

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK SU ARITMA TESİSLERİNDE SU AYAK İZİ HESAPLAMA YÖNTEM
ÖNERİSİ VE HADDELEME-GALVANİZLEME TESİSİNDE UYGULAMA
ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tamer ÇANKAYA

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK SU ARITMA TESİSLERİNDE SU AYAK İZİ HESAPLAMA YÖNTEM
ÖNERİSİ VE HADDELEME-GALVANİZLEME TESİSİNDE UYGULAMA
ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tamer ÇANKAYA
501101744**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tuğba ÖLMEZ HANCI

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101744 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tamer ÇANKAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ATIK SU ARITMA TESİSLERİNDE SU AYAK İZİ HESAPLAMA YÖNTEM ÖNERİSİ VE HADDELEME-GALVANİZLEME TESİSİNDE UYGULAMA ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Tuğba ÖLMEZ HANCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Seval SÖZEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Atakan ÖNGEN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Teslim Tarihi : 22 Nisan 2019
Savunma Tarihi : 10 Haziran 2019





Toprak'a,



ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans süreçlerim ve tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Tuğba ÖLMEZ HANCI'ya, yüksek lisansa başlamam ve devam ettirmem için gerekli imkânı tanıyan KİLSAN Şirketi'ne ve M. Fuat EKMEKÇİOĞLU'na; tez çalışmamın yolunu açan BORÇELİK Şirketi'ne ve yöneticileri Serkan ÜRKMEZ, Melih SARIBAŞ, Elife GÜNAY'a, çalışmamda ihtiyaç duyduğum bilgi ve veriyi paylaşan çalışma arkadaşlarım Furkan SARISOY, Taner GÖCEN, Selim İLKER, Batu ÇINAR'a teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteğini hep yanımda hissettiğim başta anne ve babam Mine-Erdem ÇANKAYA'ya ve aileme; teşvik ve desteğiyle yüksek lisansımı ve bu çalışmayı bitirmem için kendi zamanından feragat eden, her başarımın arkasındaki emekçim, eşim, hayat arkadaşım Gülsüm ÇANKAYA'ya; geçmişten aldığım ilham ve cesaret için M. Kemal ATATÜRK'e ve Cumhuriyet'in tüm kahramanlarına; geleceğe umutla bakmamı ve hayal kurabilmemi sağladığı için oğlum Toprak ÇANKAYA'ya minnet duygularıyla...

Nisan 2019

Tamer ÇANKAYA
(Çevre Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	4
1.2 Çalışmanın Kapsamı	4
1.3 Çalışmanın Yöntemi	5
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
2.1 Su Ayak İzi Kavramının Ortaya Çıkışı ve Gelişimi	7
2.2 Arıtma Tesisleri İçin Yapılmış Su Ayak İzi Çalışmaları	15
3. YÖNTEM	25
3.1 Su Ayak İzi Hesaplama Yöntemi	25
3.1.1 Yeşil Su Ayak İzi Hesaplaması	25
3.1.2 Mavi Su Ayak İzi Hesaplaması	26
3.1.3 Gri Su Ayak İzi Hesaplaması	29
3.2 Su Ayak İzi Hesaplamalarında Kullanılan Veriler Ve Yapılan Kabuller	33
3.3 Su Ayak İzi Hesaplamasında Yapılan Kabuller	35
4. SONUÇLAR	37
4.1 Çalışmanın Uygulandığı Tesis ve Proses Hakkında Genel Bilgiler	37
4.2 Atık Su Arıtma Tesis Hakkında Genel Bilgiler	46
4.3 Hesaplamalar ve Sonuçları	50
4.3.1 Arıtma Tesisinin Yeşil Su Ayak İzi	50
4.3.2 Arıtma Tesisinin Mavi Su Ayak İzi	51
4.3.3 Arıtma Tesisinin Gri Su Ayak İzi	54
4.3.4 Arıtma Tesisinin Toplam Su Ayak İzi	57
5. DEĞERLENDİRME VE TAVSİYELER	61
5.1 Değerlendirmeler	61
5.2 Tavsiyeler	64
KAYNAKLAR	65
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	75



KISALTMALAR

AAT	: Atık Su Arıtma Tesisi
AKM	: Askıda Katı Madde (mg/L)
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)
BREF	: Best Available Techniques Reference Document (Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı)
BSI	: British Standards Institution (Birleşik Krallık Ulusal Standartlar Kurumu)
ÇSB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)
LCA	: Life Cycle Assesment (Yaşam Döngüsü Analizi)
MIN	: Minimum
TOK	: Toplam Organik Karbon (mg/L)
TN	: Toplam Azot (mg/L)
TP	: Toplam Fosfor (mg/L)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UN	: United Nations (Birleşmiş Milletler)
UNESCO	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Teşkilatı)
WF	: Water Footprint (Su Ayak İzi)
WFN	: Water Footprint Network (Su Ayak İzi Ağı)
WWF	: World Wildlife Found (Dünya Doğayı Koruma Vakfı)



SEMBOLLER

A	: Alan
Abstr	: Ham su debisi [hacim/zaman]
act	: actual (fiili)
c, B	: Kirleticinin konsantrasyonu [kütle/hacim]
c_{min}	: Ham su kirletici konsantrasyonu [kütle/hacim]
E	: Buharlaşıma [mm veya kg/m ²]
Effl	: Çıkış debisi [hacim/zaman]
Fe	: Demir
GJ	: Gigajoule [10 ⁹ Joule]
GWh	: Gigawatt saat
kWh	: kilowatt saat
L	: litre
L	: Kirletici Yüğü [kütle/zaman]
m	: kütle
max	: en yüksek
mg	: miligram
mL	: mililitre
MWh	: Megawatt saat
N	: Azot
nat	: natural (doğal)
Ni	: Nikel
Q, V	: Debi [hacim/zaman]
P	: Fosfor
P	: Yağış miktarı [mm veya kg/m ²]
Q_r	: Ham atık su debisi [hacim/zaman]
T	: Sıcaklık (°C)
TJ	: Terajoule [10 ¹² Joule]
WF_{Gri}	: Gri su ayak izi [hacim/zaman] veya [hacim/birim]
WF_{Mavi}	: Mavi su ayak izi [hacim/zaman] veya [hacim/birim]
WF_{Toplam}	: Toplam su ayak izi [hacim/zaman] veya [hacim/birim]

WF_{Yeşil} : Yeşil su ayak izi [hacim/zaman] veya [hacim/birim]

Zn : Çinko

μg : mikrogram

\$: Dolar

Δ : Fark



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Dolaylı WF_{Mavi} Kaynakları.....	26
Çizelge 3.2: Kirletici ölçümlerinde kullanılan yöntemler.	34
Çizelge 3.3: Tesisten alınan ve çalışmada kullanılan veriler.....	34
Çizelge 4.1: Soğuk haddeleme süreci atık su çıktıları, EC (2001a)'dan uyarlanmıştır.	42
Çizelge 4.2: Soğuk haddeleme sürecine ait AAT'nin atık su çıktıları, EC (2001a)'dan uyarlanmıştır.	42
Çizelge 4.3: Galvanizleme işleminde yüzey temizleme işleminin atık su karakterizasyonu, EC (2001a)'dan uyarlanmıştır.	44
Çizelge 4.4: Galvanizleme işleminde su tüketimi, EC (2001a)'dan uyarlanmıştır. ..	45
Çizelge 4.5: Galvanizleme sürecine ait atık su ve çamur çıktıları, EC (2001a)'dan uyarlanmıştır.	45
Çizelge 4.6: Bir kaplama sürecine ait AAT sonrası atık su ve çamur çıktıları, EC (2001a)'dan uyarlanmıştır.....	45
Çizelge 4.7: Üretim hatlarının yıllık toplam atık su çıktıları.	48
Çizelge 4.8: AAT'nin yıllık kimyasal tüketimi.	50
Çizelge 4.9: İncelenen AAT'nin yıllık girdi ve çıktıları.....	50
Çizelge 4.10: Mavi su ayak izine dahil olacak AAT'nin yıllık girdi/çıktı miktarı ve fiyatları.	53
Çizelge 4.11: AAT'nin yıllık girdi/çıktılarının WF_{Mavi} değerleri.....	54
Çizelge 4.12: AAT'nin yıllık girdi/çıktılarının WF_{Gri} değerleri.	55
Çizelge 4.13: WF_{Gri} hesaplamalarında kullanılacak değerler.....	55
Çizelge 4.14: WF_{Gri} ($m^3/yıl$) hesaplama sonuçları.	55
Çizelge 4.15: WF hesaplama sonuçları ve kırılımları.	57
Çizelge A.1: Gemlik-17663 Numaralı İstasyona Ait Yağış Verileri (MGM, 2018a).70	
Çizelge A.2: Bursa-17116 Numaralı İstasyonuna Ait Toplam Açık Yüzey Buharlaşma Verileri (MGM, 2018b).	71



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: 2014 yılı imalat sanayinde atık su deşarj miktarlarının dağılımı, TÜBİTAK (2016).	3
Şekil 2.1: Kirlilik yükünün Abstr düzeltmesi.	10
Şekil 2.2: Denklem 2.6 referansla çizilen denge.	11
Şekil 2.3: Kütle dengesi olması durumunda WF_{gri} dengesi.	12
Şekil 2.4: Denklem 2.13'ün görselleştirilmiş hali.	17
Şekil 2.5: $WF_{G,T}$ hesaplaması için kullanılan kütle dengesi, Llanos ve diğ. (2018)..	20
Şekil 2.6: $WF_{G,ref}$ hesaplaması için kullanılan kütle dengesi, Llanos ve diğ. (2018).	21
Şekil 2.7: ΔWFG , mef hesaplaması için kullanılan kütle dengesi, Llanos ve diğ. (2018).	22
Şekil 3.1: Kaynaklara göre kurulu güç dağılımı, Akgül (2018).	28
Şekil 3.2: WF_{Gri} tipleri.	31
Şekil 3.3: Çalışmanın sınırları	33
Şekil 3.4: Çalışma kapsamında değerlendirilecek AAT girdi ve çıktıları.	34
Şekil 4.1: Gemlik körfezinin uydu görüntüsü (Url-2).	37
Şekil 4.2: Borçelik fabrikasının uydu fotoğrafı (Url-2).	38
Şekil 4.3: Sıcak haddelenme sürecinde bobin formundaki çelik (Url-3).	39
Şekil 4.4: Çan tipi tavlama fırın örneği (Url-4).	41
Şekil 4.5: Tipik bir tersinir haddeleme tesisinin akış diyagramı (EC, 2001b).	41
Şekil 4.6: Soğuk haddeleme süreci kütle dengesi (TÜBİTAK, 2016).	43
Şekil 4.7: Çinko kaplama örneği (Url-5).	44
Şekil 4.8: Borçelik tüketimi akış şeması.	47
Şekil 4.9: Borçelik AAT'nin akım şeması.	49
Şekil 4.10: AAT yıllık su girdi ve çıktıları.	52
Şekil 4.11: AAT'nin WF_{Gri} 'ye etkisi.	56
Şekil 4.12: Kirleticilerin $WF_{Gri,Bakiye}$ değerleri.	57
Şekil 4.13: AAT 'nin WF_{Toplam} dağılımı.	58
Şekil 4.14: WF_{Mavi} kaynakları.	59
Şekil B.1: Arıtma tesisinin giriş suyu ölçüm sonuçları.	72
Şekil B.2: Arıtma tesisinin çıkış suyu ölçüm sonuçları.	73
Şekil B.3: Arıtma tesisi ham su ölçüm sonuçları.	74



ATIK SU ARITMA TESİSLERİNDE SU AYAK İZİ HESAPLAMA YÖNTEM ÖNERİSİ VE HADDELEME-GALVANİZLEME TESİSİNDE UYGULAMA ÖRNEĞİ

ÖZET

Su insanlık için önemli bir kaynaktır. İnsanlık gelişimini, yüzyıllardır başta su olmak üzere doğal kaynakları tüketerek sağlamıştır. Çevre alanında son dönemde yapılan çalışmalar göstermektedir ki doğal kaynaklar sınırsız değildir ve doğanın kendini yenileme kapasitesi vardır. İçinde bulunduğumuz yüzyılda dünya üzerinde hiç olmadığı kadar insan yaşayacaktır. Artan nüfusla birlikte su tüketiminin de artacağını öngörmek zor değildir. Atık su arıtmanın su yönetiminde azımsanamayacak katkısı bulunmaktadır. Su kıtlığı senaryolarına göre atık suyun geri kazanılıp kullanımı dahi otoritelerce tartışılmaya başlanmış ve bunun üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Mühendislik bakış açısına göre, ölçülemeyen şey yönetilememektedir. Bundan yola çıkarak sürdürülebilirlik alanında birçok çalışma yapılmıştır. Son dönemde ortaya çıkan su ayak izi kavramı da bu çalışmalardan birinin sonucudur. Su ayak izi alanında çalışmalar başta tarımsal üretim için yapılmış ve daha sonra diğer sektörlerle yaygınlaştırılmıştır. Bununla birlikte atık su arıtma tesisleri üzerine yapılmış çalışma sayısı azdır. Bu yüksek lisans tez çalışması sırasında atık su arıtma tesislerinin su ayak izi hesaplaması üzerine yapılmış sadece beş çalışmaya erişilebilmiştir. Bu çalışmalarda farklı yöntem ve veri tabanları kullanılmış, farklı göstergeler üretilmiştir. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmalar birbiriyle kıyaslaması zor olan çalışmalardır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı, atık su arıtma tesislerinde su ayak izi için uygulanabilir bir yöntem önermek, göstergeler üretmek ve uygulama örneğini sunmaktır. Ayrıca çalışma kapsamında örnek bir tesis seçilmiş ve uygulama sonuçlarını değerlendirilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde çevresel konular hakkında genel giriş yapılmış daha sonra çalışmada incelenecek olan atık su arıtma tesisinin hizmet ettiği sektörün çevresel tüketimleri hakkında bilgi verilmiştir. Ardından çalışmanın amaç, kapsam ve yöntemi tanımlanmıştır.

İkinci bölümde ise su ayak izinin tarihçesi ve gelişiminden bahsedilmiş, su ayak izi hesaplamalarında kullanılan iki yöntem hakkında genel bilgilendirme yapılmıştır. Bölümün devamında atık su arıtma tesisleri için yapılmış su ayak izi çalışmaları detaylarıyla incelenmiş ve kullanılan yöntemler ve çıktıları irdelenmiştir.

Üçüncü bölümde atık su arıtma tesisleri için bu çalışma kapsamında önerilen yöntem sunulmuştur. Ardından hesaplama yapılabilmesi için gerekli verilerin temin edilmesi ve hesaplama sırasında kullanılacak kabuller açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde ise çalışmanın yapıldığı Borçelik tesisi hakkında bilgi verilmiş, sahip olduğu süreçler Mevcut En İyi Teknikler referans dokümanı ile değerlendirilerek irdelenmiştir. İlerleyen kısımda atık su arıtma tesisi hakkında genel

bilgilendirme yapılarak tesis için toplanan veriler sunulmuştur. Dördüncü bölümün son kısmında ise bu çalışma kapsamında önerilen yöntem ve çalışmanın uygulandığı Borçelik tesisinden alınan veriler ile su ayak izi hesaplaması yapılmıştır.

Beşinci bölümde çıkan sonuçlar ve önerilen yöntem değerlendirilmiş; ileride yapılacak su ayak izi çalışmaları için tavsiyelere yer verilmiştir.

Çalışmada hesaplamalara başlanmadan su ayak izi tipleri sınıflandırılmış ve tanımlanmıştır. Çalışmada 5 farklı kirletici için gri su ayak izi hesaplanmıştır. Çalışma kapsamı yalnızca atık su arıtma tesisiyle sınırlı tutulmuş, tesisin girdi ve çıktıları değerlendirilmiş, atık yağlar kapsam dışı bırakılmıştır. Çalışma 20 m³/saat kapasiteli bir endüstriyel atık su arıtma tesisi için yapılmıştır.

Çalışma sonucunda bazı önemli bulgular elde edilmiştir. Önerilen yöntem atık su arıtma tesislerinde uygulanabilir bir yöntemdir. Bu çalışmada yeşil su ayak izinin toplam su ayak izine yalnızca % 0,35 etkisi olduğu sonucu alınmıştır. Bu sonuç; arıtma tesisleri için yapılan diğer su ayak izi araştırmalarında, yeşil su ayak izinin, kapsam dışı bırakılabileceği kabulünü destekler niteliktedir.

Çalışmanın bu alanda yapılan araştırmalardan en önemli farkı mavi su ayak izi içinde elektrik tüketimi payının daha düşük olmasıdır. Çalışma sonucunda toplam su ayak izinin % 29'u mavi % 71'i ise gri su ayak izi çıkmıştır. Ayrıca tesise giren 1 m³ atık suyun su ayak izi değeri de 0.777 m³ olarak belirlenmiştir. Bu ayak izi atık su arıtma tesisinin suyu arıtmak için kullandığı su miktarıyla karıştırılmamalıdır. Bu tanım için ayrı bir gösterge oluşturulmuş ve değeri de 0,238 m³ olarak belirlenmiştir ayrıca bu değer % 94'ü mavi su ayak izidir.

Tesisin en yüksek su ayak izi giderimi demir parametresinden en yüksek bakiye kirletici su ayak izi ise toplam azot parametresinde olduğu tespit edilmiş ve gri su ayak izi hesaplamalarında toplam azot parametresi kullanılmıştır.

Sonuç olarak su ayak izi sonuçlarının, suyunu yönetmek isteyenler için faydalı bir sayısal gösterge olduğu kanısına varılmış ve arıtma tesislerinde de uygulanabileceği görülmüştür. Bu alanda yapılan araştırmaların şeffaf ve tutarlı olabilmesi için daha fazla çalışma yapılması gerektiği belirtilmiş, özellikle veri kaynaklarının standart hale getirilmesi ve mümkünse ulusal veri tabanları oluşturulması önerilmiştir.

A METHOD PROPOSAL FOR WATER FOOTPRINT CALCULATIONS IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS AND APPLICATION EXAMPLE IN ROLLING-GALVANISING PLANT

SUMMARY

Water is a valuable source for humanity. Mankind developed with water consumption for centuries thinking sources are limitless. Recent studies showed that any source from nature including water is not limitless and nature has a capacity for renewing itself. This century, the human population will reach the highest number in history since mankind arose. With increasing population, water demand is also expected to rise. Wastewater treatment plants have an unquestionable role in water management. With recent water scarcity scenarios nowadays even usage of reclaimed wastewater is being discussed by authorities seriously.

As an engineering point of view what can not be measured can not be managed. Starting from this idea many studies in the sustainability area was made for managing natural sources effectively. Water footprint is one of the sustainability indicators which aims to measure direct or indirect water usage of a product, process or organization, and even nations. First studies made in this area aims especially agricultural activities. Within years studies were extended to different production activities. There was only a few interests in wastewater treatment plants while many made for different processes.

Five studies in wastewater treatment plant's water footprint can be reached during this research. Every study has a different point of view for the water footprint methodology; researchers used several databases, calculated different indicators so naturally their results varied and can not be compared. Within the important role of treatment in water management, this study proposes an application of the water footprint method for wastewater treatment plants. After the proposal of the method an application example will also be applied to an industrial wastewater treatment plant.

In the first section of this study general information given for environmental concerns about water, then steel industry's natural sources demand is evaluated, finally this study's aim, scope, and method are defined.

The second section is the literature research. In the first part, the emergence and development of water footprint studies are given with a comparison of two different water footprint calculation methodology (Life Cycle Assessment method and Water Footprint Network method). In the second part of section five water footprint studies made for wastewater treatment plants mentioned before, are evaluated. This evolution also causes a new method while comparing these studies results. As an important criterion, all of the studies evaluated in this part were made with the Water Footprint Network methodology.

The third section proposes a new method compatible with the Water Footprint Network's methodology for assessing wastewater treatment plant's water footprint. All the calculations in this section are derived from the Water Footprint Network's water footprint calculation method. This section also provides the scope of the water footprint calculation, data collection, and acceptances made for sustaining the study. Grey water footprint of a wastewater treatment plant is divided into different categories.

In the fourth section's first and second part detailed information given for the target industry and industry's wastewater treatment plant using Best Available Techniques document proposed by the European Commission. In the third part of this section, annual results are presented in details.

In the last section results presented in section four are evaluated and compared with literature. Advice is also given in the final part for future studies.

Before calculating total water footprint some parameters are defined and categorized. For green water footprint calculation, only rainwater falls on the open parts of the treatment plant is taken.

Blue water footprint was divided into two groups. These are direct and indirect blue water footprints. Before calculating the total blue footprint, a mass balance for calculating direct blue water footprint water input and output for the wastewater treatment plant was made. Rain, evaporation, freshwater use, sludge and water input, and discharge are taken than losses are calculated and included in blue water footprint calculation. Waste oil caught at the beginning of the treatment plant neither included in this study nor in the calculations. Indirect blue water footprint consists of two contents. First one is blue water footprint coming from electricity use, second is the usage of chemicals and sludge management. For electricity, only hydropower and biogas plants water footprints evaluated as given in the literature.

While calculating grey water footprint, like the blue one's indirect footprints, chemical usage, and sludge handling was taken. New categories were proposed for assessing total grey water footprint. These are total, removal, residual, removal-compulsory, removal-operational, residual-natural, residual-process. All of the calculations for these categories are given in section three.

After proposing the method an application example is given. This application example was made for an actual industrial wastewater treatment plant located in Turkey, Bursa, Gemlik; serving Borçelik factory. It is designed for treating reversed cold milling and galvanizing processes' wastewater in the steel industry with a capacity of 20 m³/h. It has physical, chemical and biological treatment parts. Sludge coming from this treatment process dewatered and disposed.

Total Nitrogen, Total Phosphorus, Chemical Oxygen Demand, Iron and Zinc parameters are selected for grey water footprint calculations. Pollutants for water footprint evaluation are selected from the information given in the Best Available Techniques Reference Document.

There are important findings in this study. In literature green water footprint of wastewater treatment plants excluded while making the assessment. In this study, green water footprint is also calculated as %0,35 of the total water footprint. The results are supporting the general idea of excluding green water footprint from the total.

It is also interesting that different from other studies blue water footprint has a higher rate of total water footprint (29% blue, 71% grey). In other studies electricity dominated the blue water footprint with nearly 95-97%. In this study, it has only 28% contribution to total blue water footprint. Main contributors to blue water footprint higher than electricity usage are water losses with 34% and freshwater usage in treatment plant with 34%.

Total water footprint of the plant is calculated as 0,777 m³ total water footprint for 1 m³ wastewater passed. It is important that this value is the total water footprint. If the operation of treatment wanted to be calculated than pollutants contribution has to be extracted from the total water footprint. If so the operational value will be 0,238 m³ total water footprint for 1 m³ wastewater treated and nearly 94% of this water footprint is blue. The proposed indicator shows the usage of freshwater for treating the wastewater. Increasing value can show a deficiency of the wastewater treatment plant.

Total Nitrogen's grey water footprint has selected for total footprint calculation since it has the biggest annual value on remaining part in discharge (62.287 m³.grey water footprint). Iron's grey water footprint has the biggest reduction annually with 1.567.627 m³.grey water footprint. Zinc input to the treatment plant was already below the discharge limits so it gave some inconsistent values in removal-compulsory, removal-operational indicators.

In conclusion, water footprint is a useful quantitative indicator for whom has an interest in assessing water. With this indicator water usage trends can be evaluated and managed. Even there are only a few studies it can be easily adapted to wastewater treatment plants. More studies on this area have to be done for a clear and consistent evaluation of water footprints in treatment plants. For increasing interest in this area, data sources need to be standardized and if possible national datasets need to be built.



1. GİRİŞ

İnsanoğlu her canlı gibi, doğası gereği tüketmekte, diğer canlılardan farklı olarak tüketeceği bazı maddeleri ise üretmektedir. Avcı toplayıcılıktan yerleşik hayata geçtiğinde önce çeşitli canlılara daha sonra da suya yön verme kabiliyeti kazanan insan, zamanla dünyaya egemen bir güç haline gelmiştir. Sanayi devrimiyle karmaşık ürünleri sınırsız olduğunu düşündüğü enerji kaynaklarını ve hammaddeyi tüketerek üretme becerisi kazanan insanoğlu; yaklaşık iki yüzyıllık konfora dayalı bir tüketim ekonomisi oluşturmuştur. Son yıllarda yapılan çalışmalarla, doğal kaynakların sınırsız olmadığı; sanıldığı gibi insanoğlunun yarattığı kirliliğin her zaman doğa tarafından telafi edilemeyeceği çarpıcı biçimde ortaya çıkmıştır.

İçinde bulunduğumuz yüzyılda Dünya üzerinde tarihte hiç olmadığı kadar insan olacaktır. Birleşmiş Milletler; 2018’de 7,5 milyar olan Dünya nüfusunun 2050 yılında 9,8 milyarı bulacağını; 2100 yılında ise 11,2 milyarı geçmesini beklediğini duyurmuştur (UN, 2018). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organizastion (UNESCO) tarafından ise artan nüfus, ekonomik gelişmeler ve tüketim tarzındaki değişikliklerle küresel su ihtiyacının her yıl %1 civarında artacağı öngörülmüştür. Bu süreçte kurak bölgelerin giderek daha fazla kuraklaşacağı; yağışlı bölgelerdeki rejimlerin de giderek artacağı belirtilmiştir. Günümüzde 3,6 milyar kişinin yılın en az bir ayı su kıtlığı çektiği; 2050’de bu sayının 4,8-5,7 milyar arasında olacağı vurgulanmıştır (WWAP, 2018) . Ayrıca günümüzde sel risk bölgesinde yaşayan kişi sayısı 1,2 milyar olarak belirtilirken; 2050 yılında bu sayının 1,6 milyara çıkacağı; kuraklığın ise 1,8 milyar kişi için risk oluşturacağı belirtilmiştir (WWAP, 2018). Yaklaşan su kıtlığı; azalan yer altı su seviyeleri, yüksek kirlilik seviyelerine ulaşmış sular, kuruyan göller, nehirlerin düşen debileriyle kendini şimdiden göstermeye de başlamıştır (Hoekstra, 2015).

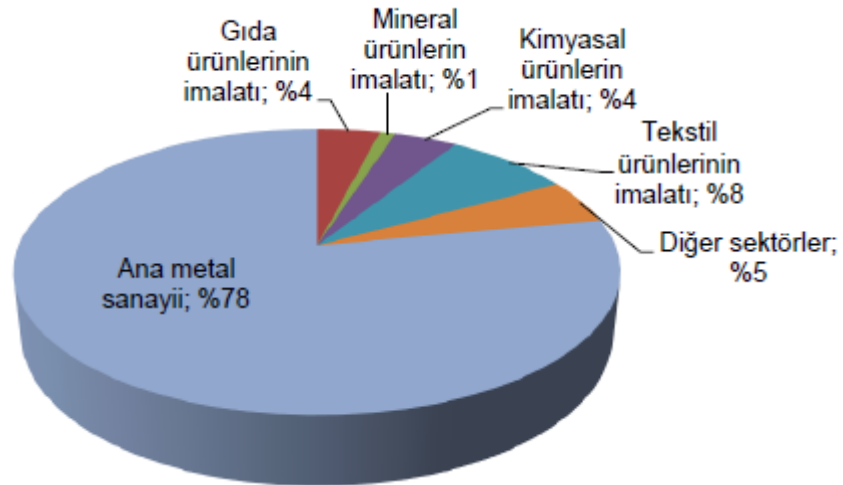
Doğal kaynaklardan biri olan su, insanlar için olduğu kadar tüm canlılar için de hayati öneme sahiptir. Tatlı su kaynakları sınırsız değildir; hatta bu kaynakların da çok küçük bir kısmı tüm canlıların kullanımı için ulaşılabilir haldedir (Alper, 2015). Tatlı suyun önemli bir kısmı, insanlık tarafından kendi ihtiyacını karşılamak için kullanılmakta ve bu kullanım sonucunda kirlenmektedir. UNESCO’nun çizdiği

tablo değerlendirildiğinde içinde bulunduğumuz yüzyılın yalnızca insanlar için değil tüm canlılar için zor geçeceği tahmin edilebilir. Hassas olan ekolojik dengeler de yağış rejimleriyle birlikte bozulduğunda birçok tür birbiri ardına yok olma sürecine girecektir. Oluşması milyonlarca yıl süren genetik çeşitliliğin birkaç yüzyıllık beşerî faaliyet sonucu yok olma sürecine girmesi, canlılığın ve ekolojik dengelerin ne kadar hassas olduğunun bir göstergesi olarak önümüzde durmaktadır. Peki insanlar için ekolojik çeşitlilik neden önemlidir? Özyer (2018)'in Greenpeace internet sitesindeki arı ölümleriyle ilgili haberine göre Türkiye'de arı ölüm oranlarının % 70 seviyelerine çıktığı, arıların yok olmasının başlı başına bal tüketilemeyeceği anlamına gelmeyeceği; birçok böcekle birlikte tozlaşmayı sağladığı için insanların tükettiği besinlerin üçte birinin arılarla birlikte yok olacağı anlamına geleceği belirtilmiştir.

Yaklaşmakta olan su kıtlığı, kirlilik ve bunların ekolojik dengelere olan etkisinin azaltılabilmesi için bireylerin, şirketlerin ve yönetimlerin alabileceği birçok tedbir bulunmaktadır. Sanayi devrimiyle birlikte ortaya çıkan, konfora dayalı, ihtiyaç dışı tüketimin önüne geçmek atılacak en önemli adımlardan birisidir. Tüketim aynı zamanda bir ihtiyaç olduğu için tüketilenin çevreye en az etkisi olan içinden seçilmesi ikinci öncelikli adım olarak değerlendirilebilir. Çevresel etkisi yüksek ürünlerin tüketiminin zorunlu olduğu durumlardaysa çevresel yenileme ve iyileştirme çalışmalarıyla etkinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede, temiz su sorununa bir çözüm olarak geliştirilen arıtma tesisleri, atık suyu arıttığı ve gündelik yaşamda tekrar kullanılabilir temiz su haline getirdiğinden insanlar için hayati önem taşımaktadır (Shao ve Chen, 2013). Hızla artan kentleşme ile atık su arıtma tesislerinin önemi giderek artmakta, teknoloji, verimlilik ve sürdürülebilirlik başlıkları çerçevesinde arıtma tesislerini geliştirmeye ve değerlendirmeye yönelik birçok çalışma yapılmaktadır.

Türkiye'nin sahip olduğu 112 milyar metreküp tatlı su kaynağının yalnızca %36'lık kısmı kullanılabilir ve bu kısmın %74'ü sulama, %11'i sanayi ve %15'i kentsel ihtiyaçlar için kullanılmaktadır (ÇSB,2018). Şekil 1.1 incelendiğinde ana metal sanayi endüstrisinin oluşan atık suyun %78'lik bir kısmından sorumlu olduğu görülmektedir. Üretim sektöründe aynı zamanda en büyük enerji tüketicisi olan demir çelik endüstrisi, dünya ekonomisinde de en büyük paya sahiptir (Olmez ve diğ., 2015). 2018 yılı dünya demir çelik üretim verilerine göre 832 milyon ton üretimi ile Çin toplam üretimin %49,2'lik payına sahipken Türkiye 37,5 milyon ton üretimle

dünyada en büyük 8. Avrupa’da ise Almanya’nın ardından 2. büyük demir çelik üreticisi konumundadır (World Steel Association, 2019). Türkiye ekonomisi ve sanayileşmesinde demir çelik sektörünün öncü olma özelliği; başta inşaat malzemeleri olmak üzere, otomotiv, gemi, uçak, demiryolu gibi tüm taşıtlara; makine, cihaz ve eşya üretimi gibi tüm endüstriyel dallara girdi vermesinden kaynaklanmaktadır (Ticaret Bakanlığı, 2018). Türkiye’de demir çelik üretimi, üretim sektörünün toplam enerji tüketiminin %25’lik kısmından sorumlu olduğundan sektörün çevresel etkileri de özel bir ilgi çekmektedir (Olmez ve diğ, 2015). Sektörün geçmiş on yıllardaki üretim odaklı işletme anlayışı bu ilginin ardından yerini sosyal sorumluluk sahibi kuruluş olma isteğine bırakmıştır. Sektörü yalnızca enerji tüketimi yoğun olarak değerlendirmemek gerekmektedir. Gu ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada çelik üretimi için Life Cycle Assessment (LCA: Yaşam Döngüsü Analizi) bazlı bir su ayak izi hesaplama yöntemi geliştirilmiş ve endüstrinin su ayak izi hesaplanarak, çelik üretiminin suya önemli derecede etkisi olduğu ve su ayak izinin sektör için önemli bir gösterge olarak değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Cevher veya hurdadan yaşam döngüsüne başlayan demir çelik, nihai ürün haline gelene kadar birçok işlemde geçmekte ve tüketiciye ulaşmaktadır. Bazı tesisler entegre şekilde cevherden veya hurdadan demir çelik üretmekte; bazı tesisler ise kütük veya yassı çelik haline getirilmiş demir çeliği işlemek veya şekillendirmek suretiyle üretim yapmaktadır.



Şekil 1.1: 2014 yılı imalat sanayinde atık su deşarj miktarlarının dağılımı, TÜBİTAK (2016).

Ölçülemeyen sorun yönetilememektedir; bu sebeple herhangi bir ürünün, faaliyetin, hizmetin çevresel etkilerinin ölçülebilmesi için geliştirilen yöntemlerden biri de su ayak izi kavramıdır.

Bu çalışmada dünya ekonomisinin lokomotifi olan demir çelik sektöründe ortaya çıkan atık suların arıtımı, su ayak izi yöntemi çerçevesinde değerlendirilecektir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı atık su arıtma tesislerinde su ayak izi için uygulanabilir bir yöntem önermek, göstergeler üretmek ve uygulama örneğini sunmaktır.

Çalışmada örnek uygulama Tersinir Haddelme ve Sıcak Daldırma Galvanizleme üretim süreçlerine sahip bir yassı çelik üreticisinin atık su arıtma tesisi için yapılacaktır.

Ayrıca bu çalışma; çizilen su kısıtlı senaryolarına karşı, yöntemin uygulandığı şirkete, sürdürülebilir bir su yönetimi politikası hazırlayabilmesi için ilk veriyi sağlayacak, şirket bu çalışmanın sonucunda performansını ölçebileceği bir göstergeye sahip olacaktır.

İleride farklı atık su arıtma tesislerinde bu çalışmada önerilen yöntemin kullanılması halinde bu çalışma hesaplamalar için bir uygulama örneği ve hesaplama sonuçları karşılaştırılabilir bir değer olacaktır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada önerilen yöntem yalnızca atık su arıtma tesislerinde uygulanmak üzere tasarlanmıştır. Bu çalışmaya, metod fark etmeksizin, çalışmanın yazımının başladığı tarihe kadar atık su arıtma tesisleri hakkında ulaşılabilmış tüm su ayak izi çalışmaları dahil edilmiştir.

Su ayak izi hesaplaması seçilen fabrikanın yalnızca fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma ünitelerinden oluşan atık su arıtma tesisi kapsamında uygulanmıştır. Atık su arıtma tesisinin irdelenebilmesi için fabrika hakkında da genel bilgilendirme yapılmış, üretim sürecinin su ve atık su ilişkilerinin anlaşılabilmesi için Metal İşleme Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanından (EC, 2001a) yardım alınmıştır.

Çalışmaya daha önce atık su arıtma tesisleri için hazırlanan çalışmalardan farklı olarak tüm su ayak izi tipleri (mavi, yeşil, gri) dahil edilmiştir. Gri su ayak izi hesaplamalarında ise kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), azot (N), fosfor (P), demir (Fe) ve çinko (Zn) parametreleri bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Arıtma sürecinde kullanılan kimyasallar, arıtma çamurları su ayak izine olan etkileri de bu çalışma kapsamındadır. Çalışmada Water Footprint Network (WFN: Su Ayak İzi Ağı) tarafından önerilen yöntem (Hoekstra ve diğ. 2011) kullanılmış ancak hesaplaması yapılan örnek için su ayak izi sürdürülebilirlik değerlendirmesi ve yönetimi başlıkları kapsam dışı bırakılmıştır.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Çalışma için öncelikle detaylı bir literatür taraması yapılmış ve atık su arıtma tesisleri için yapılmış su ayak izi çalışmalarına ulaşılmıştır. Çalışmanın 2. bölümünde WFN ve LCA tarafından önerilen iki yöntem değerlendirilmiş ardından literatürdeki atık su arıtma tesisi su ayak izi çalışmaları irdelenmiştir. Bunların ışığında 3. bölümde atık su arıtma tesisleri için yeni bir su ayak izi hesaplama yöntemi önerilmiş ve bu yöntem 4. bölümde uygulanmıştır. Tüm çalışmanın değerlendirmesine ise 5. bölümde yer verilmiştir.

Bu çalışmada su ayak izi değerlendirmesinde genel olarak kabul görmüş; detayları 2. bölümde açıklanan iki yöntemden biri olan, WFN tarafından önerilen su ayak izi değerlendirme yöntemi kullanılmıştır (Hoekstra ve diğ. 2011). Hoekstra ve diğ. (2011) tarafından oluşturulan bu yönteme uygun olarak öncelikle hedef ve kapsam belirlenmiş ardından su ayak izi hesaplaması için gerekli olan veriler temin edilerek su ayak izi hesaplanmıştır.

Bu çalışmada Borçelik şirketinin kendi sürecini ölçmek ve izlemek için tuttuğu bazı kayıtlar kullanılarak sunulan yöntem için örnek bir hesaplama yapılmıştır. Veriler yasal veya özel herhangi bir işlem için referans gösterilmemeli ve şirketten izin alınmadan kullanılmamalıdır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2003 yılında Hoekstra tarafından su ayak izi kavramının ortaya atılmasını takiben konuyla ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Başta çalışmalar tarımsal ürünlere yönelik yapılsa da daha sonra pek çok bölge, sektör ve ürüne yönelik çalışmalarla su ayak izi kavramı yaygınlaştırılmıştır. Bu bölümde su ayak izi kavramının ortaya atılmasını takiben yapılan çalışmalarla ilgili genel bilgi verilecek ardından tezin konusuna katkı sağlayacağı düşünülen çalışmaların yöntem ve çıktılarına yer verilecektir. Bunlar ağırlıklı olarak atık su arıtma tesisleri için yapılmış su ayak izi çalışmalarıdır. Bölüm 2.2’de çalışmaların gelişimlerinin daha kolay anlaşılabilmesi için çalışmalar kronolojik olarak verilmiştir. Literatür araştırması yapılırken çalışmalar birbiriyle kıyaslanmış ve yorumlanmıştır.

2.1 Su Ayak İzi Kavramının Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

Sulama, yıkama, temizleme, soğutma ve proseste kullanma gibi beşerî aktiviteler önemli miktarda su tüketmekte ve kirletmektedir. Yakın bir geçmişe kadar su yönetimi kapsamında, su tüketimi ve kirliliği; üretim ve tedarik zinciri içinde birlikte değerlendirilmemiştir (Hoekstra ve diğ, 2011). Bu sebeple son kullanıcı, tükettiği hizmet veya ürünün arkasında saklı bulunan, yani tüketilen veya kirletilen su kaynağı hakkında bilgi sahibi olamamıştır. 2008 yılında Hoekstra ve Chapagain tarafından yapılan çalışmada; ürün veya hizmetin arkasında saklı bulunan suyun ifade edilmesi; ticaret ve tüketimin su kaynakları üzerine etkisinin ve global ölçekte tatlı su akışının belirlenmesine yardımcı olduğu belirtilmiştir (Hoekstra ve diğ, 2011). Örneğin bu çalışmaların öncesinde 1 bardak çay hazırlayan tüketici; tükettiği su miktarını 200 mL olarak değerlendirirken, üretim ve tedarik zincirinde tüketilen su miktarı hesaba katıldığında bir bardak çayın su kaynakları üzerine etkisinin WWF (2014, s. 62) raporuna göre yaklaşık 30 litre olduğunu artık bilmektedir. Çoğu işkolu için, tedarik zincirinin su ayak izinin, normal prosesinin su ayak izinden çok daha fazla olduğu bilinmekte ve tedarik zincirinde yapılacak bir iyileştirmenin fayda maliyet oranının

normal süreçteki bir iyileştirmeye göre daha yüksek olacağı da ön görülmektedir (Hoekstra ve diğ., 2011).

Su ayak izi hesaplamasında iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki WFN (Su ayak izi ağı) tarafından benimsenen su üretkenliğine odaklanan hacimsel bazlı yaklaşımdır (Pfister ve diğ., 2017). Tedarik zinciri ve üretim proseslerinin su kaynakları üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi, 2003 yılında ilk kez Hoekstra tarafından Su Ayak İzi (Water Footprint) kavramının ortaya atılmasından sonra ilgi çekmeye başlamıştır (Hoekstra 2003). Daha sonra bu kavram WFN adlı sivil toplum örgütü tarafından 2011 yılında benimsenerek geliştirilmiş ve yönteme ait bir kılavuz oluşturulmuştur (Hoekstra ve diğ., 2011).

WFN tarafından tanımlanan su ayak izi; bir mal veya hizmet üretmek için tüm tedarik zinciri içinde gereken tatlı su miktarıdır (WWF, 2014). Su ayak izi yalnızca doğrudan tüketimi değil aynı zamanda dolaylı tüketimi de gösterir (Hoekstra ve diğ., 2011). Su ayak izi, zaman zaman sanal su kavramı ile karıştırılmaktadır. Sanal su yalnızca ürün veya hizmetin arkasında saklı bulunan su hacmini ifade ederken, su ayak izi kavramında suyun türü, kullanım yeri ve zamanı da değerlendirilmektedir (WWF, 2014). Su ayak izi, üretici, ürün ve tüketicinin tatlı su kaynaklarıyla ilgi ve ilişkisine daha geniş bir bakış açısı sunmaktadır (Hoekstra, 2015). Hoekstra'nın Nebraska Üniversitesi sanal su ve su ayak izi dersinde belirttiği gibi tüketicilerin sisteme dahil olması su yönetiminin etkinleştirilmesinde önemli bir rol oynayacaktır (Water Footprint Assessment: An Evolving Research Field, 2017). Su ayak izi, tüketim ve su kirliliğinin yerel çevresel etkisinin şiddet ölçümü değil; suyun insani faaliyetlerle bağlantısını gösteren bir araçtır (Hoekstra ve diğ., 2011).

WFN yönteminde su ayak izi mavi, yeşil ve gri olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. Su ayak izi hesaplamasında kullanılan formül denklem 2.1'de verilmiştir.

$$WF_{Toplam} = WF_{Mavi} + WF_{Yeşil} + WF_{Gri} \quad (2.1)$$

Mavi su ayak izi (WF_{Mavi}); bir malı veya hizmeti üretmek için kullanılan (kaynağa tekrar geri dönen hariç) tatlı su hacmini; yeşil su ayak izi ($WF_{Yeşil}$) ise kullanılan yağmur suyu hacmini ifade eder. Gri su ayak izi (WF_{Gri}) kirlilik göstergesi olarak kullanılmaktadır ve alıcı ortamı, kirletici deşarjı sonrası doğal konsantrasyonları ve su kalite standartları baz alarak doğal kalitesine döndürmek için gerekli tatlı su hacmi

olarak ifade edilmiştir (Hoekstra 2015). Denklem 2.1’de WF hacim/zaman cinsinden ifade edilmiştir. Kısacası mavi ve yeşil su ayak izleri su tüketimini, gri su ayak izi ise su kirliliğini hacimsel tüketim cinsinden ifade etmektedir. Gri su ayak izi tanımıyla kirliliğin; kirlletici konsantrasyonları yerine tatlı su kaynağı cinsinden ifade edilmesi mavi ve yeşil su ile birlikte kullanımını kolaylaştırmış; aynı zamanda da birden çok kirlleticinin benzer paydada değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

WFN yönteminde su ayak izi değerlendirmesi dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar:

- Amaç ve kapsamın belirlenmesi
- Su ayak izi muhasebesi
- Su ayak izi sürdürülebilirlik değerlendirmesi
- Su ayak izi yönetimi

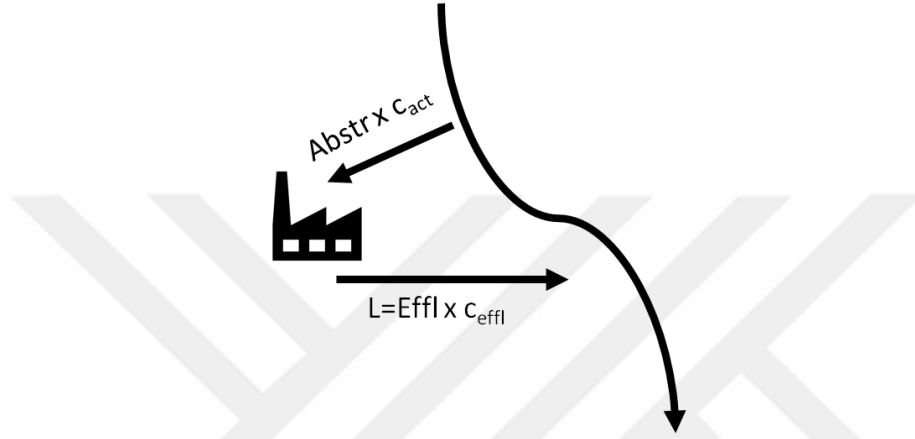
Su ayak izi çalışmasında amaç açıkça belirlenmeli ve sınırlar net çizilmelidir. Bunun sebebi ürün, süreç veya organizasyonun hangi kapsamda ve detayda değerlendirileceği, nelerin çalışmaya dahil edilip nelerin kapsam dışı bırakılacağı; çalışmanın çıktılarının ne amaçla kullanılacağına daha ilk adımda belirlenmesi, şeffafla ortaya konulması ve çalışmanın tüm akışının çizilen bu sınırlara göre yapılandırılmasıdır. İkinci adım olan su ayak izi muhasebesinde ise amaç ve kapsama uygun seçilen veriler toplanır ve ardından su ayak izi detayları Bölüm 3’te verilecek yönteme uygun hesaplanır. Çalışmanın üçüncü adımında sürdürülebilirlik; sosyal, ekonomik ve çevresel bakış açısıyla değerlendirilir. Son aşamada ise hesaplanan su ayak izine nasıl bir tepki verileceği, nasıl bir politika çizileceği ve strateji önerileri geliştirilir. Yapılacak bir su ayak izi çalışmasında bu dört aşamanın hepsinin tamamlanması şart koşulmaz. İlk kez WFN tarafından geliştirilen bu yöntem; sınırları katı bir yönerge olmaktan çok, bir rehber olarak tanımlanmıştır (Hoekstra ve diğ, 2011).

Noktasal kirliliğin gri su ayak izi hesaplaması ise aşağıda denklem 2.2’ye göre yapılmaktadır.

$$WF_{Gri} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} = \frac{Effl \times c_{effl} - Abstr \times c_{act}}{c_{max} - c_{nat}} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2’de L kirlletici yükünü [kütle/zaman], c_{max} alıcı ortamda izin verilen en yüksek kirlletici konsantrasyonunu [kütle/hacim], c_{nat} ise kirlleticinin deşarj öncesi

alıcı ortamdaki doğal konsantrasyonunu [kütle/hacim] ifade etmektedir. İkinci eşitlikte ise $Effl$ deşarj debisini [hacim/zaman], c_{effl} deşarj konsantrasyonunu [kütle/hacim]; $Abstr \times WF_{Gri}$ hesaplamasına dahil edilmeyecek debiyi [hacim/zaman], c_{act} prosese giriş suyu kirletici konsantrasyonunu ifade etmektedir [kütle/hacim]. Hesaplamalarda $Abstr$ düzeltmesinin kullanılmasının sebebi prosese giren sudaki mevcut kirletici yükünü prosesin WF_{Gri} hesaplamasına dahil etmemektir. Bu kütle dengesi Şekil 2.1’de açıklanmıştır.



Şekil 2.1: Kirlilik yükünün $Abstr$ düzeltmesi.

Burada c_{nat} ifadesinin alıcı ortamdaki kirleticinin fiili konsantrasyonu değil, kirleticinin insani hiçbir faaliyet olmaksızın alıcı ortamda bulunabilecek doğadan gelen konsantrasyonu olduğuna dikkat edilmelidir. Örneğin insan eliyle yapılan kimyasallar doğada bulunamayacağından $c_{nat}=0$ alınmalıdır.

WFN yöntemiyle WF_{Gri} hesaplamasında dikkat edilmesi gereken bir başka durum da WF_{Gri} ’nin tanımında saklıdır. Denklem 2.2’nin ilk eşitliğinde ifade edilen kısım açılırsa denklem 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6 elde edilmektedir.

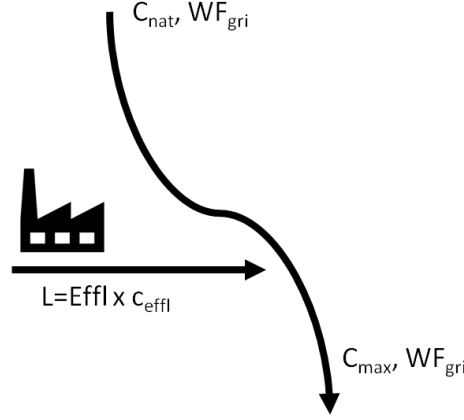
$$WF_{Gri} = \frac{Effl \times c_{effl}}{c_{max} - c_{nat}} \quad (2.3)$$

$$WF_{Gri} \times (c_{max} - c_{nat}) = Effl \times c_{effl} \quad (2.4)$$

$$WF_{Gri} \times c_{max} - WF_{Gri} \times c_{nat} = Effl \times c_{effl} \quad (2.5)$$

$$WF_{Gri} \times c_{max} = Effl \times c_{effl} + WF_{Gri} \times c_{nat} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6’ya göre Şekil 2.2 çizilmiştir.



Şekil 2.2: Denklem 2.6 referansla çizilen denge.

Şekil 2.2’de dikkat çeken unsur WF_{Gri} hesaplamasının bir kütle dengesi olarak kurgulanmamış olmasıdır. Eğer kütle dengesi yöntemiyle hesaplanırsa Şekil 2.3’ün ortaya çıkması gerekmektedir. Kütle dengesine göre denklem 2.6 yeniden düzenlenirse denklem 2.7 elde edilir ve denklem 2.11’e sadeleştirilir.

$$(WF_{Gri} + Effl) \times c_{max} = Effl \times c_{effl} + WF_{Gri} \times c_{nat} \quad (2.7)$$

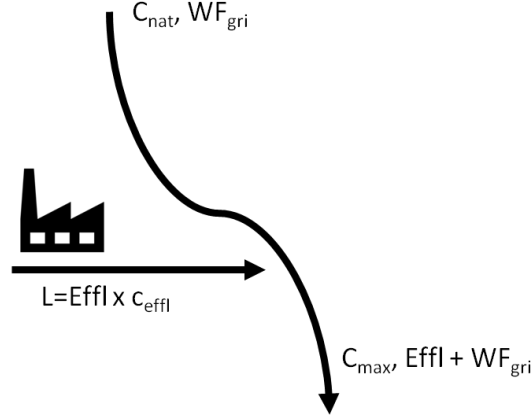
$$WF_{Gri} \times c_{max} + Effl \times c_{max} = Effl \times c_{effl} + WF_{Gri} \times c_{nat} \quad (2.8)$$

$$WF_{Gri} \times c_{max} - WF_{Gri} \times c_{nat} = Effl \times c_{effl} - Effl \times c_{max} \quad (2.9)$$

$$WF_{Gri} \times (c_{max} - c_{nat}) = Effl \times (c_{effl} - c_{max}) \quad (2.10)$$

$$WF_{Gri} = Effl \times (c_{effl} - c_{max}) / (c_{max} - c_{nat}) \quad (2.11)$$

Bu denklem 2.3’te WFN tarafından önerilen WF_{Gri} hesaplamasından farklı sonuç çıkartacak bir denklem olduğundan bu çalışmada da kütle dengesi kurulmayacaktır. Bölüm 3’te bahsedilecek olan iki çalışmada (Morera ve diğ.; 2016, Llanos ve diğ.; 2018) öne sürülen iki gösterge kütle dengesi yöntemiyle oluşturulduğundan bu çalışma kapsamında kütle dengesiyle hesaplanmış göstergeler anlam bütünlüğünü korumak için kullanılmayacaktır.



Şekil 2.3: Kütle dengesi olması durumunda WF_{gri} dengesi.

WFN tarafından tanımlanan gri su ayak izi; deşarj edilen kirleticinin doğaya etkisinin izin verilen en yüksek kirletici konsantrasyonu ve doğal konsantrasyon arasındaki farkla nasıl telafi edilebileceğinin hacimsel ifadesidir. Örnek olarak doğanın ($c_{max} - c_{nat}$) = 1mg/L seyreltme kapasitesi varken $c_{effl} = 2$ mg/L deşarj ediliyorsa bu deşarjın WF_{Gri} 'si debisinin 2 katı olacaktır. Bu örnekte izin verilen değer yani $c_{max} = 3$ mg/L olabilir. Bu deşarj yasal limitin altında olsa da her birim hacim deşarj ancak 2 birimlik WF_{Gri} ile seyreltilecek ve alıcı ortam yasal sınırların altında bir kirletici konsantrasyonuna sahip olacaktır.

Denklem 2.2'deki parametrelerin $Effl = Abstr$ olması şartına bağlı olarak Hoekstra ve diğ. (2011) tarafından birbiriyle ilişkisi incelenmiş şu notlara yer verilmiştir.

- $c_{effl} = c_{act}$ olması durumunda $WF_{Gri} = 0$ olacaktır çünkü alıcı ortam konsantrasyonunda bir değişiklik olmaz. Ham su konsantrasyonu deşarj konsantrasyonu ile aynıdır.
- $c_{effl} = c_{max}$ olması durumunda WF_{Gri} deşarjın kesin bir fraksiyonudur ek olarak $c_{act} = c_{nat}$ da olursa ise $WF_{Gri} = Effl$ olacaktır.
- $c_{max} = 0$ durumu ise yasaklanmış veya uzun süre bozulmadan kalan kirleticileri tanımlamaktadır ki bu tip kirleticiler için $c_{nat} = 0$ geçerli olacağından denklemin çözümünün sonucu sonsuz çıkacaktır, bu WF_{Gri} 'nin kabul edilebilir limitlerin çok üzerinde olduğunun bir göstergesidir. Aynı durum $c_{max} = c_{nat}$ için de geçerlidir ancak genelde bu gerçekleşmez çünkü limitleri doğal sınırlarda bulundurmamak anlam ifade etmemektedir.

Hoekstra ve diğ. (2011) çalışmalarında hesaplanan $WF_{Gri} > 0$ olma durumunun alıcı ortam kalite standartlarının ihlal edileceği anlamına gelmediğini sadece kirletici seyreltme kapasitesinin bir kısmının kullanıldığını ifade etmişlerdir. Aynı çalışmadan bir başka önemli not ise bir havzadan alınan su bir başka havzaya deşarj ediliyorsa denklem 2.2'deki $Abstr \times c_{act}$ ifadesinde $Abstr = 0$ olarak alınması gerektiğidir. Franke ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada da, her kirletici için WF_{Gri} hesaplaması yapıldıktan sonra $WF_{Gri, Toplam}$ alınırken en yüksek WF_{Gri} değerine sahip kirleticinin WF_{Gri} 'sinin alınması gerektiği belirtilmiştir.

Bir diğer yaklaşım ise potansiyel etkilerin değerlendirildiği Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) bazlı su ayak izi hesaplama yöntemidir (Pfister ve diğ., 2017). LCA yöntemi ile su ayak izi hesaplaması ISO tarafından 2014 yılında ilk kez standart haline getirilmiştir (Hoekstra, 2016). BSI (2016) tarafından 14046 standardında su ayak izi; suyla ilişkili potansiyel çevresel etkilerin ölçüldüğü metrikler olarak tanımlanmış ve ayrıca kapsam değerlendiricinin inisiyatifine bırakılmıştır. Aynı standartta su ayak izi değerlendirmesi ise; bir ürün, proses veya organizasyonun su tüketimi veya suya etkisiyle ilişkili, girdi, çıktı ve potansiyel çevresel etkilerinin derlendiği ve değerlendirildiği yöntem olarak tanımlanmıştır. 14046 standardında (BSI, 2016) belirtildiği üzere yürütülen bir su ayak izi değerlendirmesi:

- Yaşam döngüsü değerlendirmesine dayanmakta,
- Modüler yapıya sahip (örneğin yaşam döngüsündeki farklı aşamaların su ayak izlerinin toplamı, toplam su ayak izini temsil etmektedir),
- Suyu olan potansiyel çevresel etkileri belirlemekte,
- Amaca uygun coğrafi ve geçici boyutları dahil etmekte,
- Su kullanımını ve su kalitesindeki değişimi belirlemekte ve,
- Hidrolojik bilgiyi kullanmaktadır.

Bunun yanında su ayak izi değerlendirmesinin ürün, süreç veya organizasyonların tüm çevresel etkilerinin değerlendirmesinde tek başına yetersiz kalacağı belirtilmiştir. Bu yaklaşımla su ayak izi tek başına oluşturulup raporlanabileceği gibi daha kapsamlı bir yaşam döngüsü çalışması kapsamında da değerlendirilebilir. LCA yöntemine göre bir su ayak izi değerlendirmesi aşağıdaki dört adımdan oluşmaktadır (BSI, 2016).

- Hedef ve kapsamın tanımlanması

- Su ayak izi envanter analizi
- Su ayak izi etki değerlendirmesi
- Sonuçların yorumlanması

Standarda göre hedef tanımlanırken; çalışma alanı, hedef kitle, çalışma amacı, tek bir çalışma mı yoksa çalışmanın yaşam döngüsü değerlendirmesinin parçası mı olduğu net bir şekilde tarif edilmelidir. Amaca uygun kapsam belirlenirken ise; sistem sınırları, fonksiyonel birimler, çalışmanın geçici ve coğrafi kapsam ve ayrışmaları, veri ve veri kalitesi, limit kriterler, tahsis yöntemleri, kabuller, seçilen değerler ve opsiyonel öğeler, su ayak izi değerlendirme yöntemi ve etki kategorileri, çalışmanın kapsam boyutu, belirsizlikler ve limitler, kıyaslanabilir baz değerler, raporlama tipi, kapsam dışı bırakılanların gerekçeleri ve kritik incelemelerin her biri değerlendirilmeli ve açıkça tanımlanmalıdır (BSI, 2016).

Standarda göre su ayak izi kapsamlı bir değerlendirmenin sonucudur ve bu değerlendirme yapılırken suyla ilgili önemli potansiyel çevresel etkilerin tamamının seçilen etki kategorilerinde adreslendiği kanıtlanmalıdır. Tam kapsamlı bir su ayak izi değerlendirmesi yapılmayacaksa, standart tarafından su ayak izinin niteleyici bir kelimeyle birlikte kullanılması (rneğin, su kıtlık ayak izi, su ötrofikasyon ayak izi vb.) şart koşulmuştur (BSI, 2016).

Yukarıda verilen bilgiler ışığında WFN yöntemi hacimsel, LCA yöntemi ise etki merkezli su ayak izi yaklaşımı olarak değerlendirilebilir. WFN yönteminde su ayak izi mavi, yeşil ve gri olmak üzere üç hacimsel bileşene ayrılmakta, LCA yönteminde ise böyle bir ayırım bulunmamaktadır. WFN, su ayak izi hesaplama yöntemi için bir rehber hazırlamış ancak yöntem geliştirilmek üzere ucu açık bırakılmıştır. LCA yönteminde sistematik 14044: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi standardına dayanmakta; tanımlar, ilkeler, yöntem, raporlama ve gözden geçirme kısımları değerlendiriciye belli kısıtlamalar ve açıklamalarla sunulmaktadır.

Hoekstra (2016)'ya göre LCA ve WFN yöntemlerini benimseyen topluluklar arasında LCA topluluğunun su ayak izi hesaplamasına ilgi duyduğu 2009 yılından itibaren birçok paylaşım yapılmış ancak ortak bir noktada buluşulamamıştır. Bu sebeple iki yöntem birbirinden farklı yönde gelişmiştir. Pfister ve diğ. (2017)'nin Hoekstra (2016)'ya verdiği cevaba göre geliştirilmeye açık bu iki yaklaşımın da karar vericilere ve paydaşlara bilgi sağlamak gibi bazı ortak yönleri bulunmakla

birlikte birbirinden ayrıldığı en önemli noktanın; LCA yönteminde su kullanımı kaynaklı çevresel tahribat ve yoksunluk değerlendirilirken, WFN yönteminde su, sınırlı bir küresel kaynak olarak değerlendirilmiş ve su üretkenliği baz alınarak bir yöntem oluşturulduğu belirtilmiştir.

2.2 Arıtma Tesisleri İçin Yapılmış Su Ayak İzi Çalışmaları

Atık su arıtma tesislerinin (AAT) WF hesabındaki etkisi ilk kez Hoekstra ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiş; bir prosesin WF'si, prosesin deşarj konsantrasyonları dikkate alınarak hesaplandığından, AAT'lerinin WF_{Gri} 'yi azalttığı ifade edilmiştir. Aynı rehber dokümanda AAT'lerinde atık su arıtırken buharlaşma kaynaklı WF_{Mavi} oluşturabileceği de belirtilmiştir. Hoekstra ve diğ. (2011) denklem 2.12'de ısırlı kirliliğin WF_{Gri} 'sinin hesaplaması için öneride bulunmuş, hesaplamanın kirleticilerle benzer olduğunu belirtmiştir.

$$WF_{Proc,Gri} = \frac{T_{effl} - T_{act}}{T_{max} - T_{nat}} \times Effl \quad (2.12)$$

Denklem 2.2'de $(T_{max} - T_{nat})$ ifadesi kabul edilebilir en yüksek sıcaklık artışı [$^{\circ}C$] (T_{max} = izin verilen en yüksek sıcaklık [$^{\circ}C$]; T_{nat} = Suyun doğal sıcaklığı [$^{\circ}C$]), T_{effl} deşarj su sıcaklığı [$^{\circ}C$], T_{act} ise prosese alınan suyun sıcaklığıdır [$^{\circ}C$]. Effl çıkış su debisini ifade etmektedir [hacim/zaman].

Bir AAT'nin su ayak izi ilk defa Shao ve Chen (2013) tarafından yapım ve işletme aşamalarıyla yalnızca mavi su ayak izi baz alınarak WFN yöntemiyle hesaplanmıştır. Shao ve Chen (2013), daha önce sınırları ulusal veya bölgesel olarak çizilen su endüstrisi için yapılan su ayak izi çalışmalarına ulaşsa da bu kapsamda bir çalışmanın ancak sektörün politikasının oluşturulmasına rehber olacağı ve ortalama bir görüş sunacağı sonucuna varmış; çoğu girdi-çıkış analizinin ancak sektöre ortalama bir çözüm sunacağı ve bu kapsamda bir çalışmanın detaylı çalışmalara izin vermeyeceği görüşüne ulaşmıştır. Shao ve Chen (2013) çalışmanın amacını AAT'nin çevreye olan etkisinin su ayak izi olarak hesaplanabilmesi için belirgin bir yöntem sağlamak olarak ifade etmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca giderim verimliliği ve AAT sisteminin yenilenebilirliği terimleri ortaya atılmıştır. Shao ve Chen (2013) gri su ayak izini, arıtma tesisinin doğal bir fonksiyonu olduğunu düşündüğünden ve sadece mavi su ayak izi verilerine ulaşılabildiğinden çalışma kapsamı dışında

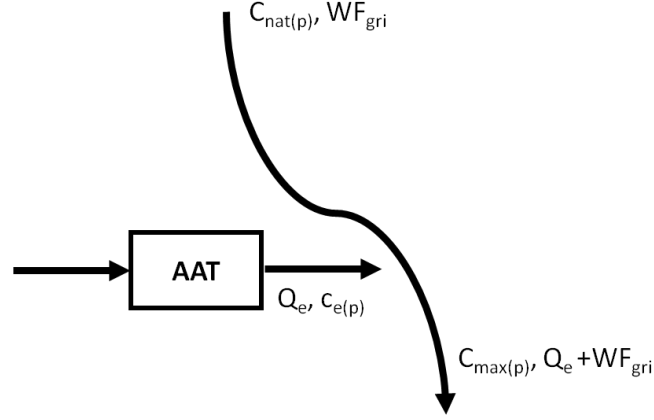
bırakmıştır. Çalışmanın bir çıktısı olarak Shao ve Chen (2013) ürüne 1.000 dolarlık bir endüstriyel değer katan su arıtımının 2.64 m³ lük bir mavi su ayak izine sahip olduğunu hesaplamıştır. Mekonnen ve Hoekstra (2011a) tarafından yapılan çalışmada Çin’de üretilecek 1.000 dolarlık endüstriyel değer için ortalama 9,82 m³ mavi su ayak izinin olacağı ifade edilmiştir. Shao ve Chen (2013) bu iki değer arasındaki farka gelecek çalışmalar için dikkat çekmiştir. Ayrıca çalışmada (Shao ve Chen, 2013) arıtılan 1 m³ atık suyun 3.12×10⁻³ m³ (3.12 litre) mavi su ayak izine sahip olduğunu hesaplanmış ve bu ayak izinin de %57,14’lük kısmının elektrik, %10,28’inin temiz su, %5.59’luk kısmının ise kimyasal tüketimi kaynaklı olduğu belirtilmiştir.

Bir diğer çalışma ise Morera ve diğ. (2016) tarafından yapılmış, çalışmanın amacı; mavi ve gri su ayak izlerinin AAT’leri için önemini tanımlanması, AAT’nde yapılacak iyileştirmelerin su ayak izi kavramıyla olumlu etkilerinin hesaplanabilmesi olarak tanımlanmıştır. Çalışma sonucunda AAT’nin sırayla gri ve mavi su ayak izlerinin toplam su ayak izlerine oranlarının %95 ve %5 olduğunu belirlenmiştir (Morera ve diğ., 2016).

Morera ve diğ. (2016) tarafından üç farklı senaryo baz alınarak (doğrudan deşarj, biyolojik arıtma ve fosfor giderimi) tek bir atık su arıtma tesisinin çıkış suyunun ürün olduğu kabulüyle; yeşil su ayak izi kapsam dışı bırakılarak; mavi ve gri su ayak izi hesaplanmıştır. Bu çalışmada da WFN tarafından oluşturulan yöntem kullanılmıştır. Çalışmada arıttığı suyu nehre deşarj eden 4.000 m³/gün kapasiteli bir AAT incelenmiştir. Çalışma kapsamında Toplam Organik Karbon (TOK), Toplam Azot (TN) ve Toplam Fosfor (TP) parametreleri incelenmiştir.

Morera ve diğ. (2016) WF_{Gri} hesabı için Şekil 2.4’te görselleştirilen kütle dengesini kurmuş ve denklem 2.13’ü önermiştir.

$$Q_e \times c_{e(p)} + WF_{Gri(p)} \times c_{nat(p)} = (Q_e + WF_{Gri(p)}) \times c_{max(p)} \quad (2.13)$$



Şekil 2.4: Denklem 2.13'ün görselleştirilmiş hali.

Şekil 2.4 ve denklem 2.13'te Q_e = AAT çıkış debisi, $C_{e(p)}$ = p kirleticisinin AAT çıkış konsantrasyonunu, $C_{nat(p)}$ = p kirleticisinin doğadaki konsantrasyonunu, $C_{max(p)}$ = p kirletici konsantrasyonu için alıcı ortamda izin verilen üst sınırı ifade etmektedir. Morera ve diğ. (2016) tarafından denklem 2.13'teki ifadeler düzenlenerek denklem 2.14 oluşturulmuştur. Bölüm 2.1 denklem 2.11'de verilen eşitliklerin aynı olduğu dikkate alınmalıdır. Morera ve diğ. (2016) denklem 2.14 sonucu çıkan göstergeyi; AAT çıkışındaki kirletici konsantrasyonunu alıcı ortamdaki izin verilen en yüksek konsantrasyona seyreltmek için gerekli su hacmi olarak tanımlamıştır. Denklem 2.14 aynı zamanda Bölüm 3, denklem 3.17 $WF_{Gri, Operasyonel}$ olarak tanımlanacaktır. Aralarındaki tek fark ise iki parametre birbirinin -1 ile çarpılmış hali olmasıdır. Bunun sebebi Morera ve diğ. (2016) tarafından $C_{max} < C_e$ düşüncesiyle (deşarjın yasal değerlerin üzerinde olması durumu) hesaplama yapılmış olmasıdır. Bu durumla ilgili bu bölümde Llanos ve diğ. (2018) tarafından önerilen yöntem irdelenecektir.

$$WF_{Gri(p)} = \frac{(C_{e(p)} - C_{max(p)})}{(C_{max(p)} - C_{nat(p)})} \times Q_e \quad (2.14)$$

Morera ve diğ. (2016) mavi su ayak izinin yaklaşık %96'sının elektrik kaynaklı olduğunu, %3,5 kadarının yağ ve çamur gideriminden kaynaklandığını buharlaşmanın WF_{Mavi} içinde yalnızca %0.13'lük paya sahip olduğunu belirtmiştir.

Morera ve diğ. (2016) çalışmasında elde ettiği 1 m³'lük atık su arıtmak için 1,45 m³ mavi su ayak izi oluşturduğu sonucunu Shao ve Chen (2013) tarafından yapılan çalışmayla kıyaslamış, aradaki önemli farkın elektrik tüketiminin ayak izinden kaynaklandığı sonucuna ulaşmıştır. Yazarca bu fark; çalışmaların iki farklı ülkede

yapılması (Çin ve İspanya), elektrik tüketimi su ayak izi verilerinin farklı yöntemlerle hesaplanması veya farkı veri tabanından alınmasından kaynaklanmaktadır. Her iki çalışmada da veri eksikliğine değinilmiş olması dikkat çekicidir. Ayrıca çalışmanın sonunda Morera ve diğ. (2016) WFN yönteminin AAT'lere uyarlanabilmesi için çalışılması gerektiğini belirtmiştir.

Morera ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmanın bulgularından biri de AAT kirletici giderim verimliliğinin artışıyla gri su ayak izindeki düşüşün TN için %85,3; TP için %70,8; TOK içinse %96,5'i bulmasıdır. Morera ve diğ. (2016)'ın çalışmasında ayrıca Chao ve Chen (2013)'ün çalışmasından farklı olarak AAT'nin çamur ve yağlı atıkları da mavi su ayak izi hesaplamasına dahil edilmiştir.

Gu ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada ise güney Çin'de bulunan farklı tipte kapasite ve prosese sahip 9 AAT'nin gri su ayak izleri hesaplanmış ve çalışmanın sonunda gri su ayak izi azaltma göstergesini (GWFE) önerilmiştir. Çalışmada Gu ve diğ. (2016) tarafından WFN yöntemi kullanılmış, 9 arıtma tesisinin gerçek verilerine ulaşılmış; mavi ve yeşil su ayak izleri çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir. Gri su ayak izi hesaplamalarında KOİ, BOİ ve TN parametreleri değerlendirilmiştir.

Gu ve diğ. (2016) çalışmanın amacını, AAT'lerinin gri su ayak izi azaltmak için tükettiği enerji ve enerjinin arkasındaki saklı suyun birbiriyle olan bağının hesaplanması olarak belirtmiştir. Çalışmada belirtildiğine göre AAT'nin her ünitesi işlevini yerine getirebilmek için enerji girdisine ihtiyaç duymaktadır.

Gu ve diğ. (2016) çalışma kapsamında ortaya attıkları gri su ayak izi azaltma göstergesini (ΔGWF); AAT'nin arıtma tesisi olmadığı duruma kıyasla atık suyun doğal su kalitesine seyreltilmesi için gerekli teorik su miktarındaki düşüş olarak tanımlanmıştır. Önerilen ΔGWF 'nin hesabı denklem 2.15'te verilmiştir.

$$\Delta GWF = MIN\left[\frac{[Q_i - B_i]}{B_i} \times V\right] \quad (2.15)$$

Denklem 2.15'te Q_i AAT'nin giriş kirletici konsantrasyonunu [kütle/hacim], B_i arıtmanın ardından AAT deşarjındaki kirletici konsantrasyonunu [kütle/hacim], V ise belirlenen zamanda arıtılan suyun hacmini ifade etmektedir [hacim/zaman]. Denklem 2.15'in sözel ifade edilişi ise giderilen kirletici konsantrasyonunun çıkış kirletici

konsantrasyonuna oranıyla AAT debisinin çarpılmasıdır. Farklı kirleticiler değerlendirildiğinde [MIN] yani en düşük değer alınmalıdır. Denklem 2.13, Gu ve diğ. (2016) tarafından 9 farklı bölgede bulunan (dolayısıyla farklı doğal kirletici konsantrasyonu, farklı sınır değerler vb.) AAT'nin benzer şekilde değerlendirilebilmesine olanak sağladığı için geliştirilmiştir.

WFN yönteminden farklı olarak bu göstergede yalnızca AAT giriş ve çıkış konsantrasyonları kullanılmakta; doğal, yasal, ham su konsantrasyonlarına yer verilmemektedir. Denklemdaki ΔGWF , kirleticileri seyreltmek için kullanılan tatlı su hacminin AAT dolayısıyla azalan kısmını yansıtmaktadır.

Yine aynı çalışmada denklem 2.15'ten sadece debi (V) çıkartılarak GWFR göstergesi de önerilmiştir. Denklem 2.16'da GWFR hesabı verilmiştir.

$$GWFRE = \frac{[Q_i - B_i]}{B_i} \quad (2.16)$$

Çalışmaya göre tanımlanan GWFRE'nin yüksek olması AAT'nin gri su ayak izi azaltma verimliliğinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Gu ve diğ. (2016) çalışma sonucunda 1 m³ atık suyun arıtılmasının 6.78 m³'lük gri su ayak izi azaltılmasına sebep olduğunu ve bunun için 0.4 kWh elektrik tüketilerek, bu elektriğin su ayak izinin de 13.38 litre olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada verilen değerler hesaplandığında Güney Çin bölgesinde 1 MWh elektrik üretiminin arkasında 33.5 m³ saklı su bulunduğu sonucuna ulaşılabilmektedir.

Gu ve diğ. (2016) tarafından 1 m³ atık suyun azaltılması için hesaplanan ve yalnızca elektrik tüketimi kaynaklı mavi su ayak izi değeri olan 13.38 litre; Shao ve Chen (2013) tarafından bulunan 3,12 litrelik mavi su ayak izi değeriyle kıyaslandığında çalışmaların sonuçları arasındaki fark dikkat çekmektedir. Shao ve Chen (2013)'ün çalışmasında çıkan; toplam mavi su ayak izinin yaklaşık yarısının elektrik kaynaklı olduğu kabul edilerek oran Gu ve diğ. (2016) sonucuna adapte edilirse bu çalışmada 1 m³ atık suyun arıtılması için yaklaşık 27 litrelik mavi su ayak izinin oluşacağı tahmin edilebilir, bu da benzer bölgelerde benzer verilerle yapılan iki çalışmanın sonucu arasında 9 kata yakın bir fark çıkabileceğini göstermektedir.

Bu tez kapsamında erişilebilen bir diğer AAT su ayak izi hesaplama çalışmasında ise Llanos ve diğ. (2018); Gu ve diğ. (2016) tarafından önerilen gri su ayak izi azaltma

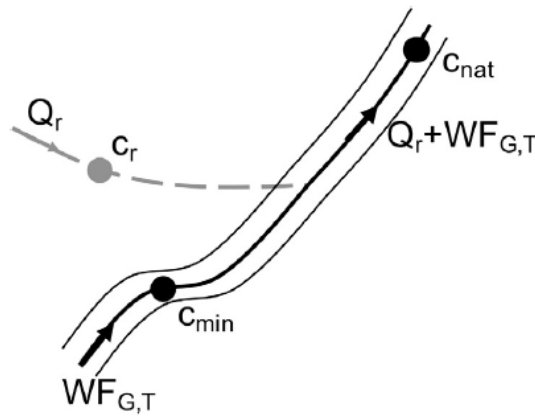
göstergesini de çalışmasına dahil etmiş; AAT verimlilik analizi için operasyonel gri su ayak izi kavramını geliştirmiş ve iki AAT için bu göstergeyi uygulamıştır.

Llanos ve diğ. (2018) çalışmalarının amacını AAT'lerinin faydalı rolünün su ayak izi yöntemiyle tanımlanması; mavi su ayak izinin gri su ayak izi seyreltmedeki bağlantısının hesaplanması ve AAT'lerinin deşarj standartlarını karşılayabilmesi için gerekli işletme yönetiminin payının ortaya konulması olarak belirtmiştir.

Llanos ve diğ. (2018)'nin görüşüne göre AAT'lerinin normal şartlarda deşarj değerleri yasal sınırların altındadır ve bu, AAT emisyonlarının çevreyi olumlu etkilediği kanısını doğrular ancak AAT'lerinin hala deşarj noktasında doğal konsantrasyonların üzerinde kirletici emisyonu bulunmaktadır. Bu sebeple Llanos ve diğ. (2018) yeni bir gösterge olarak operasyonel gri su ayak izi kavramını önermiş ve kavramı; AAT'nin, belirlenen her kirleticinin yasalarda izin verilen sınır değerleri karşılayabilme yeterliliğinin, güvenlik payı olarak tanımlamıştır. Bu Morera ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmayla arasındaki en önemli farklardan birisidir.

Elektrik tüketiminin WF_{Mavi} hesabı için bu çalışmada Ecoinvent 3.0 veri tabanından $2.8 \text{ m}^3/\text{kWh}$ değerini kullanılmıştır. WF_{Mavi} hesabına arıtma çamuru içindeki su miktarını ve buharlaşma verilerini de dahil edilmiştir (Llanos ve diğ. 2018).

Llanos ve diğ. (2018) de Morera ve diğ. (2016) gibi kütle dengelerinden faydalanarak WF_{Gri} hesaplamaları yapmıştır. Toplam WF_{Gri} ($WF_{G,T}$) için kurulan kütle dengesi Şekil 2.5'te ve denklem 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.5: $WF_{G,T}$ hesaplaması için kullanılan kütle dengesi, Llanos ve diğ. (2018).

$$Q_r \times c_r + WF_{G,T} \times c_{min} = (Q_r + WF_{Gri(p)}) \times c_{nat} \quad (2.17)$$

seyreltilen olaraksa AAT giriş kirletici konsantrasyonu doğrudan kullanılır.

$$WF_{G,T} = \frac{(c_r - c_{nat})}{(c_{nat} - c_{min})} \times Q_r$$

Llanos ve diğ. (2018) daha önce Gu ve diğ. (2016) tarafından önerilen AAT giriş kirletici konsantrasyonu için bir göstergesini de çalışmasında değerlendirmiştir. Bunun için kurduğu kümeleme yöntemiyle, Şekil 2.6 ve denklem 2.19’da verilmiştir.

$$Q_r \times c_r + WF_{G,ref} \times c_{min} = (Q_r + WF_{G,ref}) \times c_{ef} \quad (2.19)$$

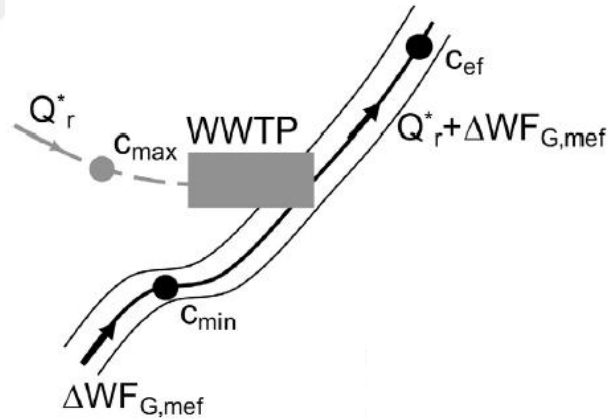
Denklem 2.19 sadeleştirildiğinde denklem 2.20 elde edilmiştir (Llanos ve diğ. 2018).

$$WF_{G,ref} = \frac{(c_r - c_{ef})}{(c_{ef} - c_{min})} \times Q_r \quad (2.20)$$

Llanos ve diğ. (2018) $c_{min}=0$ kabulüyle aşağıda denklem 2.21'i elde etmiştir. Denklem 2.21 ve Gu ve diğ. (2016) tarafından denklem 2.15'te önerilen göstergeler farklı simgelerle birbirinin aynı sonucunu vermektedir. Tek farkları denklem 2.20 sadeleştirilmeden kullanıldığında alıcı ortam AAT öncesi kirletici konsantrasyonlarının da hesaplama dahil edilmesidir.

$$WF_{G,ref} = \frac{(c_r - c_{ef})}{c_{ef}} \times Q_r \quad (2.21)$$

Llanos ve diğ. (2018) operasyonel gri su ayak izi hesaplamak için kurduğu kütle dengesini ($\Delta WF_{G,mef}$) Şekil 2.7 ve denklem 2.22'de açıklamıştır. Denklemde Q_r AAT'ye giriş debisi [hacim/zaman], c_r ham su kirletici konsantrasyonu [kütle/hacim], c_{ef} deşarj konsantrasyonu [kütle/hacim], c_{max} ise en yüksek yasal konsantrasyonu ifade etmektedir [kütle/hacim].



Şekil 2.7: $\Delta WF_{G,mef}$ hesaplaması için kullanılan kütle dengesi, Llanos ve diğ. (2018).

$$Q_r^* \times c_{max} + \Delta WF_{G,mef} \times c_{min} = (Q_r^* + \Delta WF_{G,mef}) \times c_{ef} \quad (2.22)$$

Denklem 2.22'de Q_r^* yerine denklem 2.23'te verilen ifade yazılıp $c_{min}=0$ kabulüyle sadeleştirildiğinde denklem 2.24 elde edileceği ifade edilmiştir (Llanos ve diğ. 2018).

$$Q_r^* = Q_r + Q_r \frac{c_r - c_{max}}{c_{max} - c_{min}} = Q_r \frac{c_r - c_{min}}{c_{max} - c_{min}} \quad (2.23)$$

$$\Delta WF_{G,mef} = Q_r \frac{c_r [c_{max} - c_{ef}]}{c_{max} \times c_{ef}} \quad (2.24)$$

Llanos ve diğ. (2018) tarafından önerilen $\Delta WF_{G,mef}$ göstergesi AAT giriş çıkış konsantrasyonları oranı ve izin verilen deşarj standardına göre deşarjın standart altına ne kadar inildiğinin oranının AAT çıkış debisiyle çarpılmasıdır. Daha önce ifade edildiği gibi bu gösterge AAT işletme yönetiminin, belirlenen her kirleticinin yasalarda izin verilen sınır değerleri karşılayabilme yeterliliğinin, güvenlik payıdır. Çalışmasında $\Delta WF_{G,mef}$ hesabında $c_{ef}=c_{max}$ olursa $\Delta WF_{G,mef} = 0$ olacak ve deşarj limitlerine uyum olarak tanımlanacak; $c_{ef}>c_{max}$ olursa $\Delta WF_{G,mef} < 0$ olacak ve kabul edilemez durum olarak tanımlanacak; genelde ise $c_{min}<c_{ef}<c_{max}$ aralığında olacağından $\Delta WF_{G,mef} > 0$ durumu normal olarak tanımlanacağı belirtilmiştir (Llanos ve diğ. 2018).

Llanos ve diğ. (2018) çalışmalarının sonucunda arıtma olmaksızın senaryoya göre kıyaslandığında iki arıtma tesisinde sırayla BOİ₅ için %32,25-28,40, TN için %16,44-22,01, TP için %9,56-4,75 WF_{Gri} 'de düşüş tespit etmiştir. Tek arıtma tesisinin toplam WF_{Mavi} 'si içinde elektrik tüketiminin WF_{Mavi} 'sinin oranının %99,8 olduğu ayrıca belirtilmiştir. Çalışmada TN ve TP parametreleri sınırlayıcı parametreler olarak tanımlanmıştır. AAT'lerinin 1 m³ su arıtmak için 0,58-0,88 m³ temiz su tükettiği de ayrıca belirtilmiştir (Llanos ve diğ. 2018).

Ulaşılabilen son çalışma ise Türkiye'de Yapıcıoğlu (2019) tarafından bir boya endüstrisi AAT'si için yapılmıştır. 1 yıllık verilerin incelendiği çalışmada KOİ, AKM, Yağ ve Gres parametreleri için WF_{Gri} hesaplanmıştır. WF_{Mavi} hesabında ise arıtma çamuru, proses su kullanımı ve yaşamsal ihtiyaçlar için doğrudan tüketilen su çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışmada $WF_{Yeşil}$ kapsam dışında bırakılmıştır. Çalışma sonucunda WF_{Gri} , WF_{Mavi} 'ye baskın çıkmıştır. WF_{Mavi} içindeki en önemli bileşen ise çamur yönetimi kaynaklı oluşan WF_{Mavi} (yaklaşık %50) olarak belirtilmiştir (Yapıcıoğlu, 2019).

Tüm bu çalışmalar değerlendirildiğinde, Hoekstra ve diğ. (2011) tarafından önerilen WF_{Gri} göstergesinde asimilasyon kapasitesi dikkate alınmakta (bkz: denklem 2.2), bu sebeple denklemin altında ($c_{max}-c_{nat}$) hesabına yer verilmektedir. Bu, bir kirleticinin, alıcı ortamda sürdürülebilir kalitenin sağlanması için izin verilen en yüksek konsantrasyon ve doğada mevcut konsantrasyon arasındaki farkı tanımlar. Bu farkın

çeşitli deşarjlarla oranı ise birim deşarj başına gerekli olan su miktarını tanımlar. Gu ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada yalnızca AAT giriş ve çıkış kirletici konsantrasyonlarının birbirine oranı verilmiş; Llanos ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise doğadaki kirletici konsantrasyonları (yani ham sudaki kirletici konsantrasyonları) sıfır kabul edilmiştir. WF_{Gri} hesaplaması için bu yöntemlerden esinlenerek hazırlanan ve Türkçeleştirilen yeni göstergelere Bölüm 3.1.3'te yer verilecektir.



3. YÖNTEM

3.1 Su Ayak İzi Hesaplama Yöntemi

Bölüm 2.2’de AAT’lerinin WF hesaplamasında bundan önceki çalışmalarda kullanılan formüller ve çıktıları verilmiştir. Bu çalışmaların tamamında WFN tarafından önerilen yöntem kullanıldığından, verilerin karşılaştırılabilmesi için bu çalışmada da WFN yöntemiyle AAT’nin su ayak izi hesaplama yöntemi kullanılacaktır.

Diğer çalışmalardan farklı olarak, $WF_{Yeşil}$ de bu çalışma kapsamında değerlendirilecektir. Bunun sebebi, $WF_{Yeşil}$ ’in ürün içinde saklı yağmur suyu hacmi olmasıdır. AAT’leri genelde üzeri açık tesisler olduğundan serbest yağmur suyu prosese karışmakta ve kirlenmektedir. AAT WF_{Toplam} hesabında literatürdeki çalışmalarda denklem 3.1’in kullanımı önerilmiştir.. Bu çalışmada kullanılacak WF_{Toplam} hesabında denklem 2.1 kullanılacak, ardından $WF_{Yeşil}$ ’in toplam içindeki payına göre denklem 2.1 veya denklem 3.1’in kullanımı Bölüm 5’te değerlendirilecektir.

$$WF_{Toplam} = WF_{Mavi} + WF_{Gri} \quad (3.1)$$

3.1.1 Yeşil Su Ayak İzi Hesaplaması

AAT’nin etki alanı içinde $WF_{Yeşil}$ hesaplanırken doğrudan ($WF_{Yeşil,Yağış}$) veya dolaylı ($WF_{Yeşil,Diğer}$) $WF_{Yeşil}$ kaynakları hesaplamaya girecektir. Denklem 3.2’de $WF_{Yeşil,Toplam}$ hesabı verilmiştir.

$$WF_{Yeşil,Toplam} = WF_{Yeşil,Yağış} + WF_{Yeşil,Diğer} \quad (3.2)$$

AAT’nin bulunduğu bölgeye düşen dönemsel toplam yağışın ($P_{Toplam,Dönem}$), [kütle/(alan.zaman)] AAT yüzey alanıyla (A_{AAT}) çarpımı ile $WF_{Yeşil}$ hesaplaması denklem 3.3’te verilmiştir. Toplam yağışın alındığı zaman aralığına göre $WF_{Yeşil}$ ’in zaman aralığı da değişecektir.

$$WF_{Yeşil,Yağış} = P_{Toplam,Dönem} \times A_{AAT} \quad (3.3)$$

3.1.2 Mavi Su Ayak İzi Hesaplaması

WF_{Mavi} de $WF_{Yeşil}$ gibi doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki bileşenden oluşur. Bileşenler denklem 3.4'te verilmiştir.

$$WF_{Mavi,Toplam} = WF_{Mavi,Doğrudan} + WF_{Mavi,Dolaylı} \quad (3.4)$$

$WF_{Mavi,Doğrudan}$ kaynakları AAT kapsamında düşünüldüğünde AAT'nde kullanılan temiz su ($Q_{ham,proses}$), AAT yüzeyinden toplam buharlaşma ($E_{Toplam,Dönem}$), AAT için kurulacak kütle dengesinde girdilerle çıktılar arasındaki fark ($Q_{Kayıp}$) ve çamur içinde AAT'nden çıkan ve geri beslenmeyen çamurun içindeki su ($Q_{Çamur}$) olarak değerlendirilmelidir. Denklem 3.5'te $WF_{Mavi,Doğrudan}$ hesabına yer verilmiştir. Hesaplama buharlaşma ve su tüketimlerinin aynı dönemler içinde alınmasına dikkat edilmelidir.

$$WF_{Mavi,Doğrudan} = Q_{Ham,Proses,Dönem} + E_{Toplam,Dönem} + Q_{Kayıp} + Q_{Çamur} \quad (3.5)$$

$WF_{Mavi,Dolaylı}$ ise AAT girdi ve çıktılarının içinde saklı temiz su miktarı olarak değerlendirilmelidir. Çizelge 3.1'de bu çalışmaya dahil edilecek $WF_{Mavi,Dolaylı}$ kaynaklarına yer verilmiştir.

Çizelge 3.1: Dolaylı WF_{Mavi} Kaynakları.

Kaynak	Muhtemel İçerik
Kimyasallar	WF_{Mavi}, WF_{Gri}
Atık Arıtma Çamurunun Bertarafı	WF_{Mavi}, WF_{Gri}
Elektrik Enerjisi	WF_{Mavi}

Kimyasallar, Atık Arıtma Çamuru ve Atık Yağ WF'leri; gerçek WF verilerine ulaşılamadığından, ürünlerin maddi değerleri üzerinden hesaplanacaktır. Mekonnen ve Hoekstra (2011a) tarafından yapılan çalışmada, 1.000 dolarlık endüstriyel ürünün içinde saklı ortalama WF_{Gri} ve WF_{Mavi} miktarları ülkelere göre hesaplanmıştır ve Türkiye'deki 1.000 \$ değerinde bir ürün için bu değerler WF_{Mavi} : 2,51 m³, WF_{Gri} : 27,7 m³ olarak verilmiştir. Bu çalışmada denklem 3.6 kullanılarak WF_{Mavi}

hesaplanacaktır. Benzer şekilde Bölüm 3.1.3'te WF_{Gri} aynı değerler kullanılarak belirlenecektir.

$$WF_{Mavi,Tüketim,1} = \frac{2,51}{1000} \left[\frac{m^3}{\$} \right] \times \frac{m_t [kütle/zaman] \times fiyat_{t,x}}{kur \left[\frac{para\ birim_x}{\$} \right]} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'da m_t : birim zamanda tüketilen 1 numaralı endüstriyel ürünü, $fiyat_{t,x}$ endüstriyel ürünün X para birimindeki fiyatı, kur ise \$ karşısında X para biriminin değerini ifade etmektedir. Bütün endüstriyel ürünlerin WF_{Mavi} hesabı ise denklem 3.7'de verilmiştir.

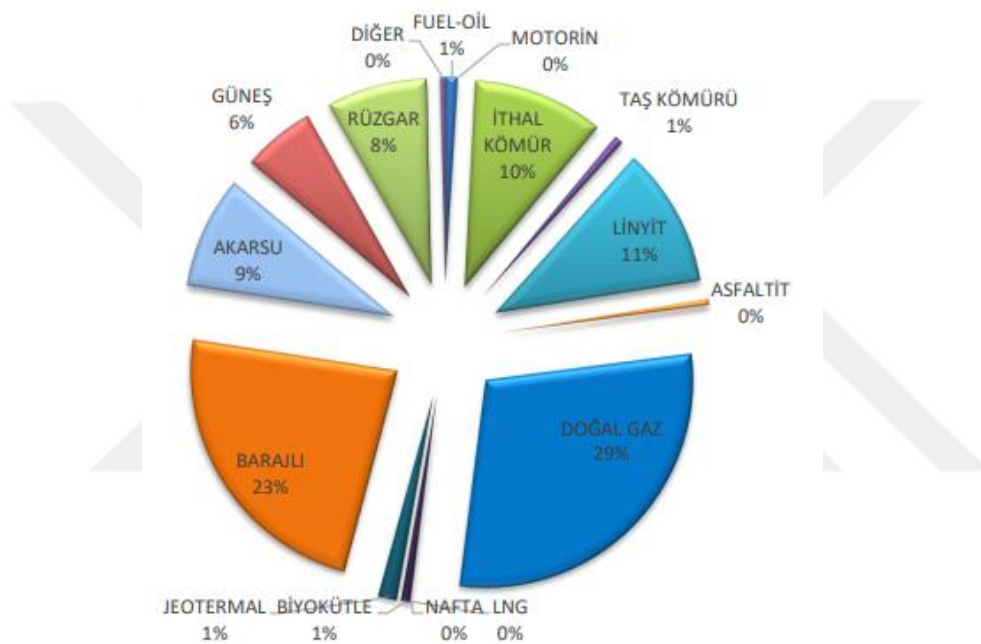
$$WF_{Mavi,Tüketim} = WF_{Mavi,Tüketim,1} + \dots + WF_{Mavi,Tüketim,n} \quad (3.7)$$

Bir diğer $WF_{Mavi,Dolaylı}$ kaynağı ise elektrik tüketimi kaynaklı mavi su ayak izidir. Hoekstra ve diğ. (2011) tarafından belirtildiği üzere enerji tüketimleri, enerji kaynağı yoğun su tüketimine sahip kaynaklar olan biyokütle veya hidroelektrik olmadığı takdirde hesaba katılmamaktadır. Mekonnen ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışma da bunu destekler sonuçlar vermiştir. Çalışmada 1 TJ enerji eşdeğeri (elektrik veya ısı) üretmek için enerji kaynaklarının WF_{Mavi} hesaplarını yapmış; hidroelektrik için işletme WF_{Mavi} değerini 15.100 m^3 olarak hesaplamıştır. Buna en yakın WF_{Mavi} nükleer santralde 610 m^3 'tür. Diğer kaynakların WF_{Mavi} 'leri ise sırasıyla kömür ve linyit için 440 m^3 , doğalgaz için 240 m^3 , güneş için 50 m^3 , rüzgâr için ise $0,2 \text{ m}^3$ olarak verilmiştir (Mekonnen ve diğ. 2015). Bu çalışmada hidroelektrik için verilen değer kWh değerine çevrildiğinde ($1GJ=277,7 \text{ kWh}$) 1 kWh elektrik üretimi için hidroelektrik kaynaklı WF_{Mavi} $0,05436 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Mekonnen ve Hoekstra (2011b) tarafından örnek hidroelektrik santral için yapılan çalışmada ise Karakaya barajının 1 GJ enerji üretimi için WF_{Mavi} 'sinin $21,8 \text{ m}^3$ olduğu ifade edilmiştir. Değer kWh'e çevrildiğinde WF_{Mavi} $0,07850 \text{ m}^3/\text{kWh}$ olarak belirlenmiş ve bir önceki çalışmadaki dünya ortalamalarıyla da tutarlı olduğu görülmüştür. Türkiye için hesaplanmış ve verilmiş bir değer olduğundan çalışmada bu değer kullanılacaktır.

Türkiye'deki enerji kaynaklarının su tüketimleri üzerine yapılmış bir diğer çalışmada ise biyokütle tesislerinin soğutma sistemlerinde 1 GWh ($1GWh=10^6 \text{ kWh}$) elektrik

üretimi için 889 m³ su tüketimi yapıldığı bilgisi verilmiştir (El-Khozondar ve Köksal, 2017).

Borçelik firmasının elektrik mühendisi ve sorumlusu B.Çınar (B.Çınar, kişisel görüşme, 17 Ocak 2019)'dan alınan bilgiye göre Türkiye'de elektrik şebekesi interconnect, yani tüm üreticilerin aynı şebekeye bağlandığı ve kullanılan kaynağın tam olarak belli olmadığı yapı bulunmaktadır. Bu sebeple AAT'nin kullandığı elektriğin kaynağının; Şekil 3.1'de verilen elektrik kaynaklarının oranlarıyla aynı olduğu kabul edilecektir.



Şekil 3.1: Kaynaklara göre kurulu güç dağılımı, Akgül (2018).

Türkiye'de hidroelektrik ve biyokütle kullanımında ortalama su tüketim değerleri sırayla 0,07850 m³/kwh ve 889×10⁻⁶ m³/kwh olarak verilmiştir. Bu bilgilere dayanarak denklem 3.8'de birim zamandaki elektrik tüketiminin WF_{Mavi} hesabı verilmiştir. Doğalgaz veya linyit gibi kaynakların ülke elektrik üretimindeki payı yüksek olsa da Hoekstra ve diğ. (2011) tarafından belirtildiği üzere WF_{Mavi} 'leri ihmal edilebilir değerler olduğundan hesaplamaya dahil edilmemiştir.

$$WF_{Mavi, Elektrik} = Tüketim_{Toplam} \times (0,32 \times k_{Hidro} + 0,01 \times k_{Biyo}) \quad (3.8)$$

$$= (0,32 \times 0,07850 + 0,01 \times 889 \times 10^{-6}) \quad (3.8a)$$

$$= Tüketim_{Toplam} \times 0,025129 \quad (3.8b)$$

Denklem 3.8’de $Tüketim_{Toplam}$ kWh cinsinden tesisin elektrik tüketimini, k_{Hidro} ve k_{Biyo} ise hidroelektrik ve biyokütle santrallerinin 1 kWh enerji üretirken ortaya çıkardığı WF_{Mavi} olarak verilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarla Şekil 3.1’deki yüzdelere değiştiği takdirde denklem 3.8’deki 0,32 (barajlı ve akarsulu hidroelektrik toplamı) ve 0,01 (biyokütle) değerleri yeni yüzdeliklere göre güncellenerek kullanılabilir. Bu hesaplamada biyokütlenin, hesabın sonuna etkisi gerek ayak izi gerek ülke enerji üretimi içindeki payı dolayısıyla çok düşük olduğundan ileride yapılacak çalışmalarda farklı bir WF değeri veya ülke içindeki toplam elektrik üretimine katılım payı olmazsa ihmal edilip elektrik üretimindeki ayak izine katkısı ihmal edilebilir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında $WF_{Mavi,Dolaylı}$ denklem 3.9’a göre hesaplanabilir ve denklem 3.4’teki $WF_{Mavi,Toplam}$ hesaplamasında kullanılabilir.

$$WF_{Mavi,Dolaylı} = WF_{Mavi,Tüketim} + WF_{Mavi,Elektrik} \quad (3.9)$$

3.1.3 Gri Su Ayak İzi Hesaplaması

Bir AAT’nin WF_{Gri} ’si hesaplanırken iki faktör dikkate alınmalıdır. AAT’leri ünitelerinde çeşitli girdiler kullanarak suyu arıtan tesislerdir. Bu girdilerin arkasında WF_{Mavi} ve bazılarında ise WF_{Gri} doğrudan veya dolaylı olarak bulunmaktadır. Bu AAT’lerinin birim atık suyu arıtmak için oluşturduğu WF miktarıdır. Buna ek olarak Bölüm 2’de aktarılan çalışmalarda belirtildiği gibi AAT’leri, yüksek WF_{Gri} ’ye sahip atık suları arıtmakta ve doğaya yüksek konsantrasyonlarla kirlilik desajını engellemektedir. Bu sebeple AAT’lerin süreçlerinin sonundaki WF_{Toplam} hesabına ek hesaplamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bölüm 3.1.3’te kavramların karışmaması için $WF_{Gri,Toplam}$ AAT’nin kirletici giderim verimliliğinin göstergesi; $WF_{Gri,Etki}$ ise yukarıda tanımlanan AAT’nin birim atık suyu arıtmak için oluşturduğu WF_{Gri} ’yi tanımlayan göstergesi olarak önerilmektedir. $WF_{Gri,Etki}$ hesabı Bölüm 3.1.2’de verilen denklem 3.6 ve 3.7’ye benzer şekilde hesaplanmaktadır.

$$WF_{Gri,Etki} = WF_{Gri,Etki,1} + \dots + WF_{Gri,Etki,n} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10’da AAT işletimi sırasında tüketilen kimyasalların ve bertaraf edilen çamurun arka planında bulunan WF_{Gri} ’leri hesaplanır; Denklem 3.11’de ise Bölüm

3.1.2’de açıklanan veri ulaşım güçlüğü sebebiyle bu çalışmada Mekonnen ve Hoekstra (2011a) tarafından verilen ortalama değerler kullanılarak girdi veya çıktıların WF_{Gri} ’lerine ulaşılacaktır.

$$WF_{Gri,Etki,1} = \frac{27.7}{1000} \left[\frac{m^3}{\$} \right] \times \frac{m_t [kütle/zaman] \times fiyat_{t,X}}{kur \left[\frac{para birim_X}{\$} \right]} \quad (3.11)$$

Gu ve diğ. (2016) ve Llanos ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda AAT’lerinin etkinlik ve verimliliklerinin WF_{Gri} hesabıyla ölçülebilmesi için iki farklı parametre geliştirilmiştir (ΔGWF ; $\Delta WF_{G,mef}$). Karışıklığı ortadan kaldırmak için bunlardan esinlenerek hazırlanan kavramlar Türkçeleştirilmiş ve Şekil 3.2’de görselleştirilerek sunulmuştur. $WF_{Gri,Toplam}$ (denklem 2.2’de WF_{Gri} olarak belirtilen parametre) herhangi bir proses sonucu deşarj sınırlarına göre oluşan toplam gri su ayak izidir. Bu proses ve deşarj arasında bir AAT varsa sonucunda AAT dolayısıyla giderilen bir gri su ayak izi ($WF_{Gri,Giderim}$) ve bakiye kalan bir gri su ayak izi ($WF_{Gri,Bakiye}$) oluşacaktır. Bu eşitlik denklem 3.12’de verilmiştir.

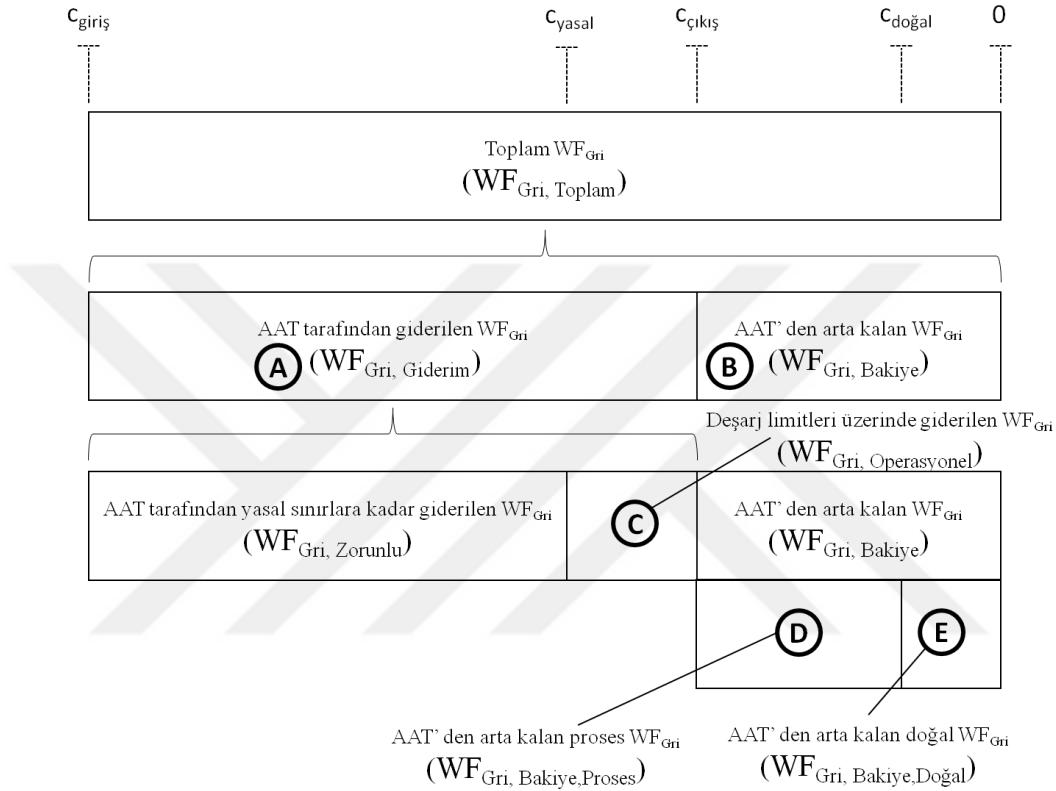
$$WF_{Gri,Toplam} = WF_{Gri,Giderim} + WF_{Gri,Bakiye} \quad (3.12)$$

Şekil 3.2’de verilen parametrelerin açıklamaları sırayla şunlardır: $c_{giriş}$: AAT’ye gelen ham atık su kirletici konsantrasyonu; c_{yasal} : kirletici için yasalarda belirlenmiş en yüksek konsantrasyonu (bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak endüstri için tanımlı kirletici deşarj limitleri alınmıştır); $c_{çıkış}$: AAT deşarj kirletici konsantrasyonu; $c_{doğal}$: AAT’nin deşarj ettiği alıcı ortamda doğal olarak var olan kirletici konsantrasyonu. Denklem 2.2, Şekil 3.2’de tanımlanan isimlere uyarlandığında denklem 3.13 ortaya çıkmaktadır. Burada L kirletici yükünü [kütle/zaman], Q atık su debisini [hacim/zaman], c ise kirletici konsantrasyonunu [kütle/hacim] tanımlamaktadır.

$$WF_{Gri} = \frac{L}{c_{yasal} - c_{doğal}} = \frac{Q \times c_{giriş}}{c_{yasal} - c_{doğal}} \quad (3.13)$$

$WF_{Gri,Toplam}$ hesabı denklem 3.14’te verilmiştir. $WF_{Gri,Toplam}$ göstergesi, atık suyun hiç arıtma olmaksızın deşarj edilmesi halinde yasal deşarj sınırına (c_{yasal}) seyretililebilmesi için gerekli tatlı su hacmini tanımlamaktadır.

Bu bölümde $Q \times c_{giriş}$ ifadesi ham su düzeltmesi yapılmış kirletici yükünün yani denklem 2.2’de tanımlanan $(Q \times c_{giriş} - Abstr \times c_{ham\ su})$ ifadesinin yerine kullanılacaktır. Abstr kullanılan ham su debisini, c_{hamsu} ise ham su içindeki kirletici konsantrasyonunu ifade etmektedir.



Şekil 3.2: WF_{Gri} tipleri

$$WF_{Gri,Toplam} = \frac{Q \times c_{giriş}}{c_{yasal} - c_{doğal}} \quad (3.14)$$

Llanos ve diğ. (2018) tarafından da belirtildiği gibi AAT’leri genelde emniyetli çalışabilmek için yasal sınırların altında kirletici deşarj konsantrasyonu veya kütleli debilerine sahiptir. Bu çalışmada bu tanım $WF_{Gri,Operasyonel}$ ’i tanımlamaktadır. Bu sebeple denklem 3.15’te AAT tarafından giderilen WF_{Gri} iki parçaya bölünmüştür.

$$WF_{Gri,Giderim} = WF_{Gri,Zorunlu} + WF_{Gri,Operasyonel} \quad (3.15)$$

Denklem 3.14’te belirtilen $WF_{Gri,Giderim}$ Şekil 3.2 A göstergesi denklem 3.16’da verilen formülle hesaplanabilir. Bu parametre AAT tarafından giderilen WF_{Gri} miktarıdır ve Gu ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı AAT’lerinin

verimlerinin ortak bir gösterge ile karşılaştırılabilmesi için ortaya atılmıştır ($c_{doğal}=0$ kabulüyle farklı bölgelerdeki AAT'leri kıyaslanabilir).

$$WF_{Gri,Giderim} = \frac{Q \times (c_{giriş} - c_{çıkış})}{c_{yasal} - c_{doğal}} \quad (3.16)$$

$WF_{Gri,Operasyonel}$ Şekil 3.2'deki **C** göstergesi ise Llanos ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada önerilmiştir. AAT'nin tam yasal sınırdan, yani $c_{çıkış}=c_{yasal}$ ile atık su deşarj ettiği düşünülerek bu parametre denklem 3.17'de verildiği gibi hesaplanabilir.

$$WF_{Gri,Operasyonel} = \frac{Q \times (c_{yasal} - c_{çıkış})}{c_{yasal} - c_{doğal}} \quad (3.17)$$

AAT tarafından zorunlu olarak $c_{çıkış}$ 'ın c_{yasal} 'a indirilmesi için bu tez çalışmasında $WF_{Gri,Zorunlu}$ göstergesi önerilmiştir. Denklem 3.16 ve 3.17 kullanılarak bu gösterge denklem 3.18 yardımıyla hesaplanabilir.

$$WF_{Gri,Zorunlu} = \frac{Q \times (c_{giriş} - c_{çıkış})}{c_{yasal} - c_{doğal}} - \frac{Q \times (c_{yasal} - c_{çıkış})}{c_{yasal} - c_{doğal}} \quad (3.18)$$

Denklem 3.18 sadeleştirildiği takdirde denklem 3.19 elde edilir.

$$WF_{Gri,Zorunlu} = Q \times \frac{c_{giriş} - c_{yasal}}{c_{yasal} - c_{doğal}} \quad (3.19)$$

AAT etki alanı dışında ise bakiye kalan kirlетici konsantrasyonu bulunmaktadır. Bu gösterge de iki kısımdan oluşmaktadır. $WF_{Gri,Bakiye,Doğal}$ Şekil 3.2 **E** göstergesi denklem 2.2'de Abstr olarak ifade edilen ham suyun içindeki kirlетici konsantrasyonu kaynaklı WF_{Gri} 'dir. $WF_{Gri,Bakiye,Proses}$ Şekil 3.2 **D** göstergesi ise AAT'nin deşarj kirlетici konsantrasyonunun $c_{doğal}$ sınırlar üzerindeki ayak izidir. Denklem 3.20, 3.21, 3.22'de bu ifadeler formül haline getirilmiştir.

$$WF_{Gri,Bakiye} = WF_{Gri,Bakiye,Proses} + WF_{Gri,Bakiye,Doğal} \quad (3.20)$$

Denklem 3.12, 3.14 ve 3.16 birleştirildiği takdirde denklem 3.21 elde edilir.

$$WF_{Gri,Bakiye} = \frac{Q \times c_{giriş}}{c_{yasal} - c_{doğal}} - \frac{Q \times (c_{giriş} - c_{çıkış})}{c_{yasal} - c_{doğal}} \quad (3.21)$$

Denklem 3.21 sadeleştirildiğinde denklem 3.22 elde edilir.

$$WF_{Gri,Bakiye} = \frac{Q \times c_{\text{çıkış}}}{c_{\text{yasal}} - c_{\text{doğal}}} \quad (3.22)$$

AAT'nin $c_{\text{çıkış}}$ değeri $c_{\text{doğal}}$ değeriyle aynı olması durumu (yani $c_{\text{çıkış}}=c_{\text{doğal}}$) denklem 3.23'te tanımlanmıştır.

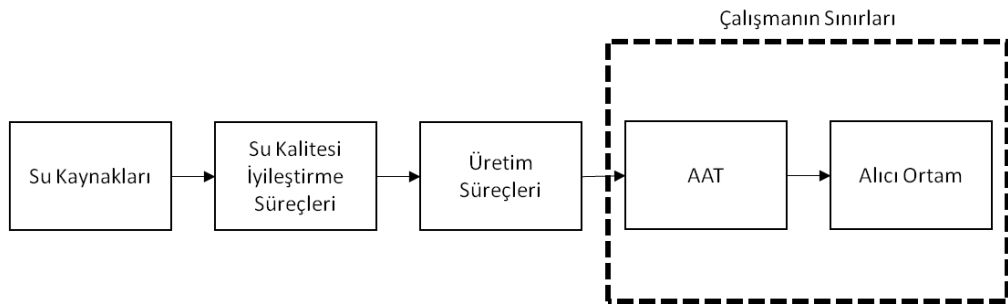
$$WF_{Gri,Bakiye,Doğal} = \frac{Q \times c_{\text{doğal}}}{c_{\text{yasal}} - c_{\text{doğal}}} \quad (3.23)$$

Denklem 3.21 ve 3.22 denklem 3.20'de birleştirildiği takdirde $WF_{Gri,Bakiye,Proses}$ göstergesi denklem 3.24'te elde edilir.

$$\begin{aligned} WF_{Gri,Bakiye,Proses} &= \frac{Q \times c_{\text{çıkış}}}{c_{\text{yasal}} - c_{\text{doğal}}} - \frac{Q \times c_{\text{doğal}}}{c_{\text{yasal}} - c_{\text{doğal}}} \\ &= \frac{Q \times (c_{\text{çıkış}} - c_{\text{doğal}})}{c_{\text{yasal}} - c_{\text{doğal}}} \end{aligned} \quad (3.24)$$

3.2 Su Ayak İzi Hesaplamalarında Kullanılan Veriler Ve Yapılan Kabuller

Çalışmada AAT'ye gelen atık suyun (bu çalışmada incelenen AAT girişinde bulunan yağ tutucu sonrası süreç kapsam içindedir) AAT çıkışı alıcı ortamlarla ilişkisi WF hesaplaması ile değerlendirilecektir. Çalışma sınırları Şekil 3.3'te verilmiştir.

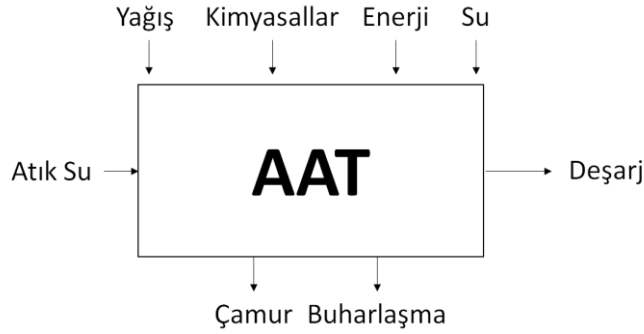


Şekil 3.3: Çalışmanın sınırları

Çalışmada öncelikle AAT kütle dengesi kurulacaktır. Kütle dengesi kapsamında değerlendirilecek girdi ve çıktılar Şekil 3.4'te sunulmuştur.

Şekil 3.4'te sunulan girdi ve çıktılar için veriler farklı kaynaklardan derlenmiştir. Gemlik istasyonu için aylık toplam yağış verileri [kg/m^2]; Bursa istasyonu için aylık

toplam açık yüzey buharlaşma verileri [mm] Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir.



Şekil 3.4: Çalışma kapsamında değerlendirilecek AAT girdi ve çıktıları.

Çalışma kapsamında Ham su (C_{hamsu}), AAT yağ tutucu sonrası giriş ($C_{\text{giriş}}$) ve çıkış atık su kirliliği konsantrasyonlarının ($C_{\text{çıkış}}$) tespit edilebilmesi için anlık numune alınmış ve birer ölçüm yaptırılmıştır. Çalışma kapsamına alınan, ölçümleri yapılan parametreler ve kullanılan analiz yöntemleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Kirliliği ölçümlemlerinde kullanılan yöntemler.

Parametre	Analiz Yöntemi
Toplam Azot(TN)	TS 6231 TS 7526 EN 26777 SM 4500 Norg B
Toplam Fosfor (TP)	TS 2789
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	TS 7889
Demir (Fe)	SM 311 B
Çinko (Zn)	SM 311 B

Çalışma kapsamına alınan parametrelerin mevzuatta belirlenen sınır değerlerine Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinden ulaşılmıştır (SKKY, 2004). Mevzuattan alınacak sınır değerler bu çalışmada C_{yasal} olarak tanımlanacak ve sektöre özgü sınır değerlerden en düşüğü dikkate alınacaktır. Tesis yetkililerinden temin edilen veriler ve verilerin toplanma sıklığı Çizelge 3.3’te sunulmuştur.

Çizelge 3.3: Tesisten alınan ve çalışmada kullanılan veriler.

Veri	Veri Sıklığı ve Tipi	Veri Temini Periyodu
AAT Elektrik Girdisi	Aylık, Toplam	2018 yılı
AAT Kimyasal Girdisi	Aylık Toplam	2018 yılı
AAT Çamur Çıktısı	Aylık Toplam	2018 yılı
Deşarj debisi ($Q_{\text{çıkış}}$)	Aylık Toplam	2018 yılı
AAT Su Tüketimi Girdisi	Aylık Toplam	2018 yılı
AAT Atık Su Girdisi	Aylık Toplam	2018 yılı
Kimyasal Girdilerin Maliyetleri	Tek seferlik	2018 yılı
AAT Çamur Çıktısı Maliyetleri	Tek seferlik	2018 yılı
AAT toplam alanı	Tek seferlik	-

Bu çalışmada AAT'nin geçmişe dönük gerçek verileri doğrudan tesisten sorumlu mühendislerden temin edilmiş ve çalışmada kullanılmıştır.

3.3 Su Ayak İzi Hesaplamasında Yapılan Kabuller

Bu çalışma kapsamında WF_{Toplam} hesabı için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak c_{yasal} değeri bir endüstriyel tesisin deşarjı için izin verilen en yüksek kirletici konsantrasyonu olarak kabul edilmiştir.
- Borçelik AAT çıkışı deşarj ettiği kanal Gemlik Körfezine döküldüğünden Toplam Azot, Toplam Fosfor ve KOİ için alıcı ortam Marmara Denizi olarak kabul edilmiştir.
- WF_{Mavi} ve $WF_{Yeşil}$ hesaplamaları için Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait tesise en yakın istasyonların ölçüm verileri alınmıştır. İstasyonlardan alınan verilerin AAT'nin koşullarını yansıttığı kabul edilmiştir.
- Alınan açık yüzey buharlaşma verilerinin içinde genelde Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarına ait veriler bulunmamaktadır. Her yıl için kalan 7-8 ayın verisinin tüm yılı yansıttığı kabul edilmiştir.
- Bu çalışmanın asıl amacı bir yöntem sunmak ve uygulama örneğini vermek olduğu için ölçüm yaptırılan kirletici konsantrasyonlarının 1 yıllık ortalama değer olduğu kabul edilmiştir.
- AAT'nin girişini temsilen alınan atık su numunesi yağ seperatör havuzu çıkışından alınmıştır. Bu numunenin AAT'nin tüm giriş atık su konsantrasyonu ile aynı olduğu kabul edilmiştir (Alkali atık sular için ayrıca numune alınmamıştır).
- WFN metodunda, WF_{Gri} ; alıcı ortamı, kirletici deşarjı sonrası doğal kalitesine döndürmek için gerekli tatlı su hacmi olarak tanımlanmıştır. Alıcı ortamın tuzlu su olarak seçilmesinin WF_{Gri} hesaplamasına etkisinin olmadığı kabul edilmiştir.

- AAT'den deşarj, çamur ve buharlaşma dışında su çıkışı olmadığı kabul edilmiştir.
- AAT çamur yönetiminde filtre preste çamurdan alınan su tekrar biyolojik arıtmaya verilmektedir. Filtre prese girmeden çamurun su oranı %70, presten çıktıktan sonra ise %50'dir. Çamur ile WF_{Mavi} hesabı yapılırken filtre pres sonrası kalan çamurun su içeriği hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu oran WF_{Mavi} 'ye dahil edildiği için çamurun maliyet ile WF hesaplamasında yalnızca WF_{Gri} 'si hesaplanmıştır.
- AAT'nin başında bulunan yağ tankına hiç su gitmediği ve yağın giriş atık su debisine etkisi olmadığı kabul edilmiştir.
- AAT'nin kendi tüketimindeki suyun tamamının proseste kullanıldığı kabul edilmiştir.
- Bölüm 2'de bir havzadan alınan suyun başka bir havzaya aktarılması halinde $c_{act}=0$ olarak kabul edilmesi gerektiği belirtildiğinden bu çalışmada da $c_{act}=0$ ($C_{ham\ su}$) olarak kabul edilmiş ve denklem 3.14 ve sonrasında $Q \times c_{giriş}$ ifadesi içindeki $Abstr \times c_{ham\ su}$ hesaplamalarda kullanılmamıştır.
- AAT'nin su kütle dengesi kurulduktan sonra çıkan fark kayıp kaçak olarak kabul edilip WF_{Mavi} hesabına eklenmiştir.
- Çalışmada suyun özgül ağırlığı 1.000 kg/m^3 olarak kabul edilmiştir.
- Elektrik tüketimi kaynaklı WF hesabında tesise gelen elektriğin Şekil 3.2'deki oranlarda homojen dağıldığı kabul edilmiştir.
- Barajlı ve akarsu hidroelektrik üretimlerinin aynı su ayak izine sahip olduğu kabul edilmiştir.
- WF_{Gri} hesaplamasında $Q_{giriş}=Q_{çıkış}$ kabul edilerek $Q_{giriş}$ değeri kullanılmıştır.

4. SONUÇLAR

Bölüm 4'ün ilk alt başlığında uygulamanın yapılacağı tesisin genel tanıtımı, ikinci alt başlıkta ise tesise ait AAT'ne dair genel bilgilendirme yapılacaktır. Üçüncü alt başlıkta ise Bölüm 3'te tanımlanan yöntem kullanılarak örnek tesisin AAT'sinin WF_{Toplam} 'ı hesaplanacaktır.

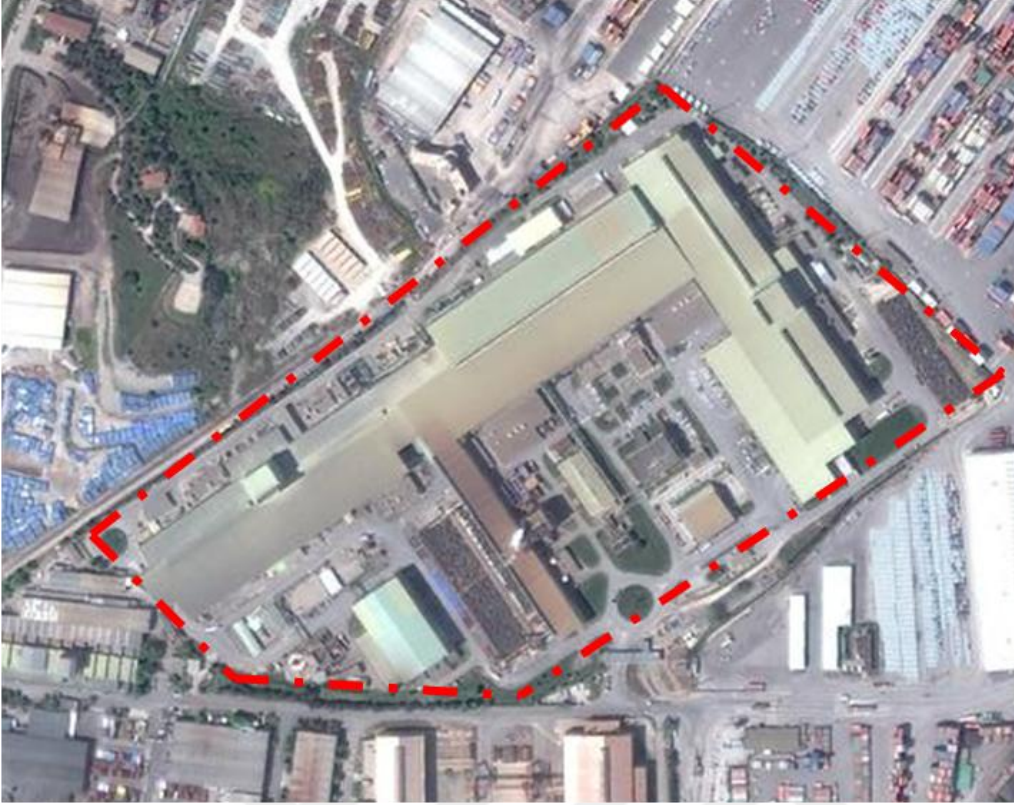
4.1 Çalışmanın Uygulandığı Tesis ve Proses Hakkında Genel Bilgiler

1990 yılında kurulan Borçelik, 1994 yılında Bursa'nın Gemlik ilçesi Gemsaz mevkiinde soğuk haddeleme prosesi ile üretime başlamış Türkiye'nin ilk özel yassı çelik üreticisidir (Url-1). Gemlik körfezine ait uydu fotoğrafına Şekil 4.1'de yer verilmiştir.



Şekil 4.1: Gemlik körfezinin uydu görüntüsü (Url-2).

Borçelik'te 2003 yılında sıcak daldırma galvaniz ünitesi devreye alınmış; 2008 yılından günümüze Borçelik üç soğuk haddeleme ve üç sıcak daldırma galvanizleme ile yıllık yaklaşık 1,5 milyon tonluk kapasiteyle üretime devam etmektedir (Url-1). Şekil 4.2'de Borçelik fabrikasının uydu görüntüsü verilmiştir.



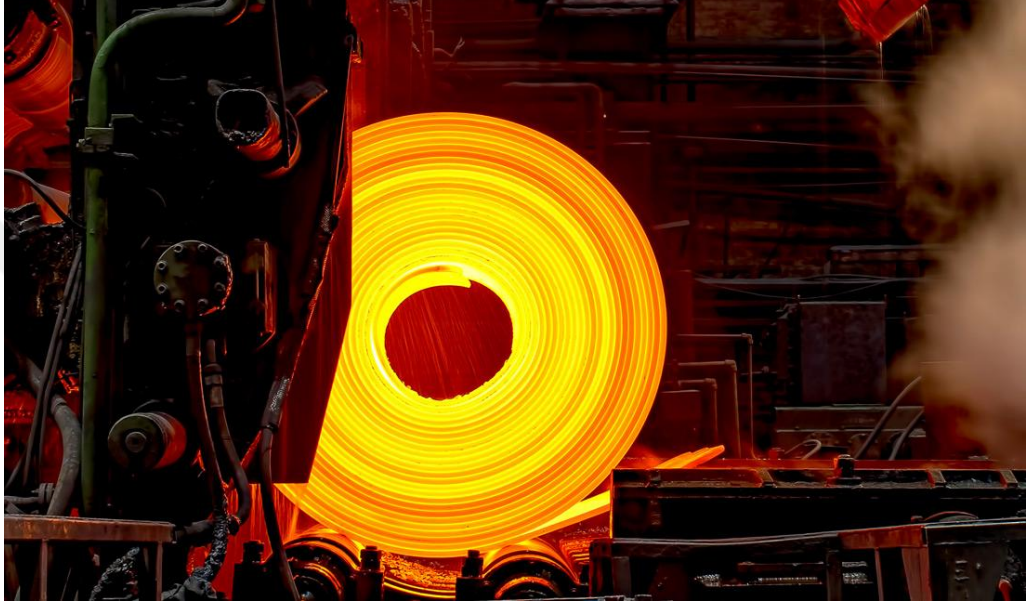
Şekil 4.2: Borçelik fabrikasının uydu fotoğrafı (Url-2).

Borçelik üretim süreci üretilen ürün tipine göre sınıflandırıldığında "Soğuk Haddeme" ve "Galvanizleme" olarak ikiye ayrılmaktadır. Soğuk Haddelenmiş veya Galvanizlenmiş yassı çelik üretimi için Borçelik'te aşağıdaki üretim hatları bulunmaktadır (Url-1).

- Asitleme (CPL: Continuous Pickling Line)
- Tersinir Soğuk Haddeme (RCM: Reversed Cold Milling)
- Sıcak Daldırma Galvanizleme (CGL: Continuous Galvanising Line)
- Elektrolitik Temizleme Hattı (ECL)
- Tavlama (BAF: Annealing Line)
- Temper Hadde (SPM: Skin Pass Mill)
- Doğrultma (TLL: Tension Leveler Line)
- Dilme (CSL: Coil Slitting Line)
- Yüzey İnceleme ve Dilme (CSIL: Coil Surface Inspection Line)

Soğuk haddeme sürecinin girdisi sıcak haddelenmiş bobin formunda çeliktir. Sıcak haddelenen bobin formundaki çelik üretim örneği Şekil 4.3'te sunulmuştur.

Campbell (2013)'a göre sıcak haddelemenin ardından soğuk haddelemenin yapılmasının sebebi sıcak haddeleme ile üretilebilenden daha ince bir kalınlık ve kesit alanı elde edilmesi ayrıca daha iyi bir yüzey kalitesine sahip olmasıdır. Soğuk haddeleme sonucunda ürün şekli değişmemekle birlikte kalınlık azalır ve malzeme sertleşir (Campbell, 2013). Girdinin kalitesi ve müşterinin talebine göre üretim planlama ekibi bobinin üretim sürecindeki rotasını (yukarıda listede verilen proses adımları) belirlemektedir.



Şekil 4.3: Sıcak haddelenme sürecinde bobin formundaki çelik (Url-3).

Tipik bir soğuk haddeleme sürecinde öncelikle sıcak haddeleme sırasında oluşan oksit tabakasının giderilmesi için 75-95°C aralığında sıcaklığa sahip asitleme (CPL) yapılmaktadır. Borçelik'te asit girdisi olarak HCl kullanılmaktadır. Asitleme sürecinde demineralize su, bobin asitlenirken çalkalama işleminde kullanılmakta, ardından bobin kurutularak yağlanmaktadır (EC, 2001a). Çalkalama işleminde kullanılan suyun iletkenliği artınca su AAT'ye yönlendirilmektedir (T.Göcen, kişisel görüşme, 5 Şubat 2019). Birçok modern asitleme hattı asit yenileme tesisiyle birlikte kullanılmaktadır. Bu tesislerde CPL hatlarında kullanılan asit rejenere edilmekte ve tekrar kullanılmaktadır. Bu tesislerin üretilen 1 ton ürün başına yaklaşık 0.007-0.025 m³ atık su çıktısı bulunmaktadır (EC, 2001a).

Asitlemenin ardından bobin tersinir soğuk hadde sürecinden (RCM) geçmektedir. Tersinir haddelemede bobin formundaki çelik levhalar merdaneler arasından sürekli olarak geçirilmektedir (EC, 2001a). Düşük karbonlu çelik için tersinir soğuk haddeleme yapılırken yağlama, levha ve merdanelerin soğutulması ve demir

parçacıklarının giderilmesi için su-yağ emülsiyonu (Borçelik'te %4 yağ %96 su oranıyla) kullanılmaktadır (S.İlker, kişisel görüşme, 11 Mart 2019). Bu sürecin sonucunda kirlenen emülsiyon AAT'ye gönderilmektedir (T.Göcen, kişisel görüşme, 5 Şubat 2019). Soğuk tersinir haddeleme sürecinde, bobin formundaki çelik levha boylamasına deforme edilmekte ve malzemenin uygun bir şekillendirme işlemine yol açmaktadır. Tersinir haddeleme süreci için BREF dokümanında 1,002 ton girdi için 0,06-0,07 m³ atık su ve 1,9-2,0 kg çamur keki oluşacağı tanımlanmıştır (EC, 2001a).

Haddeleme ve tavlama süreçleri arasında elektrolitik temizleme prosesi (ECL) bulunmaktadır. Yağ kalıntılarından arındırılmış, temiz bir sac yüzeyi elde edebilmek için levha elektrolitik bir sıvıyla asitleme prosesine benzer şekilde temizlenmektedir. Proseste asitlemeden farklı olarak alkali bir çözelti kullanılmaktadır (EC, 2001a). Borçelik'te soda esaslı alkali çözelti kullanılmaktadır, CPL sürecinde olduğu gibi çözeltinin iletkenlik değeri yükselince atık olarak AAT'ye gönderilmektedir (T.Göcen, kişisel görüşme, 5 Şubat 2019).

Yüzeyi temizlenen bobine, soğuk haddeleme sürecinde kaybedilen çelik levha sünekliğinin yeniden kazandırılması için tavlama (BAF) uygulanmaktadır. Bobinler çan tipi fırın kaidesinde üst üste istiflenir ve fırın bu istifin üzerine geçirilir. Fırın içindeki sirkülasyon fanları ısıyı fırına eşit dağıtmakla görevlidir. Borçelik'te de fırın içi atmosfer HNX gazından oluşmaktadır ve tavlama sıcaklığı olan yaklaşık 700°C civarında soğuk haddelenmiş çelik tekrar kristalleşmektedir. Şekil 4.4'te Borçelik'te de kullanılan çan tipi fırın örneği verilmiştir. ECL ve BAF süreçleri için BREF dokümanında atık su çıktısı tanımlanmamıştır (EC, 2001a).

Tavlanan malzemenin mekanik özelliklerinin homojen hale getirilmesi ve yüzey düzgünlüğünün sağlanması, sac yüzeyine belli bir pürüzlülük verilmesi için tavlama sürecinin ardından temper haddeleme (SPM) yapılmaktadır. RCM sürecine benzer SPM sürecinde de yağ ve su emülsiyonu kullanılmaktadır. BREF dokümanında SPM hattına giren 1,03-1,08 ton çelik için 0,002-0,04 m³ atık su çıktısı tanımlanmıştır (EC, 2001a).

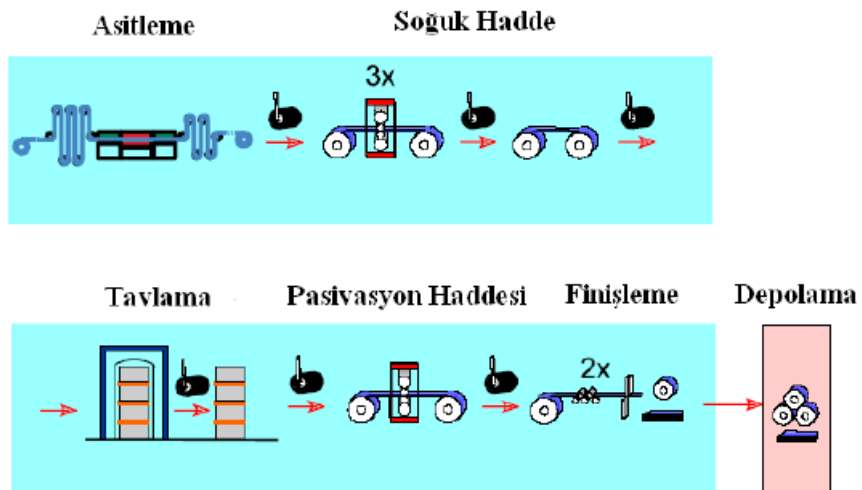
Soğuk haddelenmiş çelik üretim sürecinde son olarak muayene ve bitirme hatlarında (TLL, CSL, CSIL) son kullanıcı için gerekli boyutlandırma, yüzey kontrol ve paketleme yapılarak nihai ürün stoklanmaktadır. Muayene ve bitirme hatları için BREF dokümanında atık su bir çıktı olarak tanımlanmamıştır (EC, 2001a).

Tipik bir soğuk tersinir haddeleme sürecinin baştan sona akış diyagramı Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4: Çan tipi tavlama fırın örneği (Url-4).

Şekil 4.6'da ise Soğuk Haddeleme süreci için oluşturulmuş kütle dengesi görülmektedir. Şekil 4.6'ya göre 1 ton soğuk haddelenmiş ürün için Şekil 4.5 içinde tanımlanan sürecin tamamında $0.036-0.174 \text{ m}^3$ endüstriyel ve demineralize su; $7.5-36.2 \text{ m}^3$ soğutma suyu tüketilmektedir. Buna karşılık $0.8-15.3 \text{ m}^3$ atık su oluşmaktadır. Ayrıca AAT'ye gitmesi muhtemel $5000-13200 \text{ kg}$ emülsiyonun da 1 ton soğuk haddelenmiş ürün için çıkacağı belirtilmiştir (TÜBİTAK, 2016).



Şekil 4.5: Tipik bir tersinir haddeleme tesisinin akış diyagramı (EC, 2001b).

Çizelge 4.1’de tüm tersinir haddeleme süreci için atık su miktar ve karakterizasyonu verilmiştir.

Çizelge 4.1: Soğuk haddeleme süreci atık su çıktıları, EC (2001a)’dan uyarlanmıştır.

Parametre	Değer-Birim
Atık su deşarjı	0-6 m ³ /ton
AKM	0-2210 mg/L
	0-160 g/ton
KOİ	15-100 mg/L
	10-80 g/ton

Çizelge 4.2’de ise tersinir haddeleme sürecinin sonundaki bir AAT’nin çıktıları hakkında yapılan çalışmanın çıktılarına yer verilmiştir.

Çizelge 4.2: Soğuk haddeleme sürecine ait AAT’nin atık su çıktıları, EC (2001a)’dan uyarlanmıştır.

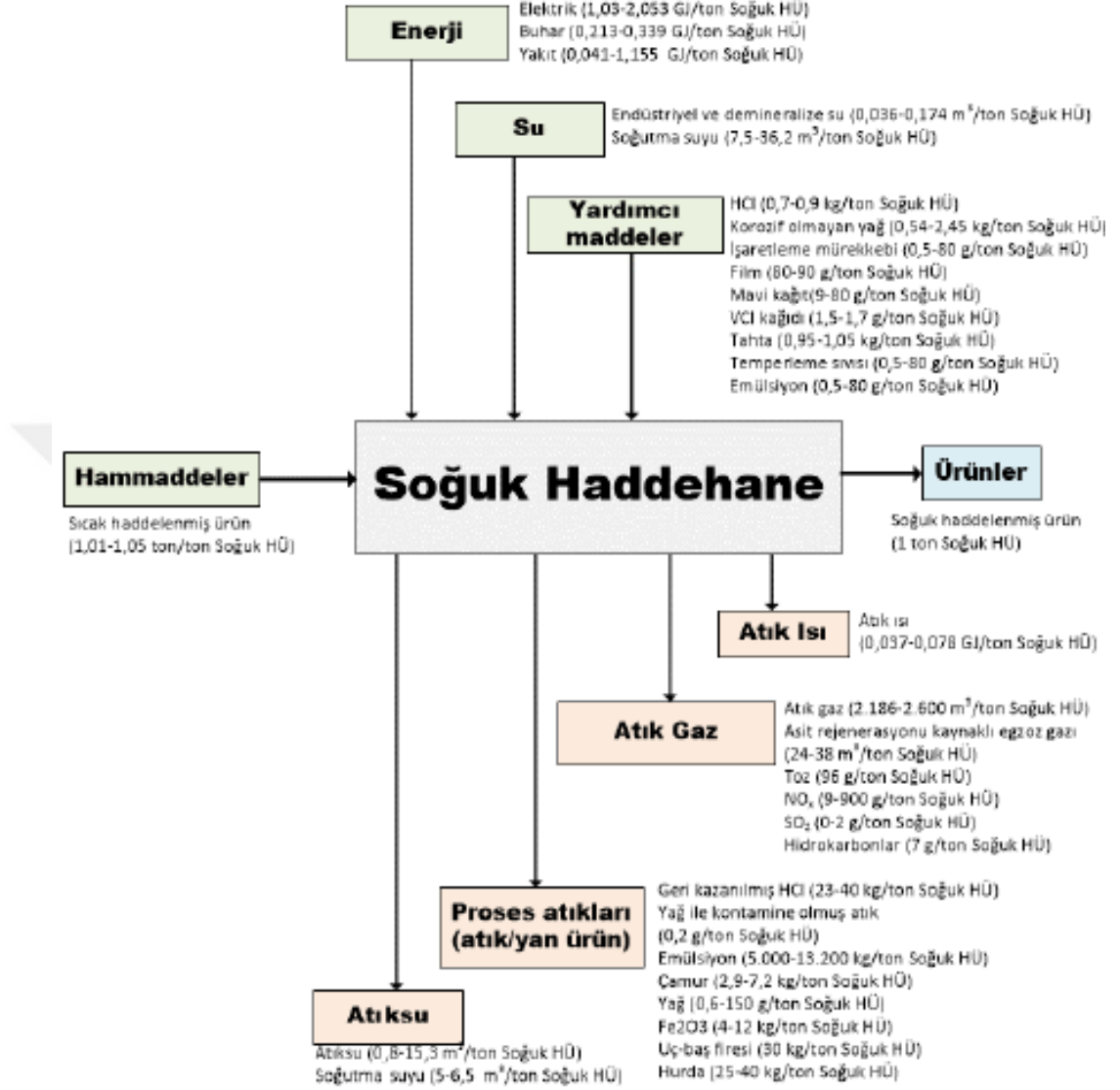
Parametre	Değer-Birim
AKM	<20 mg/L
Yağ	<5 mg/L
Fe	<10 mg/L
Ni	<0,2 mg/L
Zn	<2 mg/L

Borçelik’teki ürüne göre sınıflandırılan üretim süreçlerinden bir diğeri ise Sıcak Daldırmalı Galvaniz kaplama sürecidir. Sıcak daldırmalı kaplama sürecinde çelik eritilmiş metalin içinden sürekli olarak geçirilmektedir. Süreç içinde alaşımlama reaksiyonu başlamakta ve kaplama metalini ile kaplanan çelik arasında iyi bir bağ oluşmaktadır. Sıcak daldırma kaplamada ergime sıcaklığı düşük alüminyum, kalay veya çinko kullanılmaktadır. Kaplama malzemesi çeliği paslanma ve korozyona karşı koruyan çinko olursa sürece Galvanizleme adı verilir (EC, 2001b).

Sıcak daldırma ile çinko kaplama sürecinde (CGL) öncelikle sac yüzeyi kimyasal ve termal yöntemlerle temizlenir ardından saca ısıtma işlemi uygulanır, sac erimiş çinko potasına daldırılır ve sonlandırma yapılır. Genellikle sıcak daldırma galvanizleme sürecinin girdisi olarak soğuk haddelenmiş sac kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu kısımda asitleme hakkında aynı bilgi tekrar verilmeyecektir (EC, 2001b).

Sac yüzeyinin çinko ile tamamen kaplanabilmesi için kaplama öncesi yüzey temizliğinin yapılması, yüzeyin yağ, gaz, demir tozlarından arındırılması açısından önemlidir. Temizleme işleminde genellikle alkali çözelti içeriğine sahip sulu

sistemler kullanılmaktadır (EC, 2001b). Buradan çıkan atık sular AAT'ye gönderilmektedir.



Şekil 4.6: Soğuk haddeleme süreci kütle dengesi (TÜBİTAK, 2016).

Sac yüzeyinin yapışkan özelliğinin artırılması, ihtiyaç duyulan mekanik özelliklerin sağlanabilmesi ve pota öncesi sacın istenilen sıcaklığa ulaşabilmesi için kontrollü bir atmosfere sahip bir fırından sac geçirilmektedir. Bu fırın tiplerinden Doğrudan Alev Fırını kullanılması halinde sac yüzeyindeki yağ için çinko potaları öncesi giderme işlemi gerekmemektedir (EC, 2001b).

Sürecin ana bileşeni ise galvanizleme banyosudur. Bu banyolar genelde seramikten yapılmıştır ve içinde erimiş halde çinko bulunmaktadır. 1 ton sac başına yaklaşık 25-58 kg çinko girdisi galvanizleme banyolarında tüketilmektedir. Sac bu banyoların

içinden geçerken yüzeyi çinko ile kaplanmaktadır (EC, 2001b). Şekil 4.7’de potada çinko kaplama sürecine ait örnek verilmiştir.



Şekil 4.7: Çinko kaplama örneği (Url-5).

Potada kaplanan saca, müşterinin talebine ve sacın özelliklerine göre, yüzey hasar ve çatlamasının önüne geçmek için bitirme işlemi (yağlama, pasifleştirme, fosfatlama vb.) yapılır ve soğuk haddeleme sürecinde olduğu gibi paketlenir ve sevk edilmek üzere stok sahalarında depolanır (EC, 2001b). Bitirme işlemlerinde yüzey temizleme yapılıyorsa sonucunda atık su oluşması muhtemeldir. Bitirme işlemlerinin AAT’ye gönderdiği atık su karakterizasyonu Çizelge 4.3’te sunulmuştur.

Çizelge 4.3: Galvanizleme işleminde yüzey temizleme işleminin atık su karakterizasyonu, EC (2001a)’dan uyarlanmıştır.

Parametre	Değer-Birim
AKM	30 mg/L
KOİ	60 mg/L
Hidrokarbon	8 mg/L
Toplam Çinko	1 mg/L

Galvanizleme hatlarında su; tamamlama, durulama ve hafif haddelemede kullanılmaktadır. Çizelge 4.4’te galvanizleme işlemi için öngörülen su girdileri verilmiştir.

Çizelge 4.4: Galvanizleme işleminde su tüketimi, EC (2001a)'dan uyarlanmıştır.

Parametre	Değer-Birim
Giriş Bölümü	8-10 m ³ /saat
Kaplama Bölümü	0.5-10.5 m ³ /saat
Çıkış Bölümü	0.5-6 m ³ /saat
Toplam	0.167-0.4 m ³ /ton ürün

Bu girdilere karşılık galvanizleme sürecinde oluşan atık su miktarı ve karakterizasyonu ise Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5: Galvanizleme sürecine ait atık su ve çamur çıktıları, EC (2001a)'dan uyarlanmıştır.

Parametre	Değer-Birim
Atık su deşarjı	0,002-5 m ³ /ton ürün
AKM	0,04-11 g/ ton ürün 0,2-25 mg/L
KOİ	5-150 g/ ton ürün 23-750 mg/L
Atık su arıtma çamuru	0,1-1,5 kg/ ton ürün

Bir kaplama sürecinin (kısmen çinko esaslı) AAT sonrası deşarj atık su miktarı ve karakterizasyonuna ait derlenen raporun çıktıları da Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.6: Bir kaplama sürecine ait AAT sonrası atık su ve çamur çıktıları, EC (2001a)'dan uyarlanmıştır.

Parametre	Spesifik emisyon (t: ton ürün)	Konsantrasyon
Atık su deşarjı	0,43 m ³ /t	-
Kuru bazlı su arıtma çamuru	0,1-1,5 kg/t	-
Kimyasal arıtma çamuru	0,12 kg/t	-
AKM	0,04-2,91g/t	0,2-25 mg/L
Demir	0,09-0,54 g/t	0,01-6 mg/L
Nikel	0,004-0,4 g/t	0,02 mg/L
Çinko	0,005-0,5 g/t	0,02-1,23 mg/L
Kurşun	0,0084 g/t	0,03 mg/L
Krom	-	<0,01-0,43 mg/L
Krom (6+)	-	0-0,02 mg/L
KOİ	5-150 g/t	23-750 mg/L
TOK	0,19-8,5 g/t	-
Hidrokarbonlar	0,074 g/t	0,28-5 mg/L
Yağ	0,0073-2,7	-
Fosfor	0,0008-0,07	0,08-10 mg/L

Bu kısma kadar örnek uygulamanın yapılacağı tesis hakkında genel bilgilendirme ağırlıklı olarak EC (2001a) kaynağından yapılmıştır. Özetle tersinir soğuk haddeleme

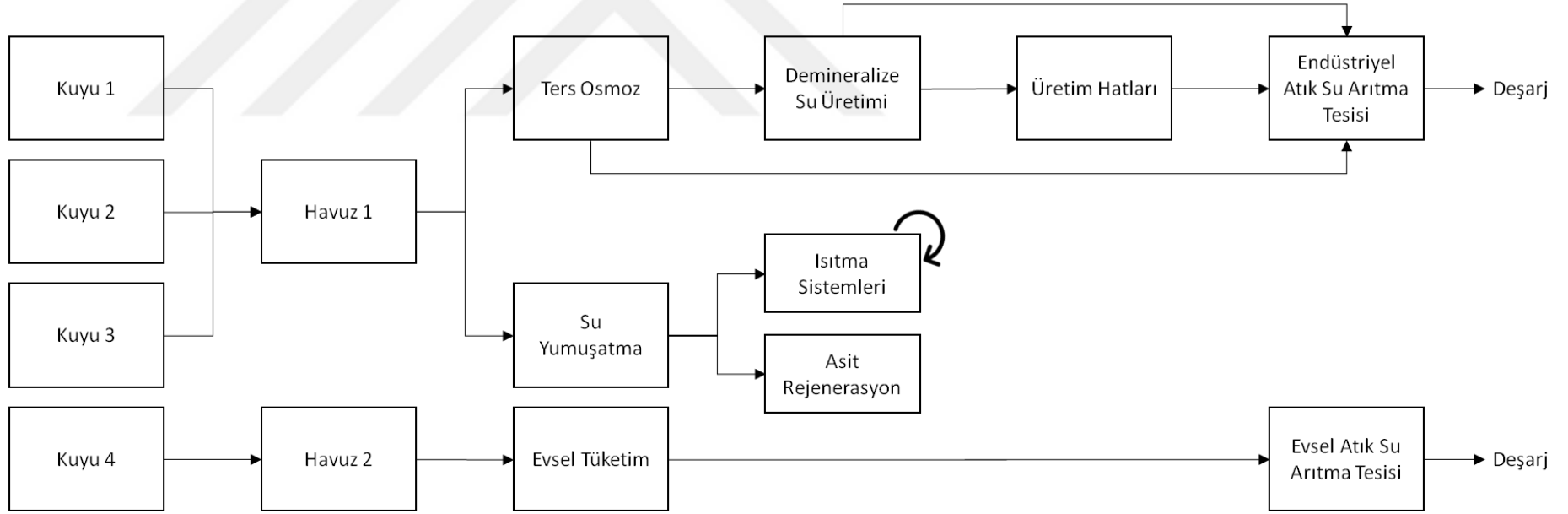
ve sıcak daldırma galvanizleme süreçlerinde bir su tüketimi vardır ve bu belli aralıklarda kirletici konsantrasyona sahiptir. WF_{Toplam} hesabının yapılabilmesi için tesisin su akışı hakkında bir akışa ihtiyaç bulunmaktadır. Su kullanım kaynaklarından deşarjına kadar T.Göcen (T.Göcen, kişisel görüşme, 5 Şubat 2019) tarafından verilen bilgiler derlenerek oluşturulan akış şeması Şekil 4.8’de sunulmuştur.

Borçelik tükettiği suyu 4 farklı lisanslı su kuyusundan temin etmektedir. Kuyu 1 ve Kuyu 2 Engürücük köyü, Kuyu 3 Borusan Lojistik Kuyu 4 ise fabrika sahasında bulunmaktadır. İlk üç kuyudan tatlı su elde edilmekte ve Havuz 1’de bu kaynaklar birleştirilmektedir. Havuz 1’de toplanan su üretim hatlarında kullanılmak üzere su hazırlama tesislerine gönderilmektedir. Üretim hatlarında kullanılacak su öncelikle ters ozmos ardından demineralize su tesislerine gönderilmekte hatlarda kullanıldıktan sonra bu çalışmanın yapılacağı AAT’ye iletilmektedir. Ters ozmos ve demineralize su tesislerinden de AAT’ye atık su pompalanmaktadır. Havuz 1’den ayrıca su yumuşatma tesisine de su gönderilmekte bu su ısıtma sistemleri ve asit rejenerasyon süreçlerinde kapalı çevrim içinde tüketilmektedir.

Kuyu 4 ise Kuyu 1-2-3’e kıyasla kısmen tuzlu bir içeriğe sahiptir ve evsel tüketim amacıyla hazırlanarak tüketilmekte daha sonra bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılan evsel AAT’ye pompalanmaktadır. Çalışmada girdi olarak kullanılan su analizi Havuz 1 çıkışından alınmıştır.

4.2 Atık Su Arıtma Tesisi Hakkında Genel Bilgiler

Borçelik’te fiziksel, kimyasal ve biyolojik ünitelere sahip yalnızca endüstriyel atık su arıtımı için tasarlanmış $20 \text{ m}^3/\text{saat}$ kapasiteli AAT bulunmaktadır. AAT akım şeması Şekil 4.9’da sunulmuştur. AAT kendi içinde 2 temel sürece ayrılmıştır. Yüksek yağlı atık sular RCM ve SPM tesislerinden gelen atık suyu, alkali atık sular ise CGL, ECL ve Taşlama tesislerinden gelen atık suları tanımlamaktadır. Atık su arıtma tesisine gelen atık suyun yıllık toplam değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.8: Borçelik tüketimi akış şeması.

Çizelge 4.7: Üretim hatlarının yıllık toplam atık su çıktıları.

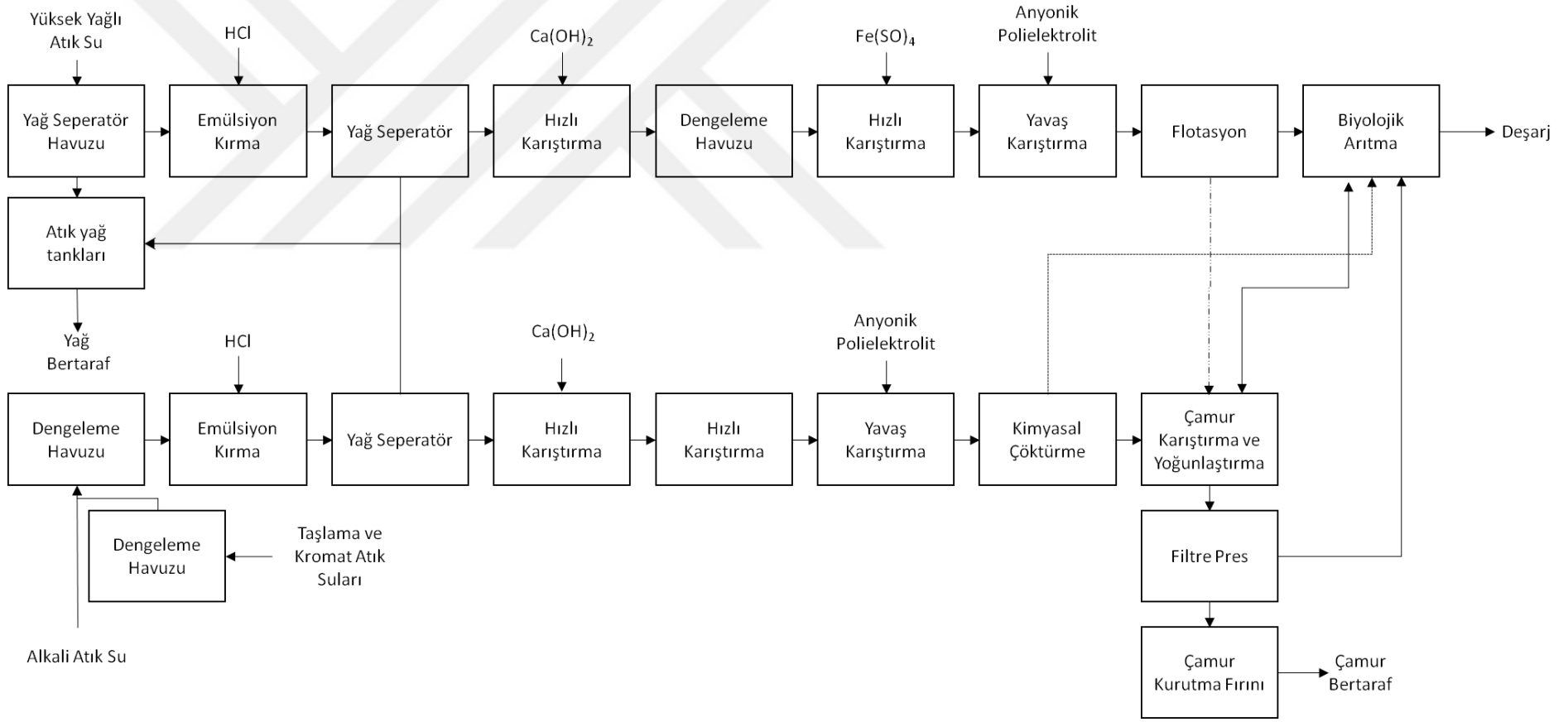
Parametre	Hacim (m ³)
RCM	36.854
SPM	577
Toplam Yağlı	37.431
CGL	34.722
ECL	30.135
Taşılama+Diğer	15.234
Toplam Alkali	80.091
Genel Toplam	117.522

Çizelge 4.7'ye göre AAT'ne gelen atık suyun %32'si yağlı, %68'i ise alkali olarak tabir edilen atık sular kapsamındadır. Alkali atık suyun debisinin dengelenebilmesi için alkali adlı süreçte 2 adet dengeleme havuzu bulunmaktadır. Üretim kapasitesi olarak bölümün başında verilen 1,5 milyon ton değeriyle Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.5'te verilen en yüksek değerlerin (sırayla 6 ve 5 m³/ton.ürün) aritmetik ortalaması olarak 5,5 m³/ton.ürün değeri çarpıldığında AAT'ne gelen atık su miktarı 0-8,25 milyon m³/yıl aralığında olmalıdır. Çizelge 4.7'de toplam AAT'ne gelen atık su miktarı 117 bin ton seviyesinde hesaplanmıştır. AAT'ne gelen yıllık atık su miktarı EC (2001a)'da tanımlanan sınırlar içindedir.

AAT'nin arıtma süreci kabaca dört bölümden oluşmaktadır. Bunlar fiziksel arıtma, kimyasal arıtma, biyolojik arıtma ve çamur yönetimi süreçleridir. Fiziksel arıtma kısmında yağ tutucular bulunmaktadır.

Arıtma sürecinin başında 2 tipteki atık su tipi için de atık suya öncelikle HCl (hidroklorik asit) ilavesi yapılarak emülsiyonun ayrıştırılması sağlanmakta ardından yine yüksek yağlı atık su arıtma sürecinin başında olduğu gibi yağ tutucular ile yağ ayrılarak atık yağ tanklarına gönderilmektedir.

Yağın atık sudan ayrıştırılmasının ardından kimyasal arıtım fazı başlamaktadır. Bu klasik arıtma sistemlerinde olduğu gibi pH ayarlanarak hızlı karıştırma, yavaş karıştırma ve çöktürmeden oluşan kimyasal çöktürme prosesidir. Proseste kireç, demir sülfat ve anyonik polielektrolit kullanılmaktadır. Çizelge 4.8'de tesiste kullanılan kimyasalların yıllık tüketimleri verilmiştir.



Şekil 4.9: Borçelik AAT'nin akım şeması.

Çizelge 4.8: AAT'nin yıllık kimyasal tüketimi.

Kimyasal	Tüketim (kg)
HCl	305700
Ca(OH) ₂	143600
Anyonik Polielektrolit	540
Fe(SO) ₄	5920

Kimyasal prosesin ardından biyolojik çöktürme süreciyle arıtma tamamlanmakta ve su deşarj edilmektedir. Kimyasal ve biyolojik çöktürmeden gelen çamurlara susuzlaştırma yapılmakta (filtre pres ve termal kurutma) ardından çamur bertaraf edilmektedir. Çalışmanın yapılacağı AAT'ye ait diğer veriler ise Çizelge 4.9'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9: İncelenen AAT'nin yıllık girdi ve çıktıları.

Girdi/Çıktı	Değer-birim
Deşarj edilen su hacmi	115927 m ³
Elektrik tüketimi	283432 kWh
Susuzlaştırılmış arıtma çamuru	269420 kg
AAT'de kullanılan temiz su	8794 m ³

4.3 Hesaplamalar ve Sonuçları

Bu kısımda Bölüm 3'te verilen yöntem kullanılarak yine aynı bölümde yapılan kabuller ışığında su ayak izi hesaplamaları sunulmuştur.

4.3.1 Arıtma Tesisinin Yeşil Su Ayak İzi

WF_{Yeşil} hesaplamasında yalnızca AAT yüzeyine düşen yağış verileri kullanılacaktır. Bölgeye en yakın meteoroloji istasyonundan toplam yağış verileri Çizelge A.1'de verilmiştir. Verilerin tamamının aritmetik ortalaması 50,8 mm (kg/m²) çıkmaktadır. Bu yıllık 609,6 kg/m² toplam yağış değerine denk gelmektedir. AAT'nin alanı 520 m² olarak tesis yetkililerinden alınmıştır.

Denklem 3.3'te bu veriler yerlerine konulur ve denklem 4.1 elde edilir. (Suyun özgül ağırlığı 1,000 kg/m³ olarak kabul edilmiştir).

$$WF_{Yeşil,Yağış} = 609.6 \frac{kg}{m^2 \cdot yıl} \times 520 m^2 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg} \cong 317 \frac{m^3}{yıl} \quad (4.1)$$

Denklem 3.2'ye denklem 4.1'de elde edilen sonuç konulduğunda denklem 4.2'de $WF_{Yeşil,Toplam}$ sonucuna erişilir.

$$WF_{Yeşil,Toplam} = WF_{Yeşil,Yağış} = 317 \frac{m^3}{yıl} \quad (4.2)$$

4.3.2 Arıtma Tesisinin Mavi Su Ayak İzi

AAT için WF_{Mavi} hesabı yapılmadan öncelikle su girdi ve çıktıları için kütle dengesi kurulmalıdır. Kütle dengesinin kurulabilmesi için iki hesaplama yapılmalıdır. Bunlardan ilki yıllık toplam AAT yüzeyinden buharlaşan suyun bulunmasıdır. Çizelge A.2'de bölgeye en yakın meteoroloji istasyonundan alınan toplam açık yüzey buharlaşma değerleri verilmiştir. Verilerin tamamının aritmetik ortalaması 121 mm (kg/m^2) çıkmaktadır. Verilerin çoğu yılın 8 ayı için verildiğinde olduğundan bu değer 8 ile çarpımı olan 968 mm/yıl ($kg/m^2.yıl$) bir yıllık toplam açık yüzey buharlaşmasını verecektir. Denklem 4.3'ün sonucu AAT'den bir yılda buharlaşan su miktarıdır.

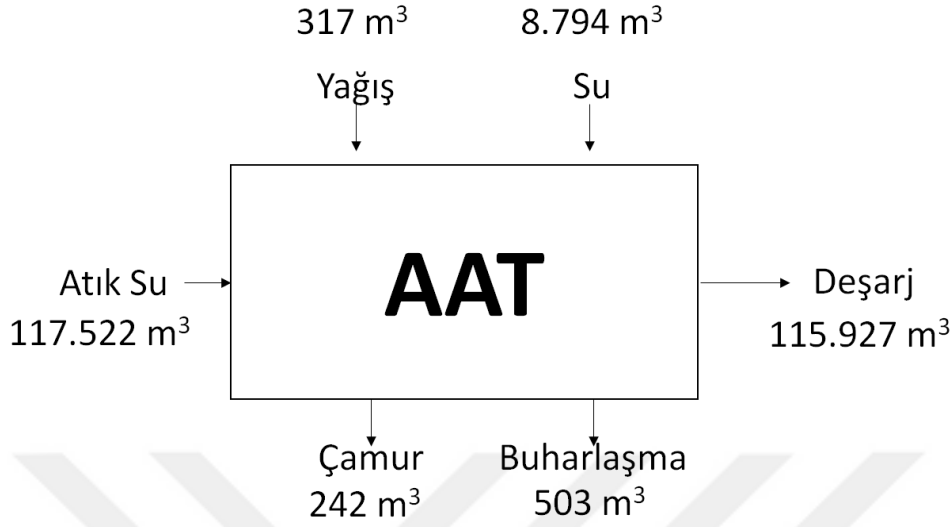
$$E_{Toplam,Dönem} = 968 \frac{kg}{m^2.yıl} \times 520 m^2 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg} \cong 503 \frac{m^3}{yıl} \quad (4.3)$$

Bir diğer hesaplama da biyolojik ve kimyasal çöktürmelerden çekilen çamurun AAT'ye geri döndürülmeyen kısmının bulunmasıdır. Filtre prese giren çamurun %70, pres çıkışı %50, sevk edilenin ise %10 su oranının olduğu bilgisi tesis yetkililerinden alınmıştır. Tesisten yılda 269420 kg %10 su içeriğine sahip arıtma çamuru olduğu Çizelge 4.9'dan görülmektedir. Katı madde (KM) oranından hesaplama yapılarak filtre presin ardından çamurun içinde sistemden uzaklaştırılan su miktarı bulunabilir.

$$\text{Çamurun KM miktarı} = 269420 \frac{kg}{yıl} \times \%90 = 242478 \frac{kg}{yıl} \quad (4.4)$$

Çamur %50 su içerdiği takdirde (filtre presten çıkış) denklem 4.4'te bulunan değerle aynı miktar su çamurla birlikte kurutmaya giderek AAT sisteminden uzaklaşmaktadır. Suyun özgül ağırlığı $1.000 kg/m^3$ olarak kabul edilirse çamurla sistemden uzaklaştırılan su $\sim 242 m^3/yıl$ olarak bulunacaktır. Çalışmanın yapıldığı

AAT'nin kütle dengesi daha önce verilen bilgiler kullanılarak Şekil 4.10'da sunulmuştur.



Şekil 4.10: AAT yıllık su girdi ve çıktıları.

Denklem 4.4 ve 4.5'te AAT girdi ve çıktılar arasındaki fark incelenecektir. Eğer çıktı miktarı girdiden az ise çıkan değer WF_{Mavi} hesabına kayıp/kaçak olarak dahil edilecektir.

$$AAT \text{ Girdileri: } 117.522 + 317 + 8.794 = 126.633 \frac{m^3}{yıl} \quad (4.4)$$

$$AAT \text{ Çıktıları: } 115.927 + 503 + 242 = 116.672 \frac{m^3}{yıl} \quad (4.5)$$

$$AAT \text{ Girdi} - AAT \text{ Çıktıları: } 126.633 - 116.672 = 9.961 \frac{m^3}{yıl} \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'da elde edilen 9.961 m^3 kayıp/kaçak değerinin içinden tesis girişinde ayrılan 362 m^3 atık yağ, arıtma çamuru içinde sevk edilen 242 ton katı madde ve yine tesis girişinden doğrudan sevk edilen 577 ton yağlı çamur çıkarılmalıdır. Toplamları 1.181 m^3 yapan üçü 9.961 m^3 'ten çıkartıldığında 8.780 m^3 kayıp/kaçak değeri elde edilir. Bu değer, normalde kütle dengesi içinde görmeyi beklediğimiz ancak tanımlanamayan sebepler sonucu hesaplamara dahil olmayan doğrudan su tüketimi olarak değerlendirilebilir. Elde edilen tüm bu sonuçlar ve daha önce verilen veriler denklem 3.5'te yerlerine konulursa $WF_{Mavi, Doğrudan}$ sonucuna ulaşılacaktır.

$$WF_{Mavi,Doğrudan} = \quad (4.7)$$

$$Q_{Ham,Proses,Dönem} + E_{Toplam,Dönem} + Q_{Kayıp} + Q_{Çamur} =$$

$$= 8.794 + 503 + 8.780 + 242 = 18.319 \frac{m^3}{yıl}$$

$WF_{Mavi,Dolaylı}$ hesabı için arıtma tesisinde kullanılan kimyasalların tüketim miktarı ve güncel fiyat değerleri kullanılacaktır. Mevcut dolar kuru Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankasından 5,45 TL/Dolar olarak alınmıştır (Url-6). Çizelge 4.10'da AAT'de tüketilen kimyasallara ait girdi miktarı ve fiyatları verilmiştir.

Çizelge 4.10: Mavi su ayak izine dahil olacak AAT'nin yıllık girdi/çıktı miktarı ve fiyatları.

Kimyasal	Girdi/Çıktı miktarı (kg)	Fiyat (TL/kg)
HCl	305.700	0,7
Ca(OH) ₂	143.600	0,4
Anyonik Polielektrolit	540	19,5
Fe(SO) ₄	5.920	0,08
Arıtma çamuru	269.420	0,28

Çizelge 4.10'daki fiyat ve tüketimlere göre denklem 3.6 uygulanırsa denklem 4.8 elde edilir. Burada arıtma çamuru hesabı yalnızca çamurun bertarafının ayak izi olarak değerlendirilmelidir.

$$WF_{Mavi,Tüketim,HCl} = \frac{2.51}{1000} \times \frac{305700 \times 0,7}{5,45} = 98,5 \frac{m^3}{yıl} \quad (4.8)$$

Denklem 4.8'de HCl için mavi su ayak izi hesaplama örneği yapılmış diğer WF_{Mavi} sonuçları çizelge 4.11'de verilmiştir.

Elektrik tüketimi kaynaklı WF_{Mavi} ise denklem 3.8 yardımıyla hesaplanabilmektedir uygulaması denklem 4.9'da verilmiştir.

$$WF_{Mavi,Elektrik} = 283.432 \times 0,025129 = 7.122 \frac{m^3}{yıl} \quad (4.9)$$

Çizelge 4.11: AAT'nin yıllık girdi/çıktılarının WF_{Mavi} değerleri.

Kimyasal	$WF_{Mavi,Tüketim}$ ($m^3/yıl$)
HCl	98,5
Ca(OH) ₂	26,5
Anyonik Polielektrolit	4,8
Fe(SO) ₄	0,2
Arıtma çamuru	34,7
Toplam	~165

Denklem 4.9 ve Çizelge 4.11'deki sonuçlara göre dolaylı WF_{Mavi} sonucu denklem 4.10'da verilmiştir.

$$WF_{Mavi,Dolaylı} = WF_{Mavi,Tüketim} + WF_{Mavi,Elektrik} = 165 + 7122 \quad (4.10)$$

$$= 7287 \frac{m^3}{yıl}$$

Tesisin yıllık toplam WF_{Mavi} 'si ise denklem 4.7 ve 4.10'daki sonuçların toplanmasıyla denklem 4.11'de hesaplanır.

$$WF_{Mavi,Toplam} = WF_{Mavi,Doğrudan} + WF_{Mavi,Dolaylı} \quad (4.11)$$

$$= 18.319 + 7.287 = 25.606 \frac{m^3}{yıl}$$

4.3.3 Arıtma Tesisinin Gri Su Ayak İzi

WF_{Gri} hesaplamasında öncelikle dolaylı olarak WF 'ye etki eden girdi ve çıktılar denklem 3.11 yardımıyla hesaplanacaktır. Çizelge 4.10'da verilen girdilerden HCl için uygulama örneği denklem 4.12'de verilmiştir.

$$WF_{Gri,Etki,HCl} = \frac{27.7}{1000} \times \frac{305700 \times 0,7}{5,45} = \quad (4.12)$$

$$= 1088 \frac{m^3}{yıl}$$

Çizelge 4.12'de denklem 4.12'nin tüm girdi ve çıktılar için yapılan WF_{Gri} hesaplamasının sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.12: AAT'nin yıllık girdi/çıktılarının WF_{Gri} değerleri.

Kimyasal	$WF_{Gri,Etki}$ ($m^3/yıl$)
HCl	1.087,6
Ca(OH) ₂	291,9
Anyonik Polielektrolit	53,5
Fe(SO) ₄	2,4
Arıtma çamuru	383,4
Toplam	~1.819

Hesaplamalara devam edebilmek için Şekil 3.2'de verilen kirletici konsantrasyon değerlerinin bilinmesi gereklidir. Bu her parametre için ayrıca yapılmalıdır. Çizelge 4.13'te bu değerler görülebilir. $c_{doğal}$ değerlerinin diğerlerinden farklı olarak $\mu g/l$ biriminde olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.13'te $c_{doğal}$ KOİ değeri Franke ve diğ. (2013) tarafından verilmediğinden, Şekil B.3'te Borçelik ham su kirletici konsantrasyonları ölçümünden alınan 35,9 değeri hesaplamalarda dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.13: WF_{Gri} hesaplamalarında kullanılacak değerler.

Parametre	$C_{giriş}$ (mg/L)	C_{yasal} (mg/L)	$C_{çıkış}$ (mg/L)	$C_{doğal}$ ($\mu g/L$)	C_{hamsu} (mg/L)
Kaynak	Şekil B.1	SSKY (2004)	Şekil B.2	Franke ve diğ. (2013)	Şekil B.3
KOİ	2.542	400 (Tablo 22)	75,6	-	35,9
Toplam Azot	121	40 (Tablo 22)	21,2	0,375	<10
Toplam Fosfor	17,6	10 (Tablo 22)	0,34	0,01	0,59
Demir (Fe)	40,4	3 (Tablo 15.2,3,7)	1,05	50	<0,1
Çinko (Zn)	1,47	5 (Tablo 15.2,3,7)	0,227	0,2	0,04

Çizelge 4.13'teki veriler ve Bölüm 3.1.3'te sunulan formüller kullanılarak Çizelge 4.14'te WF_{Gri} hesaplama sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 4.14: WF_{Gri} ($m^3/yıl$) hesaplama sonuçları.

Parametre	$WF_{Gri,To}$ plam	$WF_{Gri,Gi}$ derim	$WF_{Gri,Op}$ erasyonel	$WF_{Gri,Zo}$ runlu	$WF_{Gri,Ba}$ kiye	$WF_{Gri,Ba}$ kiye,Doğal	$WF_{Gri,Ba}$ kiye,Proses
KOİ	820.491	796.089	104.707	691.381	24.401	11.587	12.814
Toplam Azot	355.507	293.220	55.235	237.984	62.287	1,1	62.286
Toplam Fosfor	206.838	202.843	113.526	89.316	3.995	0,1	3.995
Demir (Fe)	1.609.453	1.567.624	77.684	1.489.939	41.829	1.991,9	39.838
Çinko (Zn)	34.552	29.217	112.191	-82.973	5.335	4,7	5.331

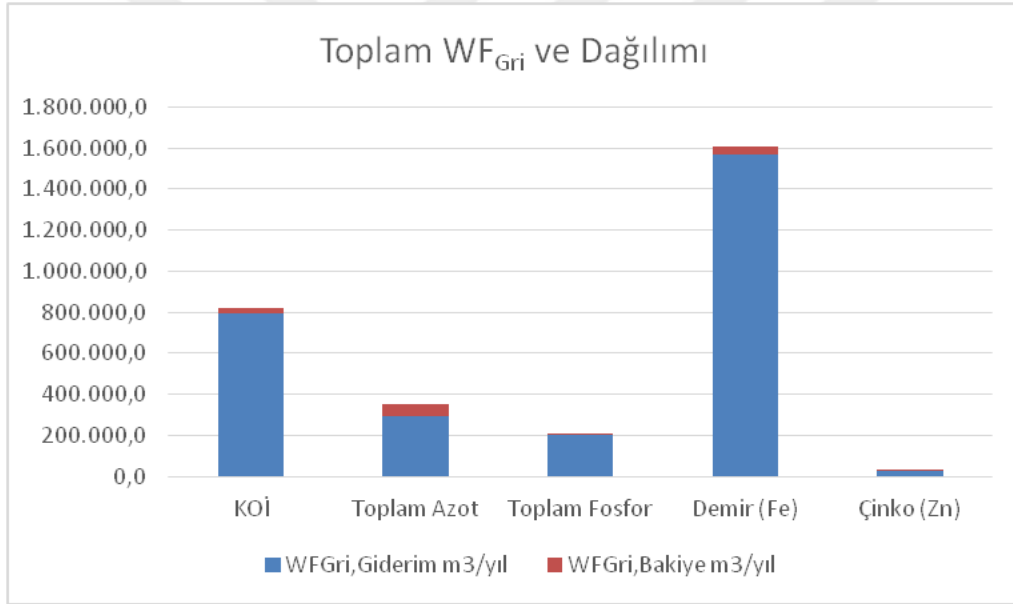
Çizelge 4.14'te $WF_{Gri,Zorunlu}$ Zn değeri AAT'ye giriş konsantrasyonu yasal limitlerin altında olduğundan negatif çıkmıştır.

AAT'ye gelen WF_{Gri} yükü, AAT'nin giderdiği kısmı ve bakiye kalan WF_{Gri} Şekil 4.11'de sunulmuştur.

Şekil 4.12 değerlendirildiğinde AAT çıkışı bakiye kirleticilerden en yüksek WF_{Gri} 'ye sahip olan Toplam Azot Parametresidir. Denklem 4.13'te AAT'nin WF_{Gri} 'si hesaplanmıştır.

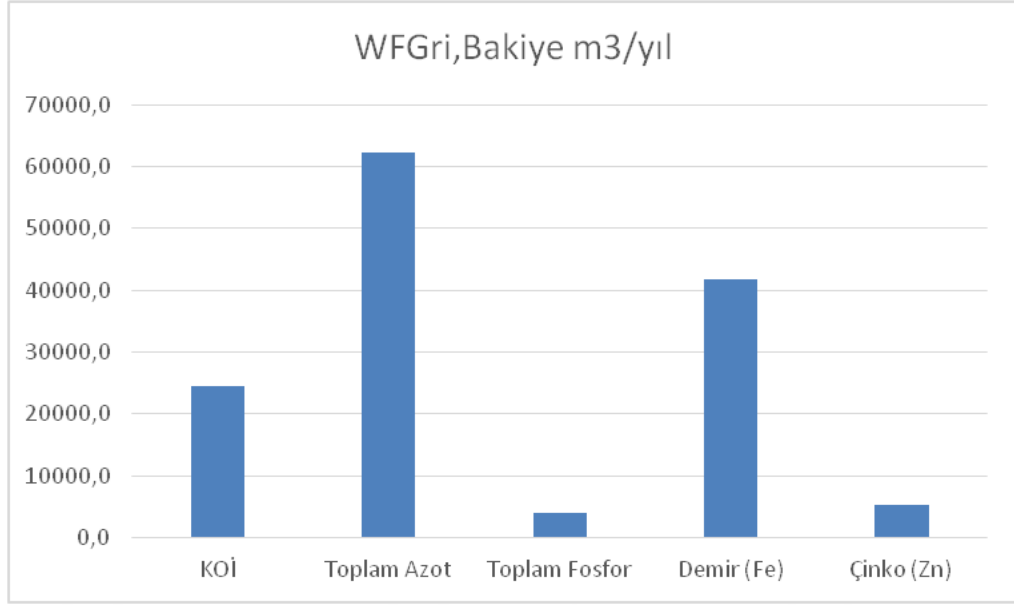
$$WF_{Gri} = WF_{Gri,Etki,Toplam} + WF_{Gri,Toplam,Azot} = 1.819 + 62.287 \quad (4.13)$$

$$= 64.106 \frac{m^3}{yıl}$$



Şekil 4.11: AAT'nin WF_{Gri} 'ye etkisi.

AAT'nin WF_{Toplam} hesaplamalarına girdi olarak kullanılacak $WF_{Gri,Bakiye}$ ise Şekil 4.12'de sunulmuştur.



Şekil 4.12: Kirleticilerin $WF_{Gri, Bakiye}$ değerleri.

4.3.4 Arıtma Tesisinin Toplam Su Ayak İzi

WF_{Toplam} 'ın hesaplanabilmesi için gerekli tüm sonuçlar Bölüm 4.3 başlığı altında hesaplanmış ve sonuçları Çizelge 4.15'te özetlenmiştir. Toplam WF hesabında denklem 4.14 kullanılmıştır. Şekil 4.13'te Tesisin WF_{Toplam} dağılımı verilmiştir.

$$WF_{Toplam} = WF_{Yeşil} + WF_{Mavi} + WF_{Gri} = 317 + 25.606 + 64.106 \quad (4.14)$$

$$= 90.029 \frac{m^3}{yıl}$$

Çizelge 4.15: WF hesaplama sonuçları ve kırılımları.

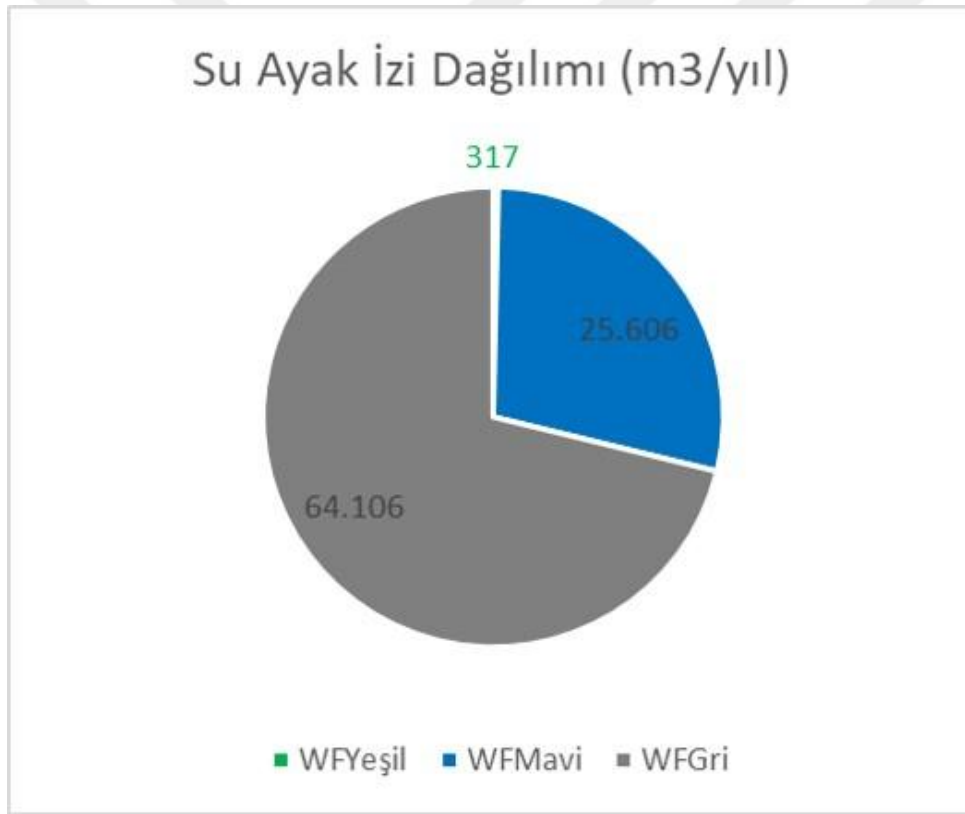
WF Tipi	Toplam Değer (m ³ /yıl)	WF Tipi	Toplam Değer (m ³ /yıl)	WF Tipi	Toplam Değer (m ³ /yıl)
WF _{Yeşil}	317	Yağış	317		
WF _{Mavi}	25.606	Doğrudan	18.319	Hamsu	8.794
				Buharlaştırma	503
				Kayıp	8.780
				Çamur	242
		Dolaylı	7.287	Girdi-çıktı	165
				Elektrik	7122
WF _{Gri}	64.106	Etki	1.819		
		Toplam (N kaynaklı)	62.287		
Toplam WF	90.029				

Tesisin birim atık su çıkış miktarına göre WF_{Toplam} , WF_{Mavi} ve WF_{Gri} hesaplaması ise denklem 4.15, 4.16 ve 4.17’de verilmiştir.

$$WF_{Mavi} = 25.606/115.927 = 0,221 \frac{m^3 WF_{Mavi}}{m^3 atıksu} \quad (4.15)$$

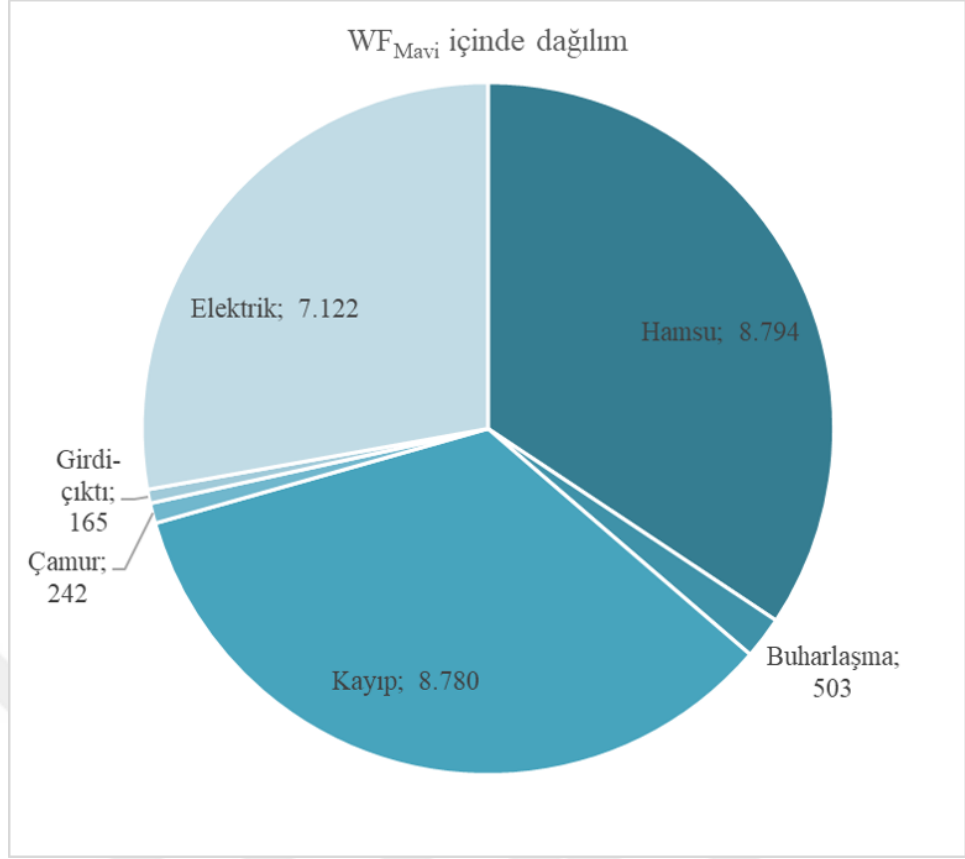
$$WF_{Gri} = 64.106/115.927 = 0,553 \frac{m^3 WF_{Gri}}{m^3 atıksu} \quad (4.16)$$

$$WF_{Toplam} = 90.029/115.927 = 0,777 \frac{m^3 WF_{Toplam}}{m^3 atıksu} \quad (4.17)$$



Şekil 4.13: AAT’nin WF_{Toplam} dağılımı.

Denklem 4.17 sonucu elde edilen değer AAT tarafından arıtılan 1 m³ atık suya karşılık oluşan su ayak izidir. WF_{Mavi} ’nin kendi içindeki yüzdesel dağılımı ise Şekil 4.14’te sunulmuştur.



Şekil 4.14: WF_{Mavi} kaynakları.



5. DEĞERLENDİRME VE TAVSİYELER

Bu bölümde; bu çalışmada elde edilen sonuçlar öncelikle kendi içinde ardından literatür kısmında daha önce AAT'ler için yapılmış çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır. İleride bu alanda yapılacak çalışmalar için tavsiyeler ise son başlıkta sunulacaktır.

5.1 Değerlendirmeler

Bölüm 4'te incelenen AAT için yapılan hesaplamalarda çıkan sonuçlara göre AAT'nin toplam su ayak izinin yaklaşık %71'ini WF_{Gri} , yaklaşık %29'unu ise WF_{Mavi} oluşturmaktadır. $WF_{Yeşil}$ ise AAT WF'sine yalnızca %0,35'lük bir katkıda bulunmaktadır ki bu Morera ve diğ. (2016) tarafından önerildiği üzere ihmal edilebilir.

AAT Toplam WF_{Gri} 'sinin ise %97'si AAT'den deşarj edilen kirleticilerden kalan kısmı ise AAT'de suyun arıtılması için kullanılan kimyasallardan ve arıtma çamurlarının bertarafından kaynaklanmaktadır.

AAT Toplam WF_{Mavi} kaynaklarına göre değerlendirildiğinde üç önemli kaynak toplam WF_{Mavi} 'nin %96'sını oluşturmaktadır. Bunlar %34 Kayıp (Kütle dengesinde eksik çıkan miktar), %34 AAT işletmesi için kullanılan temiz su ve %28 ile elektrik tüketimidir.

AAT'nin AAT'nin arıttığı $1 m^3$ atık su başına oluşan WF'sine bakılırsa toplam 0,777 m^3 olup bunun 0,553'ü WF_{Gri} , 0,221'i ise WF_{Mavi} 'dir. Burada dikkat edilmesi gereken husus bu sayıların AAT'nin $1 m^3$ atık su arıtmak için oluşan etkisi değildir. Eğer bu değer hesaplanmak istenirse AAT'nin WF_{Gri} 'sinden kirleticilerin etkisinin çıkartılması gerekmektedir. Kabaca Toplam WF_{Gri} miktarı 0,03 ile çarpılarak (WF_{Gri} için yalnız tüketim kaynakları alınması durumu) 0,0166 değeri bulunur. Bu WF_{Mavi} ile toplanarak $0,238 m^3 WF/m^3$ atık su değeri bulunur. Bu değer AAT'nin $1 m^3$ atık su arıtırken oluşturduğu su ayak izi değeridir ve kabaca 1 birim temiz su tüketimiyle 4 birim atık suyun deşarj limitlerinin altına arıtılabileceği anlamına gelmektedir. Bu

değer (WF_{eff}) AAT verimlilik değerlendirilmesi için ileride yapılabilecek çalışmalarda kullanılabilir. Denklem 5.1’de bu değerlendirme için gerekli hesaplama yöntemi verilmiştir.

$$\frac{WF}{Q_{AAT}} = WF_{eff} = \frac{(WF_{Mavi,Toplam} + WF_{Gri,Etki,Toplam})}{(Q_{Dönemsel})} \left[\frac{m^3 WF}{m^3 atıksu} \right] \quad (5.1)$$

Uygulama yapılan tesis için seçilen 5 kirletici içinde en yüksek WF giderimi Fe parametresinde görülmüştür. AAT çıkışında bakiye kirleticilerin içinde en yüksek WF değerine sahip olan parametre ise toplam azot olarak tespit edilmiştir. WF_{Gri} bir performans göstergesi olarak kullanılırsa ve azaltmak istenirse öncelikli hedef toplam azot parametresi olmalıdır. Zn parametresinin sonuçları değerlendirildiğinde AAT giriş konsantrasyonu yasal limitlerin altında olduğundan sonuçlarda negatif değere sahiptir ve $WF_{Gri,Zorunlu}$ ve $WF_{Gri,Operasyonel}$ değerleri tutarsızdır. Yasal limitlerin altında giriş kirletici konsantrasyonuna sahip bir AAT’de bu iki göstergenin ilgili kirletici için hesaplanmaması tavsiye edilir. Çizelge 4.14’te elde edilen sonuçlar birbirine oranlanarak AAT WF performansını izlemek isteyen süreç yöneticisi için göstergeler oluşturulmasına izin vermektedir. Ancak bu göstergeler denklem 5.2’de örneği verildiği gibi WF hesaplanmadan da sadece konsantrasyon değerleriyle de hesaplanabilir. Dolayısıyla WF_{Gri} ’lerin birbirine oranıyla bir gösterge oluşturulması tercihe bırakılmıştır. Tavsiye edilen ise farklı parametrelerle (örneğin birim üretim başına WF gibi) gösterge oluşturarak WF’nin takip edilmesidir.

$$\frac{WF_{Gri,Operasyonel}}{WF_{Gri,Toplam}} = \frac{\frac{Q \times (c_{yasal} - c_{çıkış})}{(c_{yasal} - c_{doğal})}}{\frac{Q \times c_{giriş}}{(c_{yasal} - c_{doğal})}} = \frac{(c_{yasal} - c_{çıkış})}{c_{giriş}} \quad (5.2)$$

Bu çalışmada elde edilen değerler sırayla AAT’ler için yapılan diğer çalışmalarla kıyaslandığında arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Shao ve Chen, (2013) tarafından yapılan çalışmada WF_{Gri} hesaplamaya dahil edilmemiştir ve çalışmalarında 1 m³ atık su arıtımı için 3,12 litre WF_{Mavi} oluşumu hesaplamıştır. WF_{Mavi} ’nin kırılımında ise %57 elektrik, %10 temiz su, %5,6 kimyasal tüketimini en önemli 3 kaynak olarak belirlemiştir. İki çalışma arasındaki önemli farklardan biri elektrik tüketimi için alınan baz değerler diğeri ise bu çalışmada kütle dengesiyle çalışmaya dahil edilen kayıp kaçak su miktarıdır. Bu çalışmada hesaplanan WF_{Mavi}

değerlerinden sadece elektrik ve su tüketimi değerleri alınsa bile hesaplanan WF_{Mavi} 'ler arasındaki fark 10 kat civarında olacaktır.

Morera ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada ise 1 m^3 suyun arıtılmasıyla $1,45\text{ m}^3$ WF_{Mavi} oluşacağı hesaplanmıştır. Bu çalışmayla arasında elektrik tüketiminin su ayak izi ve WF_{Gri} hesaplamalarında farklılıklar bulunmaktadır. Benzer hesaplanan veri olmadığından verilerin karşılaştırılmaması daha uygun olacaktır.

Gu ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada da Shao ve Chen (2013)'de olduğu gibi elektrik tüketiminin WF 'si olmak üzere yeni ortaya konulan verimlilik değerlendirme göstergeleri arasındaki fark çalışmaların kıyaslanmasını engellemektedir.

Llanos ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmadaki WF_{Gri} hesaplamasındaki gösterge farklılıkları ve elektrik tüketimi kaynaklı WF_{Mavi} 'deki yüksek orana rağmen çalışmalarında bulunan $0,58\text{-}0,88\text{ m}^3\text{ WF/m}^3$ atıksu değeri bu çalışmada çıkan $0,238\text{ m}^3\text{ WF/m}^3$ atık su değerine en yakın sonuç olma özelliğini taşımaktadır.

Son olarak Türkiye'de Yapıcıoğlu (2019) tarafından bir endüstriyel AAT için yapılan çalışmayla kıyaslandığında çalışma sonucu çıkan $3,12\text{ l WF /m}^3$ atıksu değerleri arasında önemli bir fark çıkmaktadır. Farkın muhtemel sebebinin çalışmada sadece doğrudan su tüketim süreçlerinin (çamur yönetimi ve AAT için kullanılan temiz su) değerlendirilmesi ve AAT yönetimleri arasındaki farklar olduğu düşünülmektedir.

Bahsedilen beş çalışmanın kapsamı, amacı, yöntemi ve kullandığı veriler farklıdır bu sebeple çalışmaların sonuçları arasında çok önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu çalışmanın hedefi AAT'lerde WF hesaplaması için WFN metoduna uygun olduğu düşünülen bir yöntem önermektir. Bu sebeple kıyaslanan çalışmalarla arasında bir tutarlılık hedeflenmemiştir. Aksine Bölüm 2 ve 3'te belirtildiği gibi tüm diğer AAT WF hesaplamalarından farklı bir yöntem uygulanmıştır.

Bu çalışma sonucunda, uygulaması yapılan AAT için kendi verimliliğini ölçüp takip edebileceği bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem aynı zamanda benzer veri kaynaklarını kullanan iki farklı endüstriyel AAT için bir karşılaştırma aracı olarak da kullanılabilir.

5.2 Tavsiyeler

Su ayak izi, suya ait risklerin değerlendirilebilmesi ve suyun yönetimi için veri sağlayabilecek yeterlilikte sayısal bir göstergedir. Atık su arıtma tesisleri için de sunulan bu yöntem kullanılarak gerek tesisin kendi içinde gerek farklı tesislerle değerlendirme yapılabilir.

Su ayak izi çalışmasının ana girdileri bölgesel (ilçe, il, ülke, coğrafya, kıta, dünya) ve tesise özel veriler olarak sınıflandırılabilir. Tesise özel veriler doğrudan kaynağından alındığı ve genelde tek elden oluşturulduğu için tutarlıdır ve mümkün olduğunca kullanılmalıdır ancak kapsam bölgesel olarak genişledikçe doğru veriye ulaşım güçleşmektedir. Bu sebeple su ayak izi bir gösterge olarak ulusal veya dünya çapında yaygınlaştırılacaksa tutarlı ve doğru veri girdisine ihtiyaç bulunmaktadır. Özellikle verilerin temin edilebileceği ulusal bir veri tabanı bu gibi çalışmaların geleceği için gerekli olduğu düşünülmektedir.

Atık su arıtma tesisi için su ayak izi hesaplamalarında veri kaynakları ve çalışmanın kapsamı tamamen değerlendirici tarafından belirlendiğinden, su ayak izi farklı tesisler için bir kıyaslama göstergesi olarak kullanılmak istenirse değerlendiricilere standart bir yöntem ve bir veri kaynağının verilmesi önemlidir. Aksi halde kıyaslama mümkün olmayacaktır.

Su ayak izi çalışması yapılırken önemli miktarda kabul yapılmaktadır. Yapılan bu kabullerin güçlü dayanakları ve şeffaf bir sunumu olması çalışmanın çıktılarının okuyucular tarafından değerlendirilebilmesi açısından önem taşımaktadır.

Atık su arıtma tesisleri yapıları gereği özellikle gri su ayak izini azalttıkları için su ayak izi çalışmalarında özel bir öneme sahiptir. Atık su arıtma tesisleri için daha fazla su ayak izi çalışması yapılması gerektiği düşünülmekte, çalışma sayısı artışıyla değerlendirme yönteminin standartlaşacağı ve veri kaynaklarının çoğalacağı öngörülmektedir. Bu da ileride yapılan çalışmaların tutarlılığı ve kıyaslanabilirliği açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- Akgül, E.** (2018). *Aylık Enerji İstatistikleri Raporu*. Ankara: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü.
- Alper, F.** (2015). *Sürdürülebilirlik Kavramı İçerisinde Su Ayak İzi: Tekstil Sektörü Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- BSI- British Standards Institution** (2016). *Environmental management- Water Footprint- Principles, requirements and guidelines* (BS EN ISO 14046:2016).
- ÇSB- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2018). *Atıksu Arıtımı Eylem Planı*. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Erişim: 20 Ocak 2019, <https://cygm.csb.gov.tr/su-ve-toprak-yonetimi-i-83470>
- Campbell, F. C.** (2013). *Metals Fabrication - Understanding the Basics*. Ohio, ASM International.
- Çınar, B.** (2019). Kişisel görüşme. 17 Ocak, Bursa.
- EC- European Commission** (2001a) *Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry*. Erişim adresi <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>
- EC- European Commission** (2001b) *Demir Haddeleme Prosesinde Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı*. (Demir Çelik Üreticileri Derneği, Çev.) Erişim adresi <http://celik.org.tr/mevcut-en-iyi-teknikler-dokumanlari-bref/>
- Franke, N.A., Boyacıoğlu, H., Hoekstra, A.Y.** (2013) *Grey Water Footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines*, Value of Water Research Report Series No.65, Netherlands: UNESCO-IHE, Delft.
- Göcen, T.** (2019). Kişisel görüşme. 5 Şubat, Bursa.
- Gu, Y., Xu, J. Keller, A. A., Yuan, D., Li, Y., Zhang, B., Weng, Q., Zhang, X., Deng, P., Wang, H., Li, F.** (2015) Calculation of water footprint of the iron and steel industry: a case study in Eastern China, *Journal of Cleaner Production*, 92(2015), 274-28. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.094>.
- Gu, Y., Dong, Y., Wang, H., Keller, A., Xu, J., Chiramba, T., Li, F.** (2016) Quantification of the water, energy and carbon footprints of wastewater treatment plants in China considering a water-energy nexus perspective, *Ecological Indicators* 60(2016), 402-409. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.012>.

- Hoekstra, A. Y.** (2003) Virtual water: An İntroduction. İçinde Arjen Y. H. (Editör), *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, (Rapor No: 12). Hollanda: IHE Delft.
- Hoekstra, A. Y.** (2015) The water footprint of industry. İçinde Jiri J. K. (Editör), *Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability* (1. bs., s.221-254). Erişim adresi [https://0-www.sciencedirect.com.divit.library.itu.edu.tr/science/article/pii/B9780127999685000075](https://0-www.sciencedirect.com/divit.library.itu.edu.tr/science/article/pii/B9780127999685000075)
- Hoekstra, A. Y.** (2016) A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA, *Ecological Indicators*, 66(2016), 564-573. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.026>.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., Mekonen M. M.** (2011). The water footprint assessment manual: setting the global standard. Erişim adresi <https://waterfootprint.org/en/resources/publications/water-footprint-assessment-manual/>
- İlker, S.** (2019). Kişisel görüşme. 11 Mart, Bursa.
- El-Khozondar, B., Köksal, M.A.** (2017). Elektrik Üretiminde Su Tüketimi ve CO2 Salımı İlişkisi. *VII Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, Antalya, Türkiye: Kasım 1-3.
- Llanos, E. G., Barroso, P. D., Sanchez, A. M.** (2018) Management effectiveness assesment in wastewater treatment plants through a new water footprint indicator, *Journal of Cleaner Production*, 198(2018), 463-471. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.062>.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y.** (2011a). *National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*, Value of Water Research Report Series No.50, UNESCO-IHE.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y.** (2011b). *The Water Footprint of Electricity From Hydropower*, Value of Water Research Report Series No.51, UNESCO-IHE.
- Mekonnen, M.M., Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y.** (2015). The consuptive water footprint of electricity and heat: a global assessment, *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2015-1, 285-297. doi:10.1039/c5ew00026b
- MGM- Meteoroloji Genel Müdürlüğü** (2018a). *17663 Numaralı İstasyon Aylık Toplam Yağış İstatistikleri 2012-2018*, Erişim Tarihi: 5 Aralık 2018, <https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Workspace>
- MGM- Meteoroloji Genel Müdürlüğü** (2018b). *17116 Numaralı İstasyon Aylık Toplam Açık Yüzey Buharlaşma İstatistikleri 2012-2018*, Erişim Tarihi: 8 Aralık 2018, <https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Workspace>
- Morera, S., Corominas, L., Poch, M., Aldaya, M.M., Comasi J.** (2016). Water footprint assessment in wastewater treatment plants, *Cleaner Production*, 112(2016), 4741-4748. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.102>.
- Olmez, G. M., Dilek, F.B., Karanfil, T., Yetis, U.** (2015) The environmental impacts of iron and steel industry: a life cycle assessment study,

- Journal of Cleaner Production* 130(2016), 195-201. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.139>.
- Özyer, B.** (2018). Arılar ölmesin, gıdamız tükenmesin. *Greenpeace*. Erişim: 16 Aralık 2018, Erişim adresi <http://www.greenpeace.org/turkey/tr/news/blog/mavi-gezegen/arilar-olmesin-gidamiz-tukenmesin/blog/61795/>
- Pfister, S., Boulay, A.M., Berger, M., Hadjikakou, M., Motoshita, M., Hess, T., Ridoutt, B., Weinzettel, J., Scherer, L., Döll, P., Manzardo, A., Nunez, M., Verones, F., Humbert, S., Buxmann, K., Henderson, A.** (2017). Letter to the Editor, Understanding the LCA and ISO water footprint: A response to Hoekstra (2016) "A critique on the water-scarsity weighted water footprint in LCA". *Ecological Indicators*, 72(2017), 352-359. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.051>.
- Shao, L., Chen, G. Q.** (2013) Water Footprint Assesment for Wastewater Treatment: Method, Indicator, and Application, *Environmental Science & Technology*, 47(2013), 7787-7794. doi: dx.doi.org/10.1021/es402013t.
- SKKY, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği.** (2004). T. C. Resmî Gazete, 25687, 31 Aralık 2004.
- Ticaret Bakanlığı.** (2018). *Demir-Çelik, Demir-Çelikten Eşya Sektör Raporu*. Erişim: 19 Ocak 2019, https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Demi_Celik_Demir_Celikten_Esya.pdf
- TÜBİTAK- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu.** (2016). *Sanayide Temiz Üretim Olanaklarının Ve Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi Projesi Sonuç Raporu* (Rapor No: ÇTÜE.16.318). Kocaeli: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Marmara Araştırma Merkezi, Çevre Ve Temiz Üretim Enstitüsü.
- UN- United Nations.** (2018). *World Population Prospects: The 2017 Revision* Erişim: 15 Aralık 2018, <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>
- Water Footprint Assessment: An Evolving Research Field.** (2017). Erişim: 15 Aralık 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=Xu9rCVkFwMI>
- WSA-World Steel Association.** (2019). *Steel Statistical Yearbook* Erişim: 19 Ocak 2019, <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook-.html>
- WWAP- United Nations World Water Assessment Programme** (2018) *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. Paris: UNESCO.
- WWF- World Wildlife Found** (2014). *Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi*. Türkiye: WWF.
- Yapıcıoğlu, P.** (2019), Seasonal Water Footprint Assessment For A Paint Industry Wastewater Treatment Plant. *Sakarya University Journal of Science*, 23(2), 175-183, doi: 10.16984/saufenbilder.411137.
- Url-1** <<http://www.borcelik.com/Tr/Hakkimizda/Tarihce>>, erişim tarihi 16.12.2018

- Url-2** <<https://yandex.com.tr/harita/?l=sat&ll=29.011604%2C40.416071&z=12>>, erişim tarihi 11.03.2019
- Url-3** <<https://www.butechbliss.com/our-products/rolling-mill-equipment/>>, erişim tarihi 11.03.2019
- Url-4** <<https://www.ebner.cc/en/steel/strip/bell-annealers/>>, erişim tarihi 11.03.2019
- Url-5** <<https://www.acin.tuwien.ac.at/en/cdlab-kugi/forschungsbereich-bandbehandlung/>>, erişim tarihi 12.03.2019
- Url-6** <<https://www.tcmb.gov.tr>>, erişim tarihi 13.03.2019



EKLER

EK A: Gemlik İstasyonuna Ait Yağış Verileri, Bursa İstasyonuna ait Buharlaşma Verileri

EK B: Atık Su Arıtma Tesisi Giriş ve Çıkış ve Ham Su Ölçüm Sonuçları



EK A

Çizelge A.1: Gemlik-17663 Numaralı İstasyona Ait Yağış Verileri (MGM, 2018a).

Yıl	Ay	Aylık Toplam Yağış (mm)	Yıl	Ay	Aylık Toplam Yağış (mm)	Yıl	Ay	Aylık Toplam Yağış (mm)
2012	1	92,2	2015	1	88,8	2018	1	58,6
2012	2	7,4	2015	2	119,6	2018	2	96
2012	3	0	2015	3	51	2018	3	103
2012	4	61	2015	4	142	2018	4	14
2012	5	86,2	2015	5	32,6	2018	5	117,4
2012	6	8,6	2015	6	36	2018	6	33,6
2012	7	8,6	2015	7	2,8	2018	7	24,4
2012	8	15,6	2015	8	1,2	2018	8	0,6
2012	9	10,4	2015	9	32,8	2018	9	63,6
2012	10	21,4	2015	10	56	2018	10	31,2
2012	11	59,4	2015	11	30,6			
2012	12	125,8	2015	12	2,4			
2013	1	94,4	2016	1	153,2			
2013	2	38	2016	2	109			
2013	3	75,8	2016	3	96,6			
2013	4	35	2016	4	16,6			
2013	5	35,2	2016	5	53			
2013	6	65,4	2016	6	30,6			
2013	7	3,8	2016	7	0,6			
2013	8	2	2016	8	12,4			
2013	9	0,6	2016	9	23			
2013	10	95,8	2016	10	11,6			
2013	11	60,2	2016	11	99			
2013	12	40,2	2016	12	149,6			
2014	1	41	2017	1	107,8			
2014	2	22,8	2017	2	27,6			
2014	3	51,6	2017	3	26,4			
2014	4	61,8	2017	4	51,4			
2014	5	72,8	2017	5	31,8			
2014	6	117,8	2017	6	55,6			
2014	7	13,6	2017	7	11,4			
2014	8	22,2	2017	8	10			
2014	9	124,8	2017	9	2			
2014	10	66	2017	10	50			
2014	11	41,6	2017	11	34			
2014	12	82,2	2017	12	104,8			

Çizelge A.2: Bursa-17116 Numaralı İstasyonuna Ait Toplam Açık Yüzey Buharlaşma Verileri (MGM, 2018b).

Yıl	Ay	Aylık Toplam Buharlaşma (mm)	Yıl	Ay	Aylık Toplam Buharlaşma (mm)
2012	4	100,9	2015	7	206,4
2012	5	111,6	2015	8	183,5
2012	6	211,4	2015	9	117,1
2012	7	223,8	2015	10	55,2
2012	8	196	2015	11	48,8
2012	9	124,8	2016	4	101,6
2012	10	72,1	2016	5	98,4
2012	11	39,5	2016	6	160,7
2012	12	1	2016	7	187,9
2013	4	83,2	2016	8	185
2013	5	146,7	2016	9	130,6
2013	6	173,4	2016	10	66,4
2013	7	201,5	2016	11	0,8
2013	8	203	2017	4	93,4
2013	9	118,7	2017	5	106,5
2013	10	54,1	2017	6	138,2
2013	11	36,9	2017	7	199,7
2014	4	81,5	2017	8	177,5
2014	5	111,3	2017	9	132,9
2014	6	143,1	2017	10	67,6
2014	7	173,4	2018	4	94,6
2014	8	154,6	2018	5	95,7
2014	9	89,6	2018	6	149,2
2014	10	57,2	2018	7	190,5
2014	11	36	2018	8	199,2
2015	4	89,2	2018	9	113,9
2015	5	139,6	2018	10	65,5
2015	6	121,5			

EK B

TÜRKAK
TÜRK AKREDİTASYON KURUMU
tarafından akredite edilmiştir.



CEDFEM
CEYRE ANALİZLERİ LTD. ŞTİ.
ANALİZ RAPORU



AB-0045T
19-0025-8-0
8219

Rapor No	19-0025-8-00
Referans Kayıt Numarası	82019
Teknik Numara	S-20090405
Numaralı Alan Kısmı / Eki	Fiziksel Eki
Müşterinin Adı ve Adresi	BOĞAZİÇİ ÇELİK SANAYİ TİCARET A.Ş. - GEMİLERBURSA
Numaralı Alan	Akt 5a
Numaralı Alanın Tutarı Adı ve Adresi	BOĞAZİÇİ ÇELİK SANAYİ TİCARET A.Ş. - GEMİLERBURSA
Numaralı Alanın Miktarı	Yüksek çözünürlük
Numaralı Alanın Şekli	Akt 5a
Numaralı Alanın Tutarı ve Tutarı	22.01.2019 11:08 - 23.01.2019 11:08
Numaralı Alanın Miktarı ve Miktarı	350 ml - Şerh: Eki
Numaralı Alanın Miktarı ve Miktarı	23.01.2019
Numaralı Alanın Miktarı ve Miktarı	Sarımsaklı, parlatılmış, tuzlu, tuzlu
Analizlerin Yapıldığı Tarih ve Analiz	23.01.2019 - 31.01.2019
Rapor Sayısı Sayısı / Ek Sayısı	1 / 1 - -

Deney laboratuvarı olarak faaliyet gösteren laboratuvarımız TÜRKAK'ın AB-0045T akreditasyon numarası ile TS EN ISO 9001:2015 standardına göre akredite edilmiştir. Teknik Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) deney raporlarımızın tamamı Türkiye Akreditasyon Birliği (TBA) ile çok amaçlı akreditasyon ve Ülkemizdeki Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ULAB) ile birliktir. Deney ve/veya ölçüm sonuçları, k-2 ve SRS güvencesiyle sunulmaktadır. Gösterilen ölçüm sonuçları, laboratuvarımız tarafından ve deney sonuçları bu raporda sunulmaktadır.

Parametre	Analiz Metodu	Birim	Ölçülen Değer
Toplam Azot Tayini ⁽¹⁾	TS 6231 TS 7326 EN 26777 SM 4500 Norg B	mg/L	123
Kükürtü Çözeltisi Tayini ⁽²⁾	TS 2789	mg/L	2543
Toplam Fosfor Tayini ⁽³⁾	TS 7886	mg/L	17,6
Demir Tayini ⁽⁴⁾	SM 3111 B	mg/L	48,6
Çinko Tayini ⁽⁵⁾	SM 3111 B	mg/L	1,47

Numaralı laboratuvarımız tarafından akredite edilmiştir ve Numaralı laboratuvarımız tarafından akredite edilmiştir. Akreditasyon numarası 19-0025-8-00'dür. Deney ve/veya ölçüm sonuçları, k-2 ve SRS güvencesiyle sunulmaktadır. Gösterilen ölçüm sonuçları, laboratuvarımız tarafından ve deney sonuçları bu raporda sunulmaktadır.



Mühür

Tarih

31.03.2019

Analiz Eden

Stavros GEMER
Şenel ÇEMERER, KUL
Okan KARATAY

Kontrol Eden

Laboratuvar Sorumlusu
Stavros GEMER

Onaylayan

Laboratuvar Sorumlusu
Stavros GEMER

(1) Bu analiz için laboratuvarımız, fiziksel numareyi kullanır.
(2) Bu analiz için laboratuvarımız, fiziksel numareyi kullanır. (3) Bu analiz için laboratuvarımız, fiziksel numareyi kullanır. (4) Bu analiz için laboratuvarımız, fiziksel numareyi kullanır. (5) Bu analiz için laboratuvarımız, fiziksel numareyi kullanır.

Birekile Soluk: Meriç Akarlar NERİ / BURSA, tel: 4445948 000, (230) 4437080 www.cedfem.com.tr

Şekil B.1: Arıtma tesisinin giriş suyu ölçüm sonuçları.

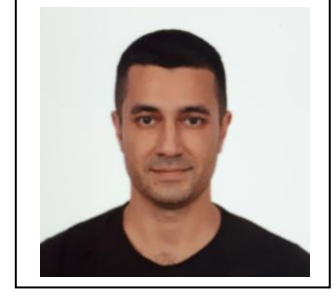
TÜRKAK
TÜRK AKREDİTASYON KURUMU
tarafından akredite edilmiştir.



AB-0049-T
10-0115-020
0219

Rapor No	19-0115-020
Numune Kayıt Numarası	02419
Tarih/Numarası	5-2019/043
Harcamaçı Alan Kurum / Kişi	Firma yetkilisi
Matruhan Adı ve Adresi	BORÇÇİLİK ÇELİK SANAYİ TİCARİET A.Ş. - GEMİLERBURSA
Numunesin Cinsi	Akıl Su
Numune Alınan Yerin Adı ve Adresi	BORÇÇİLİK ÇELİK SANAYİ TİCARİET A.Ş. - GEMİLERBURSA
Numunesin Alındığı Nokta	Drayajık - deşer
Numune Alınış Şekli	Akıl Su
Numune Alınış Tarihi ve Saati	22.01.2019 11:00 - 22.01.2019 11:00
Numunesin Miktarı ve Kaba Değeri	750 ml - Şaflı Kaba
Numunesin Laboratuvarı Hakkında Bilgi	23.01.2019
Numunesin Fiziksel Özellikleri	Sarı renkli, katı, yoğunluklu, 0.01/0.02/0.03/0.04/0.05/0.06/0.07/0.08/0.09/0.10/0.11/0.12/0.13/0.14/0.15/0.16/0.17/0.18/0.19/0.20/0.21/0.22/0.23/0.24/0.25/0.26/0.27/0.28/0.29/0.30/0.31/0.32/0.33/0.34/0.35/0.36/0.37/0.38/0.39/0.40/0.41/0.42/0.43/0.44/0.45/0.46/0.47/0.48/0.49/0.50/0.51/0.52/0.53/0.54/0.55/0.56/0.57/0.58/0.59/0.60/0.61/0.62/0.63/0.64/0.65/0.66/0.67/0.68/0.69/0.70/0.71/0.72/0.73/0.74/0.75/0.76/0.77/0.78/0.79/0.80/0.81/0.82/0.83/0.84/0.85/0.86/0.87/0.88/0.89/0.90/0.91/0.92/0.93/0.94/0.95/0.96/0.97/0.98/0.99/1.00/1.01/1.02/1.03/1.04/1.05/1.06/1.07/1.08/1.09/1.10/1.11/1.12/1.13/1.14/1.15/1.16/1.17/1.18/1.19/1.20/1.21/1.22/1.23/1.24/1.25/1.26/1.27/1.28/1.29/1.30/1.31/1.32/1.33/1.34/1.35/1.36/1.37/1.38/1.39/1.40/1.41/1.42/1.43/1.44/1.45/1.46/1.47/1.48/1.49/1.50/1.51/1.52/1.53/1.54/1.55/1.56/1.57/1.58/1.59/1.60/1.61/1.62/1.63/1.64/1.65/1.66/1.67/1.68/1.69/1.70/1.71/1.72/1.73/1.74/1.75/1.76/1.77/1.78/1.79/1.80/1.81/1.82/1.83/1.84/1.85/1.86/1.87/1.88/1.89/1.90/1.91/1.92/1.93/1.94/1.95/1.96/1.97/1.98/1.99/2.00/2.01/2.02/2.03/2.04/2.05/2.06/2.07/2.08/2.09/2.10/2.11/2.12/2.13/2.14/2.15/2.16/2.17/2.18/2.19/2.20/2.21/2.22/2.23/2.24/2.25/2.26/2.27/2.28/2.29/2.30/2.31/2.32/2.33/2.34/2.35/2.36/2.37/2.38/2.39/2.40/2.41/2.42/2.43/2.44/2.45/2.46/2.47/2.48/2.49/2.50/2.51/2.52/2.53/2.54/2.55/2.56/2.57/2.58/2.59/2.60/2.61/2.62/2.63/2.64/2.65/2.66/2.67/2.68/2.69/2.70/2.71/2.72/2.73/2.74/2.75/2.76/2.77/2.78/2.79/2.80/2.81/2.82/2.83/2.84/2.85/2.86/2.87/2.88/2.89/2.90/2.91/2.92/2.93/2.94/2.95/2.96/2.97/2.98/2.99/3.00/3.01/3.02/3.03/3.04/3.05/3.06/3.07/3.08/3.09/3.10/3.11/3.12/3.13/3.14/3.15/3.16/3.17/3.18/3.19/3.20/3.21/3.22/3.23/3.24/3.25/3.26/3.27/3.28/3.29/3.30/3.31/3.32/3.33/3.34/3.35/3.36/3.37/3.38/3.39/3.40/3.41/3.42/3.43/3.44/3.45/3.46/3.47/3.48/3.49/3.50/3.51/3.52/3.53/3.54/3.55/3.56/3.57/3.58/3.59/3.60/3.61/3.62/3.63/3.64/3.65/3.66/3.67/3.68/3.69/3.70/3.71/3.72/3.73/3.74/3.75/3.76/3.77/3.78/3.79/3.80/3.81/3.82/3.83/3.84/3.85/3.86/3.87/3.88/3.89/3.90/3.91/3.92/3.93/3.94/3.95/3.96/3.97/3.98/3.99/4.00/4.01/4.02/4.03/4.04/4.05/4.06/4.07/4.08/4.09/4.10/4.11/4.12/4.13/4.14/4.15/4.16/4.17/4.18/4.19/4.20/4.21/4.22/4.23/4.24/4.25/4.26/4.27/4.28/4.29/4.30/4.31/4.32/4.33/4.34/4.35/4.36/4.37/4.38/4.39/4.40/4.41/4.42/4.43/4.44/4.45/4.46/4.47/4.48/4.49/4.50/4.51/4.52/4.53/4.54/4.55/4.56/4.57/4.58/4.59/4.60/4.61/4.62/4.63/4.64/4.65/4.66/4.67/4.68/4.69/4.70/4.71/4.72/4.73/4.74/4.75/4.76/4.77/4.78/4.79/4.80/4.81/4.82/4.83/4.84/4.85/4.86/4.87/4.88/4.89/4.90/4.91/4.92/4.93/4.94/4.95/4.96/4.97/4.98/4.99/5.00/5.01/5.02/5.03/5.04/5.05/5.06/5.07/5.08/5.09/5.10/5.11/5.12/5.13/5.14/5.15/5.16/5.17/5.18/5.19/5.20/5.21/5.22/5.23/5.24/5.25/5.26/5.27/5.28/5.29/5.30/5.31/5.32/5.33/5.34/5.35/5.36/5.37/5.38/5.39/5.40/5.41/5.42/5.43/5.44/5.45/5.46/5.47/5.48/5.49/5.50/5.51/5.52/5.53/5.54/5.55/5.56/5.57/5.58/5.59/5.60/5.61/5.62/5.63/5.64/5.65/5.66/5.67/5.68/5.69/5.70/5.71/5.72/5.73/5.74/5.75/5.76/5.77/5.78/5.79/5.80/5.81/5.82/5.83/5.84/5.85/5.86/5.87/5.88/5.89/5.90/5.91/5.92/5.93/5.94/5.95/5.96/5.97/5.98/5.99/6.00/6.01/6.02/6.03/6.04/6.05/6.06/6.07/6.08/6.09/6.10/6.11/6.12/6.13/6.14/6.15/6.16/6.17/6.18/6.19/6.20/6.21/6.22/6.23/6.24/6.25/6.26/6.27/6.28/6.29/6.30/6.31/6.32/6.33/6.34/6.35/6.36/6.37/6.38/6.39/6.40/6.41/6.42/6.43/6.44/6.45/6.46/6.47/6.48/6.49/6.50/6.51/6.52/6.53/6.54/6.55/6.56/6.57/6.58/6.59/6.60/6.61/6.62/6.63/6.64/6.65/6.66/6.67/6.68/6.69/6.70/6.71/6.72/6.73/6.74/6.75/6.76/6.77/6.78/6.79/6.80/6.81/6.82/6.83/6.84/6.85/6.86/6.87/6.88/6.89/6.90/6.91/6.92/6.93/6.94/6.95/6.96/6.97/6.98/6.99/7.00/7.01/7.02/7.03/7.04/7.05/7.06/7.07/7.08/7.09/7.10/7.11/7.12/7.13/7.14/7.15/7.16/7.17/7.18/7.19/7.20/7.21/7.22/7.23/7.24/7.25/7.26/7.27/7.28/7.29/7.30/7.31/7.32/7.33/7.34/7.35/7.36/7.37/7.38/7.39/7.40/7.41/7.42/7.43/7.44/7.45/7.46/7.47/7.48/7.49/7.50/7.51/7.52/7.53/7.54/7.55/7.56/7.57/7.58/7.59/7.60/7.61/7.62/7.63/7.64/7.65/7.66/7.67/7.68/7.69/7.70/7.71/7.72/7.73/7.74/7.75/7.76/7.77/7.78/7.79/7.80/7.81/7.82/7.83/7.84/7.85/7.86/7.87/7.88/7.89/7.90/7.91/7.92/7.93/7.94/7.95/7.96/7.97/7.98/7.99/8.00/8.01/8.02/8.03/8.04/8.05/8.06/8.07/8.08/8.09/8.10/8.11/8.12/8.13/8.14/8.15/8.16/8.17/8.18/8.19/8.20/8.21/8.22/8.23/8.24/8.25/8.26/8.27/8.28/8.29/8.30/8.31/8.32/8.33/8.34/8.35/8.36/8.37/8.38/8.39/8.40/8.41/8.42/8.43/8.44/8.45/8.46/8.47/8.48/8.49/8.50/8.51/8.52/8.53/8.54/8.55/8.56/8.57/8.58/8.59/8.60/8.61/8.62/8.63/8.64/8.65/8.66/8.67/8.68/8.69/8.70/8.71/8.72/8.73/8.74/8.75/8.76/8.77/8.78/8.79/8.80/8.81/8.82/8.83/8.84/8.85/8.86/8.87/8.88/8.89/8.90/8.91/8.92/8.93/8.94/8.95/8.96/8.97/8.98/8.99/9.00/9.01/9.02/9.03/9.04/9.05/9.06/9.07/9.08/9.09/9.10/9.11/9.12/9.13/9.14/9.15/9.16/9.17/9.18/9.19/9.20/9.21/9.22/9.23/9.24/9.25/9.26/9.27/9.28/9.29/9.30/9.31/9.32/9.33/9.34/9.35/9.36/9.37/9.38/9.39/9.40/9.41/9.42/9.43/9.44/9.45/9.46/9.47/9.48/9.49/9.50/9.51/9.52/9.53/9.54/9.55/9.56/9.57/9.58/9.59/9.60/9.61/9.62/9.63/9.64/9.65/9.66/9.67/9.68/9.69/9.70/9.71/9.72/9.73/9.74/9.75/9.76/9.77/9.78/9.79/9.80/9.81/9.82/9.83/9.84/9.85/9.86/9.87/9.88/9.89/9.90/9.91/9.92/9.93/9.94/9.95/9.96/9.97/9.98/9.99/10.00/10.01/10.02/10.03/10.04/10.05/10.06/10.07/10.08/10.09/10.10/10.11/10.12/10.13/10.14/10.15/10.16/10.17/10.18/10.19/10.20/10.21/10.22/10.23/10.24/10.25/10.26/10.27/10.28/10.29/10.30/10.31/10.32/10.33/10.34/10.35/10.36/10.37/10.38/10.39/10.40/10.41/10.42/10.43/10.44/10.45/10.46/10.47/10.48/10.49/10.50/10.51/10.52/10.53/10.54/10.55/10.56/10.57/10.58/10.59/10.60/10.61/10.62/10.63/10.64/10.65/10.66/10.67/10.68/10.69/10.70/10.71/10.72/10.73/10.74/10.75/10.76/10.77/10.78/10.79/10.80/10.81/10.82/10.83/10.84/10.85/10.86/10.87/10.88/10.89/10.90/10.91/10.92/10.93/10.94/10.95/10.96/10.97/10.98/10.99/11.00/11.01/11.02/11.03/11.04/11.05/11.06/11.07/11.08/11.09/11.10/11.11/11.12/11.13/11.14/11.15/11.16/11.17/11.18/11.19/11.20/11.21/11.22/11.23/11.24/11.25/11.26/11.27/11.28/11.29/11.30/11.31/11.32/11.33/11.34/11.35/11.36/11.37/11.38/11.39/11.40/11.41/11.42/11.43/11.44/11.45/11.46/11.47/11.48/11.49/11.50/11.51/11.52/11.53/11.54/11.55/11.56/11.57/11.58/11.59/11.60/11.61/11.62/11.63/11.64/11.65/11.66/11.67/11.68/11.69/11.70/11.71/11.72/11.73/11.74/11.75/11.76/11.77/11.78/11.79/11.80/11.81/11.82/11.83/11.84/11.85/11.86/11.87/11.88/11.89/11.90/11.91/11.92/11.93/11.94/11.95/11.96/11.97/11.98/11.99/12.00/12.01/12.02/12.03/12.04/12.05/12.06/12.07/12.08/12.09/12.10/12.11/12.12/12.13/12.14/12.15/12.16/12.17/12.18/12.19/12.20/12.21/12.22/12.23/12.24/12.25/12.26/12.27/12.28/12.29/12.30/12.31/12.32/12.33/12.34/12.35/12.36/12.37/12.38/12.39/12.40/12.41/12.42/12.43/12.44/12.45/12.46/12.47/12.48/12.49/12.50/12.51/12.52/12.53/12.54/12.55/12.56/12.57/12.58/12.59/12.60/12.61/12.62/12.63/12.64/12.65/12.66/12.67/12.68/12.69/12.70/12.71/12.72/12.73/12.74/12.75/12.76/12.77/12.78/12.79/12.80/12.81/12.82/12.83/12.84/12.85/12.86/12.87/12.88/12.89/12.90/12.91/12.92/12.93/12.94/12.95/12.96/12.97/12.98/12.99/13.00/13.01/13.02/13.03/13.04/13.05/13.06/13.07/13.08/13.09/13.10/13.11/13.12/13.13/13.14/13.15/13.16/13.17/13.18/13.19/13.20/13.21/13.22/13.23/13.24/13.25/13.26/13.27/13.28/13.29/13.30/13.31/13.32/13.33/13.34/13.35/13.36/13.37/13.38/13.39/13.40/13.41/13.42/13.43/13.44/13.45/13.46/13.47/13.48/13.49/13.50/13.51/13.52/13.53/13.54/13.55/13.56/13.57/13.58/13.59/13.60/13.61/13.62/13.63/13.64/13.65/13.66/13.67/13.68/13.69/13.70/13.71/13.72/13.73/13.74/13.75/13.76/13.77/13.78/13.79/13.80/13.81/13.82/13.83/13.84/13.85/13.86/13.87/13.88/13.89/13.90/13.91/13.92/13.93/13.94/13.95/13.96/13.97/13.98/13.99/14.00/14.01/14.02/14.03/14.04/14.05/14.06/14.07/14.08/14.09/14.10/14.11/14.12/14.13/14.14/14.15/14.16/14.17/14.18/14.19/14.20/14.21/14.22/14.23/14.24/14.25/14.26/14.27/14.28/14.29/14.30/14.31/14.32/14.33/14.34/14.35/14.36/14.37/14.38/14.39/14.40/14.41/14.42/14.43/14.44/14.45/14.46/14.47/14.48/14.49/14.50/14.51/14.52/14.53/14.54/14.55/14.56/14.57/14.58/14.59/14.60/14.61/14.62/14.63/14.64/14.65/14.66/14.67/14.68/14.69/14.70/14.71/14.72/14.73/14.74/14.75/14.76/14.77/14.78/14.79/14.80/14.81/14.82/14.83/14.84/14.85/14.86/14.87/14.88/14.89/14.90/14.91/14.92/14.93/14.94/14.95/14.96/14.97/14.98/14.99/15.00/15.01/15.02/15.03/15.04/15.05/15.06/15.07/15.08/15.09/15.10/15.11/15.12/15.13/15.14/15.15/15.16/15.17/15.18/15.19/15.20/15.21/15.22/15.23/15.24/15.25/15.26/15.27/15.28/15.29/15.30/15.31/15.32/15.33/15.34/15.35/15.36/15.37/15.38/15.39/15.40/15.41/15.42/15.43/15.44/15.45/15.46/15.47/15.48/15.49/15.50/15.51/15.52/15.53/15.54/15.55/15.56/15.57/15.58/15.59/15.60/15.61/15.62/15.63/15.64/15.65/15.66/15.67/15.68/15.69/15.70/15.71/15.72/15.73/15.74/15.75/15.76/15.77/15.78/15.79/15.80/15.81/15.82/15.83/15.84/15.85/15.86/15.87/15.88/15.89/15.90/15.91/15.92/15.93/15.94/15.95/15.96/15.97/15.98/15.99/16.00/16.01/16.02/16.03/16.04/16.05/16.06/16.07/16.08/16.09/16.10/16.11/16.12/16.13/16.14/16.15/16.16/16.17/16.18/16.19/16.20/16.21/16.22/16.23/16.24/16.25/16.26/16.27/16.28/16.29/16.30/16.31/16.32/16.33/16.34/16.35/16.36/16.37/16.38/16.39/16.40/16.41/16.42/16.43/16.44/16.45/16.46/16.47/16.48/16.49/16.50/16.51/16.52/16.53/16.54/16.55/16.56/16.57/16.58/16.59/16.60/16.61/16.62/16.63/16.64/16.65/16.66/16.67/16.68/16.69/16.70/16.71/16.72/16.73/16.74/16.75/16.76/16.77/16.78/16.79/16.80/16.81/16.82/16.83/16.84/16.85/16.86/16.87/16.88/16.89/16.90/16.91/16.92/16.93/16.94/16.95/16.96/16.97/16.98/16.99/17.00/17.01/17.02/17.03/17.04/17.05/17.06/17.07/17.08/17.09/17.10/17.11/17.12/17.13/17.14/17.15/17.16/17.17/17.18/17.19/17.20/17.21/17.22/17.23/17.24/17.25/17.26/17.27/17.28/17.29/17.30/17.31/17.32/17.33/17.34/17.35/17.36/17.37/17.38/17.39/17.40/17.41/17.42/17.43/17.44/17.45/17.46/17.47/17.48/17.49/17.50/17.51/17.52/17.53/17.54/17.55/17.56/17.57/17.58/17.59/17.60/17.61/17.62/17.63/17.64/17.65/17.66/17.67/17.68/17.69/17.70/17.71/17.72/17.73/17.74/17.75/17.76/17.77/17.78/17.79/17.80/17.81/17.82/17.83/17.84/17.85/17.86/17.87/17.88/17.89/17.90/17.91/17.92/17.93/17.94/17.95/17.96/17.97/17.98/17.99/18.00/18.01/18.02/18.03/18.04/18.05/18.06/18.07/18.08/18.09/18.10/18.11/18.12/18.13/18.14/18.15/18.16/18.17/18.18/18.19/18.20/18.21/18.22/18.23/18.24/18.25/18.26/18.27/18.28/18.29/18.30/18.31/18.32/18.33/18.34/18.35/18.36/18.37/18.38/18.39/18.40/18.41/18.42/18.43/18.44/18.45/18.46/18.47/18.48/18.49/18.50/18.51/18.52/18.53/18.54/18.55/18.56/18.57/18.58/18.59/18.60/18.61/18.62/18.63/18.64/18.65/18.66/18.67/18.68/18.69/18.70/18.71/18.72/18.73/18.74/18.75/18.76/18.77/18.78/18.79/18.80/18.81/18.82/18.83/18.84/18.85/18.86/18.87/18.88/18.89/18.90/18.91/18.92/18.93/18.94/18.95/18.96/18.97/18.98/18.99/19.00/19.01/19.02/19.03/19.04/19.05/19.06/19.07/19.08/19.09/19.10/19.11/19.12/19.13/19.14/19.15/19.16/19.17/19.18/19.19/19.20/19.21/19.22/19.23/19.24/19.25/19.26/19.27/19.28/19.29/19.30/19.31/19.32/19.33/19.34/19.35/19.36/19.37/19.38/19.39/19.40/19.41/19.42/19.43/19.44/19.45/19.46/19.47/19.48/19.49/19.50/19.51/19.52/19.53/19.54/19.55/19.56/19.57/19.58/19.59/19.60/19.61/19.62/19.63/19.64/19.65/19.66/19.67/19.68/19.69/19.70/19.71/19.72/19.73/19.74/19.75/19.76/19.77/19.78/19.79/19.80/19.81/19.82/19.83/19.84/19.85/19.86/19.87/19.88/19.89/19.90/19.91/19.92/19.93/19.94/19.95/19.96/19.97/19.98/19.99/20.00/20.01/20.02/20.03/20.04/20.05/20.06/20.07/20.08/20.09/20.10/20.11/20.12/20.13/20.14/20.15/20.16/20.17/20.18/20.19/20.20/20.21/20.22/20.23/20.24/20.25/20.26/20.27/20.28/20.29/20.30/20.31/20.32/20.33/20.34/20.35/20.36/20.37/20.38/20.39/20.40/20.41/20.42/20.43/20.44/20.45/20.46/20.47/20.48/20.49/20.50/20.51/20.52/20.53/20.54/20.55/20.56/20.57/20.58/20.59/20.60/20.61/20.62/20.63/20.64/20.65/20.66/20.67/20.68/20.69/20.70/20.71/20.72/20.73/20.74/20.75/20.76/20.77/20.78/20.79/20.80/20.81/20.82/20.83/20.84/20.85/20.86/20.87/20.88/20.89/20.90/20.91/20.92/20.93/20.94/20.95/20.96/20.97/20.98/20.99/21.00/21.01/21

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Tamer ÇANKAYA
Doğum Tarihi ve Yeri : 25 Eylül 1986- Bursa
E-posta : tamer.cankaya@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2015, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği (Tezsiz)
- **Yüksek Lisans** : Devam Ediyor, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Mühendisliği ve Yönetimi

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 09.2009-03.2011 arasında TransAtlantic Petroleum Şirketinde Teknik Asistan ve Saha Mühendisi olarak çalıştı.
- 04.2012-10.2017 arasında Kilsan Kil San. ve Tic. A.Ş.'de Çevre, Enerji ve İş Güvenliği yönetim sorumlusu olarak çalıştı.
- 11.2017 itibariyle Borçelik Şirketinde İş Güvenliği Uzmanı olarak çalışmaya devam ediyor.