17	847.598
13.07.2020	462	<10	875.343
14.07.2020	440	47	861.353

15.07.2020	402	46	841.926
16.07.2020	416	54	875.769
17.07.2020	510	53	859.780
18.07.2020	271	48	825.940
19.07.2020	286	57	828.973
20.07.2020	430	65	808.600
21.07.2020	458	48	842.072
22.07.2020	362	68	812.867
23.07.2020	521	20	811.591
24.07.2020	529	45	863.375
25.07.2020	941	34	828.103
26.07.2020	529	61	806.098
27.07.2020	997	33	815.270
28.07.2020	931	31	806.942
29.07.2020	1034	34	804.298
30.07.2020	530	37	818.550
31.07.2020		33	771.474
1.08.2020		28	758.287
2.08.2020		38	888.804
3.08.2020		34	886.123
4.08.2020	530	68	852.530
5.08.2020	420	18	762.228
6.08.2020	805	33	781.004
7.08.2020	1029	68	804.889
8.08.2020	296	15	824.581
9.08.2020	257	12	827.927
10.08.2020	841	107	832.582
11.08.2020	279	12	790.568
12.08.2020	847	18	814.906
13.08.2020	941	40	830.818
14.08.2020	1093	64	826.934
15.08.2020			827.082
16.08.2020			810.384
17.08.2020	969	32	837.881
18.08.2020	640	43	839.365
19.08.2020	380	52	837.276
20.08.2020	798	41	809.840
21.08.2020	787	36	816.021
22.08.2020	514	11	823.192
23.08.2020	846	33	837.419
24.08.2020	1036	27	851.251
25.08.2020	890	8	914.861
26.08.2020	960	28	822.298
27.08.2020	797	61	823.021
28.08.2020	961	52	824.885
29.08.2020	779	77	837.040
30.08.2020	883	61	819.861
31.08.2020	770	62	885.819

1.09.2020	592	55	869.362
2.09.2020	518	45	845.024
3.09.2020	481	34	832.200
4.09.2020	621	31	827.714
5.09.2020	606	45	820.589
6.09.2020	354	27,3	792.382
7.09.2020	781	46	819.410
8.09.2020	704	66	817.012
9.09.2020	271	44	807.717
10.09.2020	574	23	807.488
11.09.2020	601	36	777.813
12.09.2020	423	49	803.481
13.09.2020	413	65	788.343
14.09.2020	329	70	813.866
15.09.2020	413	40	768.107
16.09.2020	442	14	765.880
17.09.2020	525	12	734.485
18.09.2020	440	16	740.780
19.09.2020	346	19	768.549
20.09.2020	266	27	770.609
21.09.2020	462	56	718.353
22.09.2020	502	32	730.972
23.09.2020	350	29	760.255
24.09.2020	490	46	788.645
25.09.2020	478	22	841.719
26.09.2020	425	46	724.624
27.09.2020	501	65	810.259
28.09.2020	483	74	847.816
29.09.2020	527	66	791.288
30.09.2020	383	53	831.091
1.10.2020	508	76	816.590
2.10.2020	399	105	837.292
3.10.2020	331	31	793.045
4.10.2020	245	63	786.436
5.10.2020	476	61	836.754
6.10.2020	442	34	741.339
7.10.2020	443	44	776.217
8.10.2020	460	103	860.036
9.10.2020	378	60	926.908
10.10.2020	307	65	956.254
11.10.2020	409	58	917.644
12.10.2020	343	59	866.846
13.10.2020	392	30	870.759
14.10.2020	438	52	812.793
15.10.2020	543	111	754.925
16.10.2020	559	38	812.971
17.10.2020		70	831.718
18.10.2020		59	917.150

1.09.2020	592	55	869.362
2.09.2020	518	45	845.024
3.09.2020	481	34	832.200
4.09.2020	621	31	827.714
5.09.2020	606	45	820.589
6.09.2020	354	27,3	792.382
7.09.2020	781	46	819.410
8.09.2020	704	66	817.012
9.09.2020	271	44	807.717
10.09.2020	574	23	807.488
11.09.2020	601	36	777.813
12.09.2020	423	49	803.481
13.09.2020	413	65	788.343
14.09.2020	329	70	813.866
15.09.2020	413	40	768.107
16.09.2020	442	14	765.880
17.09.2020	525	12	734.485
18.09.2020	440	16	740.780
19.09.2020	346	19	768.549
20.09.2020	266	27	770.609
21.09.2020	462	56	718.353
22.09.2020	502	32	730.972
23.09.2020	350	29	760.255
24.09.2020	490	46	788.645
25.09.2020	478	22	841.719
26.09.2020	425	46	724.624
27.09.2020	501	65	810.259
28.09.2020	483	74	847.816
29.09.2020	527	66	791.288
30.09.2020	383	53	831.091
1.10.2020	508	76	816.590
2.10.2020	399	105	837.292
3.10.2020	331	31	793.045
4.10.2020	245	63	786.436
5.10.2020	476	61	836.754
6.10.2020	442	34	741.339
7.10.2020	443	44	776.217
8.10.2020	460	103	860.036
9.10.2020	378	60	926.908
10.10.2020	307	65	956.254
11.10.2020	409	58	917.644
12.10.2020	343	59	866.846
13.10.2020	392	30	870.759
14.10.2020	438	52	812.793
15.10.2020	543	111	754.925
16.10.2020	559	38	812.971
17.10.2020		70	831.718
18.10.2020		59	917.150

19.10.2020	892	60	964.455
20.10.2020	424	58	901.930
21.10.2020	436	53	890.026
22.10.2020	478	53	728.617
23.10.2020	507	43	789.728
24.10.2020	810	41	734.341
25.10.2020	525	45	878.817
26.10.2020	563	52	761.801
27.10.2020	499	67	712.819
28.10.2020	532	35	730.432
29.10.2020	459	28	898.578
30.10.2020	826	36	828.036
31.10.2020	313	29	699.732
1.11.2020	313	89	663.060
2.11.2020	415	55	684.265
3.11.2020	568	38	857.852
4.11.2020	516	37	846.130
5.11.2020	393	69	863.884
6.11.2020	374	63	876.791
7.11.2020	455	55	727.531
8.11.2020	336	67	735.146
9.11.2020	430	82	915.933
10.11.2020	472	28	863.245
11.11.2020	438	26	706.800
12.11.2020	449	34	845.291
13.11.2020	556	51	723.495

Tablo A.2. DSİ nin 2005-2014 yıllarında ölçülen debi değerleri

12 - Sakarya Havzası
1201262010101 - Esenkent

Yeri : (39,889444444444 D - 32,464444444444 K), (),Ankara Ayaş Yolunun Yenikent Girişinden Sola Dönülen Yolun 17.Km Sindeki Aski Arıtma Tesislerinin içindedir. (Pafta İ28-B2)

Yağış Alanı : 4.990,100 km²

Yükselti (Rakım) : 755,000 m

Gözlem Süresi: 25.12.2000 -

Uzun Süreli Ortalama Debi : m³/s

Seviye Ölçeği:

Ek Bilgiler :

AYLIK ORTALAMA DEBİLER (m³/s)

YIL/AY	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	Y.ORT.
2001	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,000
2002	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,000
2003	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,000
2004	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2005	10,11 2	11,286	11,123	9,634	7,364	13,590	16,120	14,902	11,279	9,288	8,516	8,878	.
2006	11,84 5	12,450	11,771	13,571	17,393	20,435	17,277	14,329	11,128	9,661	9,198	10,586	.
2007	11,50 1	11,673	13,674	13,552	12,804	12,677	9,856	9,356	9,008	7,712	6,265	6,365	.
2008	8,498	8,998	13,088	10,898	9,703	11,040	11,848	10,163	9,703	8,835	8,864	9,991	.
2009	9,851	9,852	10,758	11,894	15,200	20,055	18,520	15,781	11,313	7,781	7,989	8,796	.
2010	10,20 6	13,750	10,665	15,716	31,429	33,613	25,337	14,755	17,800	13,355	11,535	9,994	.
2011	19,73 9	17,317	26,784	25,284	19,789	38,045	35,093	29,535	26,423	15,810	15,274	11,727	.
2012	16,91 3	15,280	15,913	19,297	20,107	51,374	45,110	26,826	16,163	11,568	10,927	12,690	.
2013	13,91 6	16,203	24,374	21,074	20,229	21,932	24,987	18,374	14,490	13,265	11,932	11,590	.
2014	12,52 3	12,133	11,155	11,861	13,071	15,887	13,947	16,842	19,680	13,281	12,158	12,863	.
Aylık Ort.	12,51 1	12,894	14,931	15,278	16,709	23,865	21,809	17,086	14,699	11,055	10,266	10,348	0,000