



KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

e-ISSN 1309-1751

Mühendislik Bilimleri Dergisi Journal of Engineering Sciences

2019

SAYI / NUMBER : 2
CILT / VOLUME : 22



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Yazışma Adresi / Corresponding Address

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi
46050, Onikişubat/Kahramanmaraş
TÜRKİYE

E - Posta

jes@ksu.edu.tr

Web

<http://jes.ksu.edu.tr/>

Bu dergi hakemli olup yılda 4 kez yayınlanır.

This journal is peer - reviewed and published 4 issues per year.



Sahibi / Owner

Prof.Dr. Niyazi CAN
KSU Rector

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ
htemiz@ksu.edu.tr

Baş Editör Yardımcısı / Vice Editor in Chief

Assist. Prof. Dr. Ö. Fatih KEÇECİOĞLU
fkececioglu@ksu.edu.tr

Editörler / Editors

Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ

Electrical and Electronics Eng.
asyilmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet KAYA

Mechanical Eng.
kaya38@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Hasan BADEM

Computer Eng.
hbadem@ksu.edu.tr

Prof.Dr. Özlem TURGAY

Food Eng.
ozlem@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet ALKAN

Electrical and Electronics Eng.
aalkan@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Beril ÖZÇELİK

Mechanical Eng.
bozcelik@ksu.edu.tr

Assist.Prof.Dr. Yakup CUCİ

Environmental Eng.
cuci@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU

Landscape Arc.
fmengelo@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet ÜNSAL

Civil Eng.

munsal@ksu.edu.tr

Assoc. Prof.Dr. Tamer RIZAOĞLU

Geological Eng.
tamer@ksu.edu.tr

Assoc.Prof.Dr. Suat ÇETİNER

Textile Eng.

suatcetiner@ksu.edu.tr

Lecturer Ahmet GANI

Technical Editor
agani@ksu.edu.tr

Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Cetin Kaya KOC

Dep. of Computer Eng. Univ Of
Cal. Santa Barbara. USA
koc@cs.ucsb.edu

Prof. Dr. Ayhan ÖZDEMİR

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
Sakarya Univ. Sakarya,
TURKEY
aozdemir@sakarya.edu.tr

Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Dep. of Mechanical Eng. ÇU Univ.
Adana, TURKEY
hakilli@cu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet KORÜREK

Dep. Of Elcn & Comm Eng. İTU
Univ. İstanbul. TURKEY
korurek@itu.edu.tr

Prof. Dr. Yasemin KORKMAZ

Dep. of Textile Eng.
KSU Univ. TURKEY
yorkmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet PINARBAŞI

Dep. of Mechanical Eng.
Alanya Alaaddin Keykubat
Univ. Antalya, TURKEY
apinarbasi@alanya.edu.tr

Prof. Dr. S. Serhat ŞEKER

Dep. Of Elect. Eng.
İTU Univ. İstanbul. TURKEY
sekers@itu.edu.tr

Prof. Dr. Şerafettin EREL

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
YBU Univ. Ankara, TURKEY
serel@ybu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mustafa ONAT

Dep. of Computer Eng. Marmara
Univ. İstan. TURKEY
monat@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Eyüp DEBİK

Dep. of Environmental Eng.
Yıldız Technical Univ. İstanbul.
TURKEY
debik@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Fan MIZI

Dep. of Civil Eng.
Brunel Univ.Uxbridge,UK
mizi.fan@brunel.ac.uk

Prof. Dr. A. Fevzi BABA

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ. İst., TURKEY
fbaba@marmara.edu.tr

Dr. Amit CHAUDHRY

Dep. of Microelectronics Panjab
Univ, Chandigarh , India
amit_chaudhry01@yahoo.com

Assist. Prof. Dr. Nazmi EKREN

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ. İstanbul,
TURKEY
nekren@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Dep. of Physics Education. KSU
Univ. K.Maras. TURKEY
yazici@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Selim AY

Dep. Of Elect. Eng.
YTU Univ. İstanbul. TURKEY
selimay@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Musa GÖĞEBAKAN

Dep. of Physics KSU Univ.
K.Maras, TURKEY
gogebakan@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Murat PALA

Dep. of Civil Eng. Adiyaman Univ.
Adiyaman. TURKEY
pala@adiyaman.edu.tr

Prof. Dr. İ.Taner OKUMUŞ

Dep. of Computer Eng
KSU Univ. K.Maras. TURKEY
iokumus@ksu.edu.tr



İÇİNDEKİLER

Potasyum Borhidrürün Kızılçam Kağıt Hamuru Özellikleri Üzerine Etkileri Mustafa ÇİÇEKLER, Ahmet TUTUŞ	38 - 47
Kızılırmak Nehri (Nevşehir) Yüzey Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi Seval ARAS, Güneş Gonca İPEK	48 - 57
Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikro Kirlenmelerin Arıtılabilirliği Şeyma AKKURT, Merve OĞUZ	58 - 77
Modeling of Photovoltaic Panels Using Matlab/Simulink Bassil Alhamed ALDWIHI, Metin SALİHMUHSİN	78 - 87



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 06.02.2019
Kabul Tarihi: 18.04.2019

Received Date : 06.02.2019
Accepted Date : 18.04.2019

POTASYUM BORHİDRÜRÜN KIZILÇAM KAĞIT HAMURU ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

EFFECTS OF POTASSIUM BOROHYDRIDE ON THE *PINUS BRUTIA* PULP PROPERTIES

Mustafa ÇİÇEKLER^{1,*}, Ahmet TUTUŞ¹

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 46040, Onikişubat/Kahramanmaraş

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mustafa ÇİÇEKLER, mcicekler87@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada kızılçam (*Pinus brutia*) odun yongalarından kağıt hamuru üretiminde pişirme çözeltilisine ilave edilen potasyum borhidrürün (KBH₄) kağıt hamuru özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Optimum pişirme koşulunun belirlenmesi için farklı koşullarda 36 adet pişirme denemesi yapılmıştır. Üretilen kağıt hamurlarının kimyasal, fiziksel ve optik özellikleri belirlenmiş ve KBH₄'ün bu özellikler üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, pişirme çözeltilisine %7 KBH₄ ilavesi ile toplam verim %8.4 ve viskozite %6.4 oranlarında artarken kapa numarası ise 37.8'den 32'ye düşmüştür. Üretilen kağıtların parlaklık derecesi, kopma uzunluğu, patlama ve yırtılma indisleri ise sırasıyla %12.2, %8.4, %30.4 ve %21.6 oranlarında artmıştır. Sonuç olarak, kızılçam odunlarından kraft yöntemi ile kağıt hamuru üretiminde pişirme çözeltilisine ilave edilen KBH₄'ün hamur ve kağıt özellikleri üzerine olumlu yönde etkiler gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: kızılçam, potasyum borhidrür, kağıt hamuru, kraft

ABSTRACT

In this study, the effects of potassium borohydride (KBH₄) added to cooking liquor on the pulp properties of ponderosa (*Pinus brutia*) were investigated. In order to determine the optimum cooking condition, 36 cooking trials were carried out under different conditions. The chemical, physical and optical properties of the pulps were determined and the effects of KBH₄ on these properties were investigated. As a result of the study, with the addition of 7% KBH₄ to the cooking liquor, the total yield and viscosity values were increased by 8.4% and 6.4%, respectively, and the kappa number decreased from 37.8 to 32. The brightness, breaking length, burst and tear indices of the papers were also increased by 12.2%, 8.4%, 30.4% and 21.6%, respectively. As a result, it was determined that KBH₄ added to the cooking liquor in the pulp production from ponderosa showed positive effects on the pulp properties.

Keywords: Pinus brutia, potassium borohydride, pulp, kraft

GİRİŞ

Kimyasal kağıt hamuru üretim yöntemlerinden biri olan sülfat yöntemi dünyada en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde amaç lifleri bir arada tutan ve büyük bir kısmını ligninin oluşturduğu orta lameli kimyasal yolla çözerek lifleri bireysel hale getirmektir. Bu sayede lifler daha esnek bir hal almış olur (Casey, 1979; Smook, 1992). Sülfat yöntemine aynı zamanda kraft yöntemi de denilmektedir. Bunun nedeni sülfat yöntemi ile üretilen kağıt hamurlarının daha sağlam olması ve kraft kelimesinin Almanca ve İsveççe dillerinde “güçlü-sağlam” anlamına gelmesidir (Kırcı, 2003). Kraft yönteminin en önemli avantajlarından birisi kızılçam gibi reçine içeriği oldukça yüksek olan odun türlerinin pişirilmesinde reçineden kaynaklı sorunların yaşanmamasıdır. Ancak, diğer pişirme yöntemleri ile karşılaştırıldığında kraft yöntemi ile üretilen kağıt hamurları daha koyu renkte olmaktadır (Huş, 1969; Eroğlu, 1986; Kırcı, 2003).

Son zamanlarda gelişen teknolojiler ile kraft pişirmelerinde verim açısından ilerlemeler kaydedilmiştir. Bunun başlıca sebepleri ise pişirme işlemlerinde düşük sıcaklık ve alkali oranı kullanılarak ikincil soyulma reaksiyonunu minimize etmektedir. Ancak, verim artışı sağlamak için kullanılan yöntemler her ne olursa olsun, kağıt hamurunun direnç özelliklerini ters yönde etkileyebileceği de unutulmamalıdır (Gülsoy & ark., 2016). Bu nedenle, pişirme işlemlerinde verim artışlarını sağlamak ve kağıt hamuru özelliklerini iyileştirmek için çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasallar genellikle soda ve kraft gibi alkali koşullarda yapılan pişirmelerde meydana gelen soyulma reaksiyonlarını durdurmak için kullanılmaktadır. Zira soyulma reaksiyonu ile selüloz zincirlerinde kısalmalar meydana gelmekte olup verim ve fiziksel özellikler üzerinde olumsuz etkiler meydana gelmektedir.

Pişirme esnasında aldehit uç grupların indirgenmeye elverişlidir, ancak ekonomiklik açısından çok uygun değildir. Bu amaçla borlu bileşikler ve antrakinon (AQ) gibi katkı maddeleri kullanılabilir. Ancak verim artırma işlemleri aynı zamanda kimyasal maliyetini de arttırmaktadır. Soyulma reaksiyonunu durdurmak için birçok denemeler yapılmakta ve halen çok sayıda çalışmaya konu olmaktadır (Gülsoy ve Eroğlu, 2011). Borlu bileşiklerden sodyum borhidrür (NaBH_4) katkı maddesinin kağıt hamurları üzerine etkisini araştıran birçok çalışma yapılmış ve kağıt hamurları üzerine olumlu bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Pettersson & Rydholm, 1961; Meller, 1963; Khaustova & ark., 1971; Akgül & Temiz, 2006; İstek & Özkan, 2008; Tutuş & ark., 2012).

Potasyum borhidrür (KBH_4), birçok alanda NaBH_4 'ün yerine kullanılmaktadır. Özel olarak, tekstil boyalarının, antibiyotiklerin, steroid preparatlarının, vitaminlerin, üretiminde indirgeyici olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, organik bileşiklerdeki OH- gruplarının korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Kağıt hamuru üretiminde yapılan çalışmaların neredeyse tamamında NaBH_4 kullanılmıştır. KBH_4 'ün kullanımı ise çok yenidir (Çiçekler, 2019). KBH_4 güçlü bir indirgen olduğu için pişirme ortamındaki verim kayıplarını önlemektedir. Pişirme işlemi sırasında KBH_4 selüloz zincirinin indirgen uçlarındaki karbonil grubunu hidroksil grubuna indirgeyerek oluşabilecek soyulma reaksiyonunu önlemektedir. Oluşan bu reaksiyon sadece selülozda değil bunun yanında hemiselülozlarda da görülmektedir. Dolayısı ile soyulma reaksiyonundan kaynaklanan verim kaybı önlenmekte ve elde edilen hamurun verimi artmaktadır (Akgül & Temiz, 2006; İstek & Özkan, 2008).

Bu çalışmada, kızılçam yongalarından KBH_4 ilaveli kraft yöntemi ile kağıt hamurları üretilmiş ve pişirme ortamına ilave edilen KBH_4 'ün üretilen hamur ve kağıt özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada odun hammaddesi olarak ülkemizde geniş bir yayılış alanına sahip olan ve Kahramanmaraş-Ahır Dağı'ndan temin edilen kızılçam odunu kullanılmıştır. Kızılçam odununun seçiminde, budaklı, böcek zararına uğramış, çürük ve anormal gelişme göstermiş odunların alınmamasına dikkat edilmiştir. Kızılçam odunu 20-30 mm boyunda, 15-25 mm genişliğinde ve 3-8 mm kalınlığında yongalanarak pişirme işlemine hazır hale getirilmiştir.

Kızılçam Odununun Kimyasal İçeriğinin ve Lif Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Kağıt hamuru üretiminde kullanılan kızılçam odun yongaları küçük parçalara getirilmiş ve TAPPI T257 om-85 standardına göre bir değirmende öğütülerek 40 mesh (425μ) ve 60 mesh (250μ)'lik eleklerden elenmiş ve 60 mesh elek üzerinde kalan örnekler rutubetleri belirlenerek kimyasal analizlerde kullanılmak üzere depolanmıştır (Anonim, 1992).

Daha sonra kullanılan odun hammaddesinin bazı kimyasal ve çözünürlük özellikleri aşağıda belirtilen ilgili standartlara göre yapılmıştır.

- Holoselüloz oranı: Wise'nin klorit metodu (Wise & Karl, 1962).
- Selüloz oranı: Kürschner-Hoffer metodu (Kürschner and Hoffer, 1969).
- Lignin oranı: TAPPI T222 om-98 (Anonim, 1992).
- Alfa selüloz oranı: TAPPI T203 om-93 (Anonim, 1992).
- Kül oranı: TAPPI T211 om-02 (Anonim, 1992).
- Toluen-Aseton-Etanol çözünürlük oranı : (Anonim, 2007)
- Soğuk ve sıcak suda çözünürlük oranı: TAPPI T207 om-93 (Anonim, 1992).
- % 1 lik NaOH'de çözünürlük oranı: TAPPI T 212 om-02 (Anonim, 1992).

Kızılçam odununun lif morfolojik özelliklerinden lif uzunluğunu, lif genişliğini, çeper kalınlığını ve lümen çapını belirlemek için önce örneklere klorit maserasyon metodu uygulanmış ve lifler bireysel hale getirilmiştir (Spearin ve Isenberg, 1947). Masere edilen liflerden preperatlar hazırlanmış ve ölçümler Olympus BX-51 marka ekranlı mikroskopta yapılmıştır.

Kağıt Hamuru Üretim Koşulları

Kızılçam yongalarının pişirme işlemleri elektrik ile ısıtılan, yüksek basınca dayanıklı, dakikada yaklaşık 4 tam tur dönebilen, otomatik kontrol panosu ile sıcaklığı kontrol edilebilen 15 lt kapasiteye sahip kesintili üretim yapan pişirme kazanı kullanılmıştır. Her bir pişirme işleminde 500 gr tam kuru kızılçam yongası kullanılmış ve doldurma işlemleri el ile yapılmıştır. Pişirme işleminde sıcaklık termometre vasıtasıyla kontrol edilerek $\pm 2-5$ °C hassasiyetle çalışılmıştır. Kızılçam yongalarına uygulanan pişirme koşulları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kızılçam Yongalarına Uygulanan Kraft-KBH₄ Pişirme Koşulları

Pişirme Koşulları	Değerler
Aktif Alkali Oranı (%)	20, 22, 24
Sülfidite Oranı (%)	23, 25, 27
Toplam Titre Edilebilir Aktif Alkali Oranı (%)	26
Potasyum Borhidrür (KBH ₄) Oranı (%)	0, 0.3, 0.5, 0.7
Sıcaklık (°C)	160
Maksimum Sıcaklığa Çıkış Süresi (dk)	40
Süre (dk)	120
Çözelti/Yonga oranı	5/1

Pişirme sonucu elde edilen hamurlar 200 mesh’lik elek üzerinde siyah çözelti uzaklaşmaya kadar yıkanmıştır. Kimyasallardan arındırılmış kağıt hamurları laboratuvar tipi hamur disintegratöründe belli bir konsantrasyonda 10 dakika süreyle açılarak, yarık açıklığı 0.15 mm olan sarsıntılı ve vakumlu kağıt hamuru eleğinde elenerek pişmeyen kısımların ayrılmıştır. Elek artığı ve elenmiş hamurların rutubeti TAPPI T 210 cm-86 standart metoduna göre belirlenerek pişirme verimi hesaplanmıştır. Kağıt hamurlarının kappa numaraları ve viskozite değerleri sırasıyla TAPPI T236 om-12 ve T230 om-08 standartlarına göre belirlenmiştir.

Kağıt Üretimi ve Testleri

Kızılçam yongalarından elde edilen kağıt hamurları test kağıdı formasyonu öncesinde 10 lt kapasiteli karıştırıcıda belirli kesafette homojen olarak karıştırılmış ve serbestlik dereceleri ISO 5267-1 (Anonim, 1999) metoduna göre Schopper Riegler aleti kullanılarak belirlenmiştir. Kağıt hamurları Hollander cihazında 50 ± 5 SR^o derecesinde dövüldükten sonra Rapid Köthen RK-21 laboratuvar tipi kağıt makinesinde 70 (gr/m²) gramajında test kağıtları üretilmiştir.

Elde edilen test kağıtları TAPPI T402 om-88 standardına (Anonim, 1992) göre sıcaklığı 23 ± 1 °C ve bağıl nemi 50 ± 2 olan kondisyon odasında 24 saat kondisyonlandıktan sonra aşağıdaki standartlara bağlı kalınarak Tablo 2’de verilen fiziksel ve optik testlere tabi tutulmuştur.

Tablo 2. Kağıtlara Uygulanan Fiziksel ve Optik Testler ile Kullanılan Standartlar

Fiziksel ve Optik Özellikler	Standartlar
Kopma Uzunluğu (km)	TAPPI T 494 om-01
Patlama İndisi (kPa m ² /gr)	TAPPI T 403 om-91
Yırtılma İndisi (mN.m ² .gr)	TAPPI T 414 om-88
Parlaklık (%ISO)	ISO/DIS 2470
Sarıklık (E313)	ASTM E313

Her bir pişirmeden 10 adet test kağıdı üretilmiş ve fiziksel ve optik testlere tabi tutulmuştur. Pişirme koşullarının kağıtların optik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi ve duncan testi ayrıca uygulanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA***Kızılçam Odununun Kimyasal İçeriği ve Lif Morfolojik Özelliklerine Ait Bulgular***

Kızılçam odununun ve diğer odun türlerinin kimyasal içerikleri Tablo 3'te verilmiştir. Bu çalışmada kızılçam odunu için tespit edilen kimyasal analiz sonuçları daha önce yapılmış olan çalışmalar ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların literatürdeki değerlerle benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3. Kızılçam Odunu ve Bazı Odunlara Ait Kimyasal Bileşen Oranları

Odun Türleri	Kimyasal Bileşenler ve Çözünürlükler (%)									Kaynaklar
	Holoseülüz	Selüloz	Alfa Selüloz	Lignin	Kül	Ekstraktifler	%1'lik NaOH	Sıcak su	Soğuk su	
Kızılçam	76.64	52.62	45.76	25.16	0.52	5.99	14.90	3.15	2.42	Tespit
Sarıçam	73.67	46.85	-	28.57	0.45	6.71	16.28	3.82	3.42	Tutuş & ark., 2010
Kızılçam	78.64	54.24	48.56	27.60	0.48	7.65	14.49	2.19	1.14	Tutuş & ark., 2012
Karaçam	67.46	-	44.60	25.60	-	4.28	9.43	1.69	1.29	Ataç, 2009
İğne Yapraklı A.	63-74	55-61	-	25-32	0.2-0.5	1-5.8	8-10	1-5	0.5-4	Kırcı, 2003
Yapraklı Ağaçlar	72-82	38-55	-	18-26	0.2-0.7	1-6.2	12-25	1-8	0.2-4	Kırcı, 2003

Yapılan bu çalışmada kızılçam odununun holoseülüz, selüloz ve lignin içeriği sırasıyla %76.64, %52.62 ve %25.16 olarak tespit edilmiştir. Aşağıda Tablo 4'te kızılçam odunu ve bazı diğer türlerin lif morfolojik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4. Kızılçam Odunu ve Bazı Türlerin Lif Morfolojik Özellikleri

Türler	Lif Boyu (mm)	Lif genişliği (µm)	Çeper Kalınlığı (µm)	Lümen Çapı (µm)	Kaynaklar
Kızılçam	3.30	38.63	8.54	21.55	Tespit
Kızılçam	2.85	52.05	8.21	35.63	Gürboy, 2007
Karaçam	3.88	46.90	7.65	31.60	İstek ve ark., 2008
Sahil Çamı	2.99	47.48	5.79	35.89	İstek ve ark., 2009
İğne Yapraklı A.	2.7-4.6	32-43	-	-	Atchison, 1987
Yapraklı Ağaç	0.7-1.6	20-40	-	-	Atchison, 1987

Kağıt hamuru ve kağıt özelliklerinde kimyasal içerik kadar kullanılan hammaddenin lif morfolojik özellikleri de oldukça etkilidir (Bozkurt & Erdin, 1989; Serin & ark., 2017). Tablo 4 incelendiğinde, kızılçam odununun diğer türler için yapılan çalışmalar ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Kızılçam Kağıt Hamurlarına Ait Bulgular

Aşağıda Tablo 5'te kızılçam yongalarından Kraft-KBH₄ yöntemi ile 36 farklı pişirme deneyinden üretilen kağıt hamurlarının verim, kimyasal, fiziksel ve optik özellikleri verilmiştir. Yapılan Varyans analizi ve Duncan testi sonuçlarına göre kızılçam yongalarından Kraft-KBH₄ yöntemi ile optimum pişirme koşulu aktif alkali oranının %20, sülfidite oranının %27 ve KBH₄ oranının %0.7 olduğu pişirme deneyinden elde edilmiştir. KBH₄'ün kağıt hamuru özellikleri üzerine etkisini belirlemek optimum koşuldaki bu oranlar dikkate alınmıştır.

Tablo 5. Kızılçam Yongalarından Kraft-KBH₄ Yöntemiyle Elde Edilen Kağıt Hamurlarının Özellikleri ve Duncan Test Sonuçları

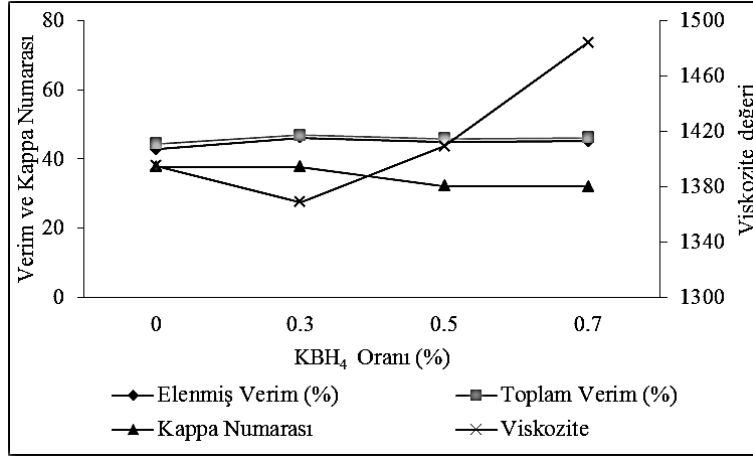
Özellikler	Aktif Alkali Oranı (%)		Sülfidite oranı (%)		KBH ₄ Oranı (%)	
Elenmiş Verim (%)	20.00	*44.79a	23.00	*43.78a	0.00	42.60b
	22.00	43.56b	25.00	43.43a	0.30	43.54ab
	24.00	42.62c	27.00	43.77a	0.50	44.08a
	-	-	-	-	0.70	*44.41a
Elek Artığı (%)	20.00	0.89b	23.00	0.43a	0.00	0.62a
	22.00	0.22a	25.00	*0.41a	0.30	*0.32a
	24.00	*0.20a	27.00	0.47a	0.50	0.39a
	-	-	-	-	0.70	0.41a
Toplam verim (%)	20.00	*45.68a	23.00	44.21a	0.00	43.23c
	22.00	43.78b	25.00	43.84a	0.30	43.86bc
	24.00	42.82c	27.00	*44.24a	0.50	44.46ab
	-	-	-	-	0.70	*44.82a
Kappa Numarası	20.00	37.86a	23.00	40.15a	0.00	41.33b
	22.00	41.82b	25.00	38.69a	0.30	39.36ab
	24.00	*37.67a	27.00	*38.52a	0.50	38.56ab
	-	-	-	-	0.70	*37.23a
Viskozite (cm ³ /g)	20.00	*1369c	23.00	1.259a	0.00	1267a
	22.00	1282b	25.00	1.243a	0.30	1257a
	24.00	1173a	27.00	*1.323a	0.50	*1294a
	-	-	-	-	0.70	1282a
Kopma Uzunluğu (km)	20.00	*7.16a	23.00	6.82a	0.00	6.68b
	22.00	6.81ab	25.00	6.80a	0.30	6.6b
	24.00	6.65b	27.00	*7.01a	0.50	7.07a
	-	-	-	-	0.70	*7.09a
Patlama İndisi (kPa.m ² g ⁻¹)	20.00	3.75a	23.00	3.81a	0.00	3.80b
	22.00	*3.98a	25.00	3.82a	0.30	3.73b
	24.00	3.86a	27.00	*3.95a	0.50	3.94a
	-	-	-	-	0.70	*3.97a
Yırtılma İndisi (mN.m ² .g ⁻¹)	20.00	*5.24a	23.00	5.15a	0.00	5.12a
	22.00	5.10a	25.00	*5.06a	0.30	4.97a
	24.00	4.90b	27.00	5.02a	0.50	5.02a
	-	-	-	-	0.70	*5.20a
Parlaklık (%ISO)	20.00	*23.69a	23.00	*23.50a	0.00	22.53c
	22.00	22.86b	25.00	23.49a	0.30	23.39b
	24.00	23.56a	27.00	23.13a	0.50	23.54b
	-	-	-	-	0.70	*24.02a
Optimum Koşul	20.00		27.00		0.70	

**Aynı harflerle verilen ortalama değerler arasında Duncan testine göre önemli derecede farklılıklar bulunmamaktadır. “*” işareti ile gösterilen değerler kağıt hamuru özelliklerinde istenilen değerleri ifade etmektedir.

KBH₄ Kullanımının Kağıt Hamur Özellikleri Üzerine Etkileri

Kızılçam yongalarından Kraft-KBH₄ yöntemi ile üretilen kağıt hamurlarının verim, kappa ve viskozite değerleri üzerine KBH₄ oranının etkisini belirlemek için aktif alkali oranı %20, sülfidite oranı ise %27 (optimum pişirme esas alınmıştır) olarak sabit tutulmuştur. Bu verilere göre aşağıda Şekil 1’de KBH₄ oranının kızılçam yongalarından elde edilen kağıt hamurlarının özelliklerine etkisi verilmiştir.

Şekil 1’de, pişirme çözeltisine KBH₄ ilavesi sonucu hem elenmiş verim hem de toplam verimde belirli miktarda artışların olduğu gözlemlenmiştir. KBH₄ kimyasalı selüloz zincirlerinde meydana gelen soyulma reaksiyonlarını durdurma özelliğine sahip olduğu için elenmiş verimler üzerinde etkili olmuştur. KBH₄ kappa numaralarını belirli oranlarda düşürürken viskozite değerlerini de arttırmıştır. Yapılan çalışmalarda NaBH₄ kimyasalının pişirme ortamına belirli oranlarda eklenmesi ile elde edilen hamurların kappa numaralarında düşüş gözlemlenmiştir (Çöpür & Tozluoğlu, 2008; İstek & Gönteki, 2009; Gülsoy & Eroğlu, 2011). Bunun aksine Gürsoy ve arkadaşları, KBH₄ kullanımının kağıt hamurlarının kappa numaralarında artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir (Gülsoy & ark., 2016). Bu çalışmada ise ortama KBH₄ ilavesi ile kızılçam odunlarından elde edilen hamurların kappa numaraları 40’tan 37’ye yaklaşık %7.5 oranında düşmüştür.

Şekil 1. KBH₄ Oranının Kağıt Hamur Özellikleri Üzerine Etkisi

Aşağıda Tablo 6'da yapılan 36 pişirme deneyi sonucunda KBH₄ oranının kağıt hamurlarının verim, kappa numarası ve viskozite değerleri üzerine etkisini gösteren varyans analizi ve duncan testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 6. KBH₄ Oranının Kağıt Hamurlarının Özellikleri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analizi ve Duncan Testi Sonuçları

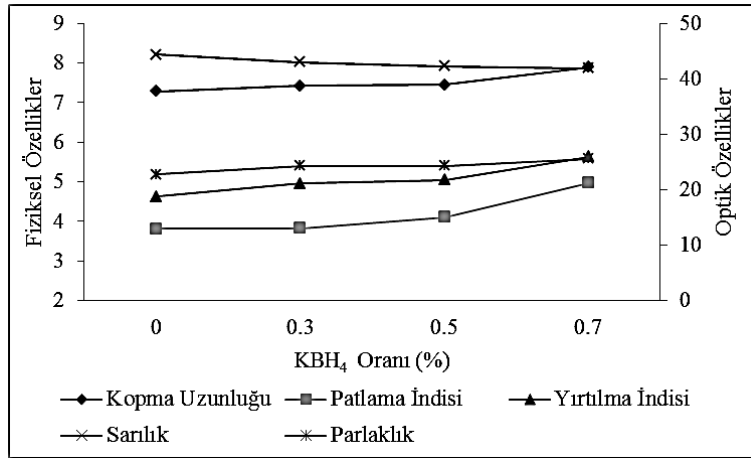
Özellikler	KBH ₄ Oranı (%)	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum	Sig.
Elenmiş Verim (%)	0.00	42.60b	0.82	41.80	44.27	.049
	0.30	43.54ab	1.56	41.48	46.18	
	0.50	44.08a	0.80	42.82	45.02	
	0.70	*44.41a	1.37	42.73	47.16	
Elek Artığı (%)	0.00	0.62a	0.61	0.07	1.56	.441
	0.30	*0.32a	0.22	0.05	0.71	
	0.50	0.39a	0.33	0.01	0.84	
	0.70	0.41a	0.36	0.02	0.93	
Toplam verim (%)	0.00	43.23c	1.25	41.99	45.50	.049
	0.30	43.86bc	1.69	41.86	46.89	
	0.50	44.46ab	1.05	42.83	45.80	
	0.70	*44.82a	1.61	43.34	48.09	
Kappa Numarası	0.00	41.33b	2.37	37.75	44.75	.038
	0.30	39.36ab	3.04	34.76	44.10	
	0.50	38.56ab	3.04	32.23	43.31	
	0.70	*37.23a	3.08	31.97	41.45	
Viskozite (cm ³ /g)	0.00	1267a	108	1111	1414	.897
	0.30	1257a	105	1088	1369	
	0.50	*1294a	103	1093	1419	
	0.70	1282a	128	1048	1484	

**Aynı harflerle verilen ortalama değerler arasında Duncan testine göre önemli derecede farklılıklar bulunmamaktadır. "*" işareti ile gösterilen değerler kağıt hamuru özelliklerinde istenilen değerleri ifade etmektedir.

Yapılan Varyans analizi sonuçlarına göre KBH₄ oranının elek artığı (p<0.441) ve viskozite değeri (p<897) hariç diğer özelliklerde anlamlı bir etkisinin olduğu yukarıdaki Tablo 7'de görülmektedir. Duncan testine göre elenmiş verim üzerinde KBH₄'ün %0 ile %0.3 ve %0.3, %0.5 ile %0.7 oranlarında, toplam verim üzerinde KBH₄'ün %0 ile %0.3, %0.3 ile %0.5 ve %0.5 ile %0.7 oranlarında, kappa numarası üzerinde ise %0, %0.3 ile %0.5 ve %0.3, %0.5 ile %0.7 oranlarında kullanımında %5 yanılma olasılığı sınırında belirgin farklılıkların olmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 2'de optimum pişirme koşulunda KBH₄ oranının elde edilen kağıtların fiziksel ve optik özelliklerine etkisi verilmiştir. KBH₄ oranının artması ile kağıtların fiziksel ve optik özelliklerinde iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir. Pişirme çözeltisine %0.7 oranında KBH₄ ilavesi ile optik özelliklerden parlaklık değeri yaklaşık %9 oranında artış

göstermiştir. Sarılık değerinde ise yaklaşık 1 birimlik bir düşüş meydana gelmiştir. Gülsoy ve arkadaşları, bir çalışmada sahil çamı odununa KBH_4 ilaveli kraft pişirmesi uygulamıştır. Elde ettikleri veriler doğrultusunda KBH_4 oranındaki artışa paralel olarak elde edilen kağıtların optik özelliklerinin arttığı vurgulanmaktadır (Gülsoy & ark., 2016).



Şekil 2. KBH_4 Oranının Kağıtların Fiziksel ve Optik Özellikleri Üzerine Etkisi

Gülsoy ve Şimşir (2017), eğrelti otlarının kimyasal içeriği, lif morfolojik özellikleri ve kağıt hamuru üretimi hakkında yapmış oldukları bir çalışmada pişirme işlemlerinde NaBH_4 ve KBH_4 (%0.5, 1, 1.5, 2) kullanmışlardır. Pişirme ortamına ilave edilen KBH_4 ve NaBH_4 kimyasalının kağıtların yırtılma mukavemeti hariç fiziksel ve optik özelliklerini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Yapılan birçok çalışmada, borlu bileşiklerin pişirme sırasında soyulma reaksiyonunu önleyerek karbonhidratların daha az zarar görmesini sağladığını ve bu nedenle de üretilen kağıtların fiziksel ve optik özelliklerinin iyileştiği bildirilmiştir (Akgül & ark., 2007; Çöpür & Tozluoğlu, 2008; İstek & Özkan, 2008; İstek & Gönteki, 2009; Gümüşkaya & ark., 2011; Erişir & ark., 2015; Gülsoy & ark., 2016).

Aşağıda Tablo 7’de yapılan 36 pişirme deneyi sonucunda KBH_4 oranının kızılçam yongalarından elde edilen kağıt hamurlarından üretilen kağıtların fiziksel ve optik özellikleri üzerine etkisini gösteren Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 7. KBH_4 Oranının Kağıtların Fiziksel ve Optik Özellikleri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analizi ve Duncan Testi Sonuçları

Özellikler	KBH_4 Oranı (%)	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum	Sig.
Kopma Uzunluğu (km)	0.00	6.68b	0.57	5.81	7.71	.018
	0.30	6.6b	0.42	5.84	7.45	
	0.50	7.07a	0.46	6.58	7.82	
	0.70	*7.09a	0.48	6.50	8.10	
	0.00	3.80b	0.37	3.12	4.55	
Patlama İndisi (kPa.m ² .g ⁻¹)	0.30	3.73b	0.29	3.12	3.99	.022
	0.50	3.94a	0.22	3.41	4.17	
	0.70	*3.97a	0.27	3.33	4.25	
Yırtılma İndisi (mN.m ² .g ⁻¹)	0.00	5.12a	0.32	4.75	5.78	.261
	0.30	4.97a	0.15	4.63	5.15	
	0.50	5.02a	0.24	4.57	5.46	
	0.70	*5.20a	0.28	4.85	5.67	
Parlaklık (%ISO)	0.00	22.53c	0.53	22.01	23.55	.000
	0.30	23.39b	0.89	22.22	25.07	
	0.50	23.54b	0.52	23.07	24.73	
	0.70	*24.02a	0.47	23.34	24.78	

**Aynı harflerle verilen ortalama değerler arasında Duncan testine göre önemli derecede farklılıklar bulunmamaktadır. “*” işareti ile gösterilen değerler kağıt hamuru özelliklerinde istenilen değerleri ifade etmektedir.

Yapılan Varyans analizi sonuçlarına göre KBH_4 oranının yırtılma indisi ($p < 0.261$) ve opaklık değeri ($p < 0.580$) hariç diğer özelliklerde anlamlı bir etkisinin olduğu yukarıdaki Tablo 7'de görülmektedir. Duncan testine göre kopma uzunluğu ve patlama indisi üzerinde KBH_4 'ün %0 ile %0.3 ve %0.5 ile %0.7 oranlarında ve parlaklık değeri üzerinde KBH_4 'ün %0.3 ve %0.5 oranlarında kullanımında %5 yanılma olasılığı sınırında belirgin farklılıkların olmadığı tespit edilmiştir.

SONUÇLAR

Kraft yöntemiyle kağıt hamuru üretiminde çözeltiliye eklenen KBH_4 , pişirme sırasında selüloz zincirinin indirgen uçlarındaki karbonil gruplarını hidroksil gruplarına indirgeyerek oluşabilecek soyulma reaksiyonunu önlemektedir. Dolayısı ile soyulma reaksiyonundan kaynaklanan verim kaybı önlenmekte ve elde edilen hamurun verimi artmaktadır. Kraft pişirmesine %0.7 KBH_4 ilavesiyle toplam verim yaklaşık %8.4 oranında artış göstermiştir. Borlu bileşikler aynı zamanda ağartıcı etkiye sahip olduğu için ağartma işlemlerinde de değerlendirilmektedir. Optimum koşulda pişirme sırasında beyaz çözeltiliye ilave edilen ağartıcı özellikteki KBH_4 ile elde edilen hamurların parlaklık değerleri yaklaşık %12.2 oranında artmıştır. Soyulma reaksiyonu sırasında karbohidratlar zarar görmekte ve zincir uzunlukları kısalmaktadır. Bu nedenle üretilen kağıtların direnç özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir. KBH_4 kullanımı ile olası soyulma reaksiyonu önlenmekte ve üretilen kağıtların fiziksel özellikleri geleneksel kraft yöntemi ile üretilen kağıtlara göre daha iyi çıkmaktadır. Yapılan bu çalışma sonucunda KBH_4 ilaveli kraft pişirmesinden elde edilen hamurların kopma uzunluğu, patlama ve yırtılma indisleri sırasıyla %8.4, %30.4 ve %21.6 oranlarında artmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından (Proje No: 2014/3-33 D) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akgül, M., & Temiz, S. (2006). Determination of Kraft- NaBH_4 pulping conditions of Uludağ fir (*Abies bornmulleriana* Mattf.). *Pakistan Journal of Biological Science*, 9(13): 2493-2497.
- İstek, A., Eroğlu, H., & Gülsoy, S. K. (2008). Karamağın yaşına bağlı olarak lif ve kağıt özelliklerinin değişimi. *Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi*, 8(1): 61-66.
- Akgül, M., Çöpür, Y., & Temiz, S. (2007). A comparison of kraft and kraft-sodium borohydrate brutia pine pulps. *Building and Environment*, 42(7): 2586-2590.
- Anonim, (1992). TAPPI Test Methods 1992-1993, Tappi Press, Atlanta, Georgia, USA.
- Anonim, (1999). ISO-5267-1, Pulps-Determination of drainability, Part 1: Schopper Riegler method, Second edition.
- Anonim, (2007). ASTM D1107-96 (2007), Standard Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood.
- Ataç, Y. (2009). Bazı Yapraklı ve İğne Yapraklı Ağaçların Öz ve Diri Odunlarının Kağıt Özellikleri Yönünden İncelenmesi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Atchison, J. E. (1987). *Data on non-wood plant fibers. In the secondary fibers and non-wood pulping*, 3rd ed. F. Hamilton, Chap. 3. Atlanta, GA: TAPPI Press.
- Bozkurt, Y., & Erdin, N. (1989). Odunsu lifler ve tanımı. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 39(4).
- Casey, J. P. (1979). *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*, John Wiley and Sons, Vol:1.
- Çiçekler, M. (2019). Birincil ve İkincil Lif Karışımlarının Yazı Tabı, Oluklu Mukavva ve Gazete Kağıdı Üretiminde Kullanımının Araştırılması. KSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kahramanmaraş.

- Çöpür, Y., & Tozluoğlu, A. (2008). A comparison of kraft, PS, kraft-AQ and kraft-NaBH₄ pulps of Brutia pine. *Bioresource Technology*, 99(5):909-913.
- Erişir, E., Gümüşkaya, E., Kirci, H., & Misir, N. (2015). Alkaline sulphite pulping of Caucasian spruce (*Picea orientalis* L.) chips with additions of NaBH₄ and ethanol. *Drewno*, 58(194):89-102.
- Eroğlu, H. (1986). *Kağıt ve Karton Üretim Teknolojisi*, Yayın No: 90/6, Ders Notları 623 sayfa, Trabzon.
- Gülsoy S. K., & Eroğlu H. (2011). Influence of sodium borohydride on kraft pulping of European black pine as a digester additive. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(4): 2441-2444.
- Gülsoy S. K., Oğuz, S., Uysal, S., Şimşir, S., & Tas, M. (2016). The Influence of Potassium Borohydride (KBH₄) On Kraft Pulp Properties of Maritime Pine. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 18(2): 103-106.
- Gülsoy, S. K., & Şimşir, S. (2017). Chemical composition, fiber morphology, and kraft pulping of bracken stalks (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn). *Drvna Industrija*, 69(1):23-33.
- Gümüşkaya, E., Erişir, E., Kirci, H., & Misir, N. (2011). The effect of sodium borohydride on alkaline sulfite pulping of pine (*Pinus pinea*) wood. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(13):8340-8343.
- Gürboy, B. (2007). Kuzey Kıbrıs'ta doğal olarak yetişen kızılçam (*Pinus brutia* ten.)'ın lif morfolojisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(2): 119-127.
- Huş, S. (1969). *Orman Mahsülleri Kimyası*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 1451, O.F. Yayın No. 150, İstanbul.
- İstek, A. & Özkan, İ. (2008). Effect of sodium borohydride on *Populus tremula* L. kraft pulping. *Turkish of Journal Agriculture Forestry*, 32: 131–136.
- İstek, A., & Gönteki, E. (2009). Utilization of sodium borohydride (NaBH₄) in kraft pulping process. *Journal of Environmental Biology*, 30(6): 951-953.
- İstek, A., Tutuş, A., & Gülsoy, S K. (2009). Sahil çamı odununun lif morfolojisi ve kağıt özellikleri üzerine ağaç yaşının etkisi. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1): 1-5.
- Khaustova, L. G., Ioffe, G. M., Pen, R. Z., & Ignat'eva, N. I. (1971). Pulp from larchwood: kraft cooks of larchwood with liquors containing reducing agents and sulfur. *Izv. VUZ, Lesnoi Zh.* 14(3): 101–106.
- Kırcı, H. (2003). *Kağıt Hamuru Endüstrisi Ders Notları*, K.T.Ü., Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No:63.
- Kurschner K., & Hoffer. A. (1969). Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Zellulose in Hölzern und Zellstoffen. *Technologie und Chemie der Papier-u. Zellstoff-Fabrikation*. 26: 125-139.
- Meller, A. (1963). Retention of polysaccharides in kraft pulping. Part 1. The effect of borohydride treatment of *Pinus radiata* wood on its alkali stability. *Tappi*, 46(5): 317-319.
- Pettersson, S. E., & Rydholm, S. A. (1961). Hemicelluloses and paper properties of birch pulps, Part 3. *Svensk Papperstidning*, 64(1): 4-17.
- Serin, Z., Ateş, N., & Cavunt, A. (2017). Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) saplarının kağıt hamuru ve kağıt üretimine uygunluğunun değerlendirilmesi. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 18(2):155-159.

Smook, G. A. (1992). *Handbook for Pulp and Paper Technologists*, 2nd edn. Angus Wilde Publications, Vancouver, p 419.



Spearin, W. E., & Isenberg, I. H. (1947). The maceration of woody tissue with acetic acid and sodium chlorite. *Science*, 105:214.

Tutuş, A., Çiçekler, M., & Deniz, İ. (2012). Yanmış Kızılcım Odunlarının Kağıt Hamuru ve Kağıt Üretiminde Kullanılması, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı, s:90-95.

Tutuş, A., Kurt, R., Alma, M. H., & Meriç, H. (2010). Sarıçam odununun kimyasal analizi ve termal özellikleri. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 20-22 Mayıs, Cilt:V, 1845-1851.

Wise. E. L., & Karl, H. L. (1962). *Cellulose and Hemicelluloses in Pulp and Paper Science and Technology. Vol. 1. Pulp*. Earl. C. L. (Ed.). McGraw Hill-Book Co.. New York.

ORCID

Mustafa ÇİÇEKLER  <https://orcid.org/0000-0001-5793-2827>
Ahmet TUTUŞ  <https://orcid.org/0000-0003-2922-4916>



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 20.11.2018
Kabul Tarihi : 22.04.2019

Received Date : 20.11.2018
Accepted Date : 22.04.2019

Kızılırmak Nehri (Nevşehir) YüzeY Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Surface Water Quality of Kızılırmak River (Nevşehir) by Geographical Information Systems

Seval ARAS ^{*1}, Güneş Gonca İPEK ²

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Nevşehir, Türkiye

²Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Seval ARAS, saras@nevsehir.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada; Türkiye'nin en uzun akarsuyu olan Kızılırmak'ın, Nevşehir il sınırları içerisinde geçen kısmının ağır metaller ve fiziko-kimyasal parametreler açısından Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında nehir suyundan 2013-2014 yılları arasında 6 ayrı istasyondan mevsimlik numuneler alınmış ve ölçümler yapılmıştır. Suda tespit edilen fizikokimyasal parametreler ve ağır metal konsantrasyonları, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen "Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne" göre değerlendirilmiştir; CBS ile su kalitesi konumsal olarak değerlendirilmiştir. Verilerin mekansal analizi ve haritalandırılması Arc GIS programı ile oluşturulmuştur. Kızılırmak Nehri'nin BOİ, PO₄-P, NO₂, NH₄-N ortalama konsantrasyonları "Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'nde" belirtilen değerlere göre II. Sınıf, III. Sınıf ve IV. Sınıf kalite özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. İstasyonlardaki dağılım konsantrasyonları haritalarda verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kızılırmak Nehri, Su Kalitesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Nevşehir

ABSTRACT

In this study; Turkey's longest river, the Kızılırmak, Nevşehir in cities and provinces in the portion of heavy metals that meet various needs and water are evaluated with CBS in terms of physicochemical parameters. The water samples were collected by seasonally from six different stations between 2013-2014. Physicochemical parameters and heavy metal concentrations determined in water were evaluated with GIS according to Water Quality Criteria According to Classes of Inland Water Resources in Regulation on Water Pollution Control. The spatial analysis and mapping of the data were generated by the Arc GIS program. The average concentrations of water BOD, PO₄-P, NO₂ NH₄-N II. class, III. class and IV. class determined. The distribution of in the stations are given on the maps.

Keywords: Kızılırmak river, Water quality, Geographic Information Systems, Nevşehir

GİRİŞ

Su kaynakları üzerine artan insan baskısı tatlı sularda kirlilik problemini ortaya çıkarmıştır. Günümüz sorunu olan bu durum su kaynaklarının kalitesinin belirlenmesine ve değerlendirilmesine yönelik çalışmaların yapılmasını gerekli kılmaktadır [1].

Sucul bir alan ekosistem özelliği gösterdiği için alanın su kalitesi; türlerin bileşimini, verimliliğini, bolluk durumlarını ve sucul türlerin fizyolojik durumlarını etkileyen en önemli faktördür [2]. Yerleşim alanlarının su kenarları yakınına kurulmasında yeterli miktarda su teminiyle birlikte suyun kalitesi de büyük önem taşımaktadır [3]. Ancak yerleşim merkezleri, endüstriler ve tarımsal etkinliklerden kaynaklanan atık suların akarsulara boşaltılması sonucu, suların bu atıkları özümleme kapasitesi aşmakta ve kirlenme durumu istenmeyen boyutlara ulaşabilmektedir [4]. Temiz suya olan ihtiyacın artmasıyla birlikte tatlı suların fizikokimyasal özelliklerinin bilinmesi suların planlı bir şekilde kullanılabilmesi açısından önemlidir. Bu yüzden son yıllarda su sistemlerinin kalitesinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar artış göstermiştir [5].

Ülkemizde su kaynaklarının korunması, yönetilmesi ve kalitesi ile ilgili olarak yönetmelik bulunmaktadır. Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren Yer üstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği (YSKYY), yerüstü sular ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, su kalitesinin ve miktarının izlenmesi, bu suların kullanım maksatlarını sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde koruma kullanma dengesi de gözetilerek ortaya konulması, korunması ve iyi su durumuna ulaşılması için alınacak tedbirlere yönelik usul ve esasları amaçlamaktadır [6]. Bu kapsamdan yola çıkarak günümüzde yüzey sularının kalite yönetimi önemli bir konu olarak ele alınmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi ile istatistik yöntemler su kalitesi yönetiminde etkin biçimde kullanılmaktadır [7]. Su kalitesinin konumsal değerlendirilmesine yönelik olarak yapılan birçok çalışmada, CBS farklı kaynaklardan elde edilen bilgileri entegre etmede, işlemede ve konumsal ilişkiyi anlamada oldukça yararlı olacak yeni haritalar üretmede sağladığı avantajlarla önemli bir araç olarak kullanılmaktadır [8]. CBS; analiz, modelleme, daha hızlı sonuca ulaşma ve farklı koşulları değerlendirebilme imkanı sağlayarak pek çok konuda olduğu gibi su kirliliğinde ve dolayısıyla yönetiminde önemli bir karar destek mekanizması haline gelmiştir [9]. Yapılan bu çalışma ile; 6 farklı noktadan alınan nehir suyunun ağır metal ve fizikokimyasal parametrelerin konsantrasyonları değerlendirilerek, elde edilen sonuçların Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında Arc Map programının Spatial Analyst Tools modülü kullanılarak mekansal haritalandırılması sağlanıp, “Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri Yönetmeliğine” göre kalite sınıfının belirlenmesi gerçekleştirilmiştir.

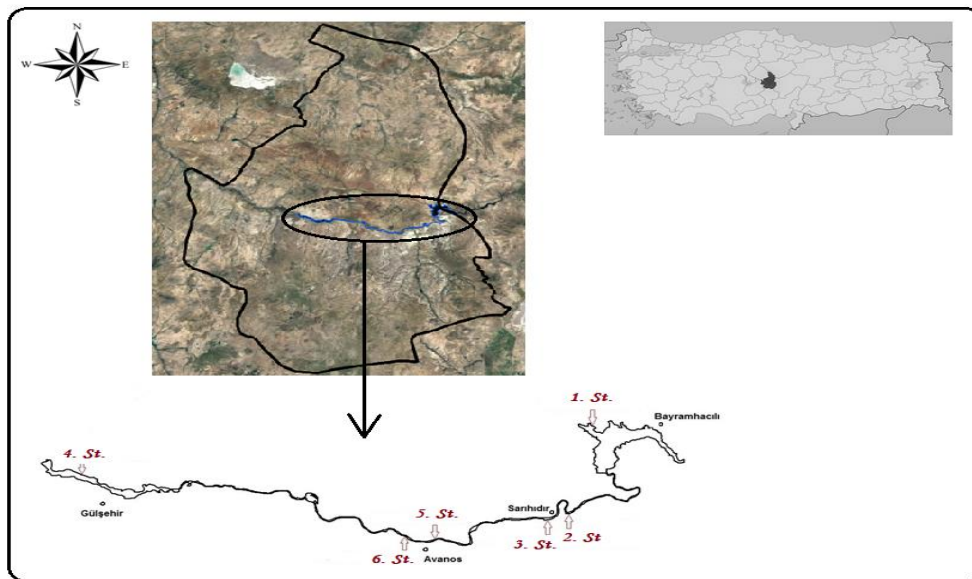
MATERYAL VE METOD

Çalışma alanı olarak seçilen Nevşehir, İç Anadolu Bölgesi’nde 38°12’ ve 39°20’ kuzey enlemleri ile 34°11’ ve 35°06’ doğu boylamları arasında kalır. Konya kapalı havzasında kalan Derinkuyu ilçesi dışında, bütünüyle Orta Kızılırmak Havzası’na giren Nevşehir, konum itibarıyla Türkiye’nin tam ortasında olup, yüzölçümü 5.467 km²’dir. Ülke topraklarının binde 7’sini kaplar.

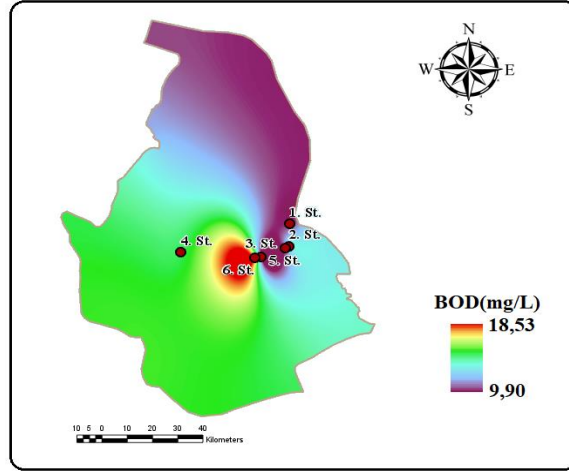
Kızılırmak vadisinin güney yamacına kurulmuş olan İl merkezinin rakımı 1.150 m dir. İl, doğudan batıya doğru inildikçe çukurluğu artan Kızılırmak vadisinin ikiye ayırdığı, güney ve kuzey bölgelerine doğru gidildikçe yükselen bir konum arz eder [10].

Kızılırmak Nehri’nde 2013-2014 yılları arasında 6 istasyondan mevsimsel olarak alınan su numunelerinde; biyolojik oksijen ihtiyacı, nitrit, nitrat, amonyum, fosfat, alüminyum, çinko, arsenik, bakır, mangan ve bor gibi ağır metal konsantrasyonlarının ölçümleri laboratuvarda yapılarak, sıcaklık, pH ve çözülmüş oksijen seviyeleri ise arazi çalışması sırasında ölçülerek sonuçların “Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri Yönetmeliğine” göre CBS ile haritalandırılması sağlanıp değerlendirilmesi yapılmıştır [11].

Verilerin mekansal analizi ve haritalandırılması Arc Map paket programı ile CBS ortamında yapılmıştır. Google Earth Pro’dan alınan JPEG uzantılı görüntü Arc Map ortamına aktarılıp, ölçüm noktaları sayısallaştırılarak vektör veri haline getirilmiştir. Çalışma alanı ve numune alınan istasyonların mekansal dağılımları Şekil 2.1.’de verilmiştir.

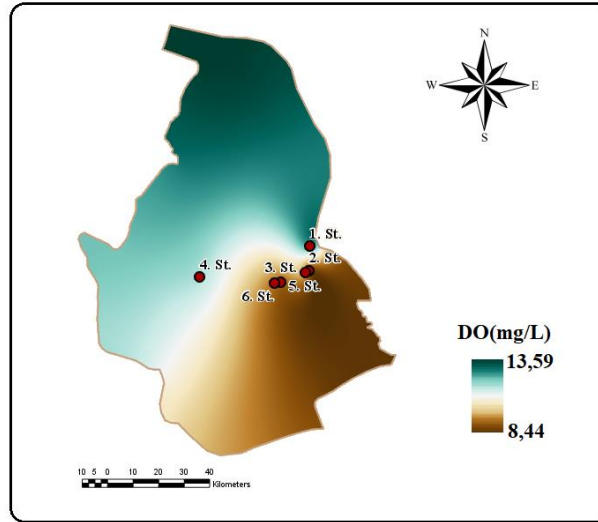


Şekil 2.1. Çalışma alanı ve numune alınan istasyonlar



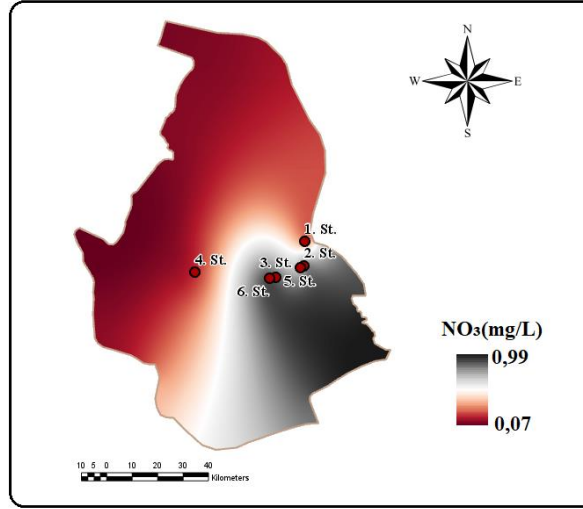
Şekil 3.5. BOİ konsantrasyonu mekansal dağılımı

ÇO: Çözünmüş oksijen en düşük 8,44 mg/l ile 2. istasyonda, en yüksek ise 13,59 mg/l ile 1. istasyonda belirlenmiştir. Ortalama çözünmüş oksijen değeri ise 10,3 mg/l olduğundan, nehir çözünmüş oksijen bakımından I. Sınıf özelliğindedir. Çözünmüş Oksijen içeriklerinin mekansal dağılım haritası Şekil 3.5.'de verilmiştir.



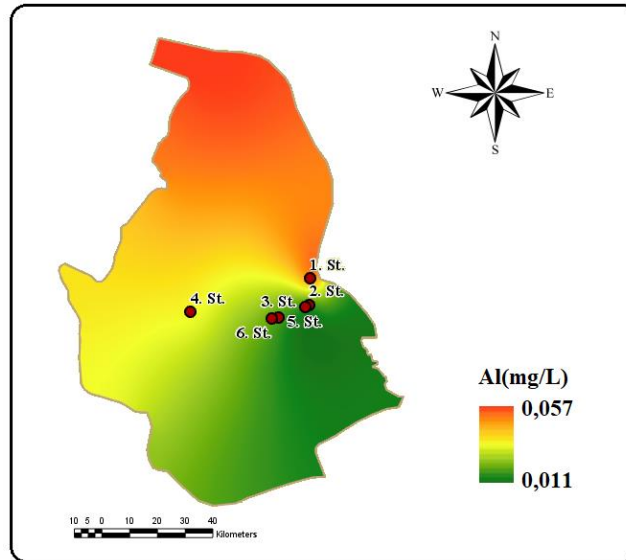
Şekil 3.6. Çözünmüş Oksijen konsantrasyonu mekansal dağılımı

NO₃-N: Nitrat konsantrasyonu en düşük 0,07 mg/l olarak 4. istasyonda, en yüksek 0,99 mg/l ile 6. istasyonda belirlenmiştir. Ortalama nitrat değeri ise 0,61 mg/l değer ile I. Sınıf su özelliğindedir. Nitrat içeriklerinin mekansal dağılım haritası Şekil 3.6.'da verilmiştir.



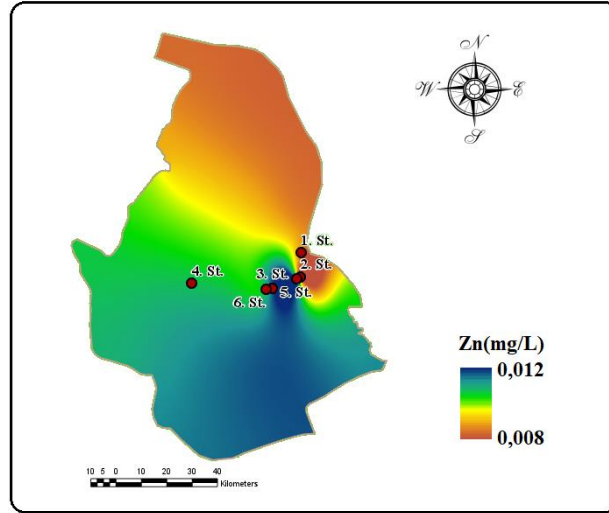
Şekil 3.7. Nitrat konsantrasyonu mekansal dağılımı

Alüminyum (Al) : Alüminyum konsantrasyonuna bakıldığında en düşük 0,011 mg/l olarak 3. istasyonda, en yüksek 0,057 mg/l olarak 1. istasyonda tespit edilmiştir. Nehir suyunun ortalama Al değeri 0,025 mg/l ile SKKY’de belirtilen sınır değerleri geçmemiş olup I. Sınıftır. Al mekansal dağılım haritası Şekil 3.8.’de verilmiştir.



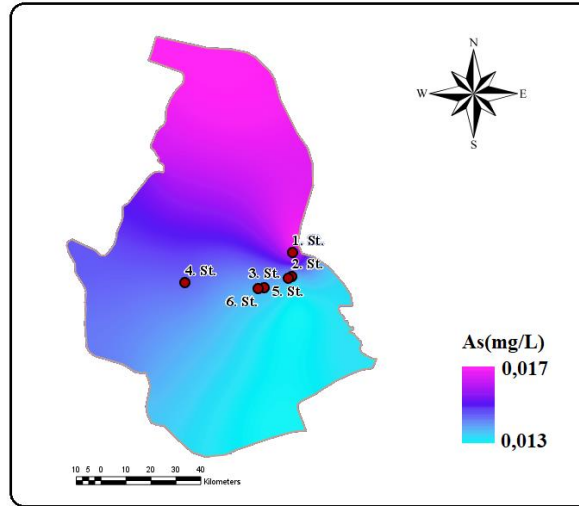
Şekil 3.8. Alüminyum konsantrasyonu mekansal dağılımı

Çinko (Zn): Çinko konsantrasyonu en düşük 0,008 mg/l ile 2. istasyonda, en yüksek ise 0,012 mg/l ile 3. ve 5. istasyonlarda tespit edilmiştir. Ortalama çinko değeri 0,01 mg/l ile I. Sınıf su özelliğindedir. Çinko içeriklerinin mekansal dağılım haritası Şekil 3.9.’da verilmiştir.



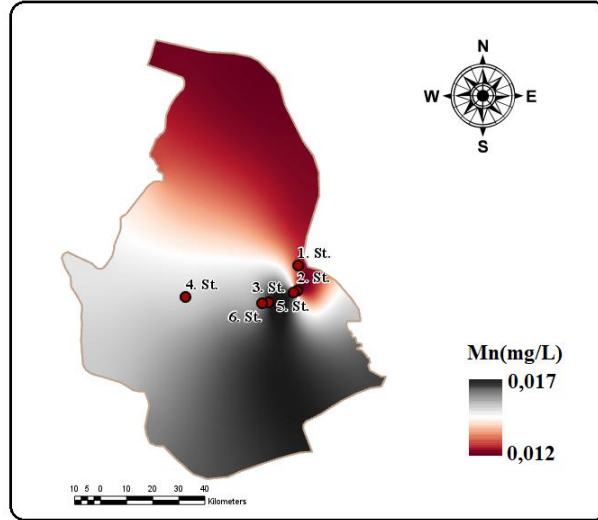
Şekil 3.9. Çinko konsantrasyonu mekansal dağılımı

Arsenik (As): Arsenik konsantrasyonu en düşük 0,013 mg/l ile 2., 3., 5. ve 6. istasyonlarda, en yüksek 0,017 mg/l ile 1. istasyonda belirlenmiştir. Ortalama arsenik değeri ise 0,014 mg/l ile I. Sınıf su özelliğindedir. Arsenik içeriklerinin mekansal dağılım haritası Şekil 3.10.'da verilmiştir.



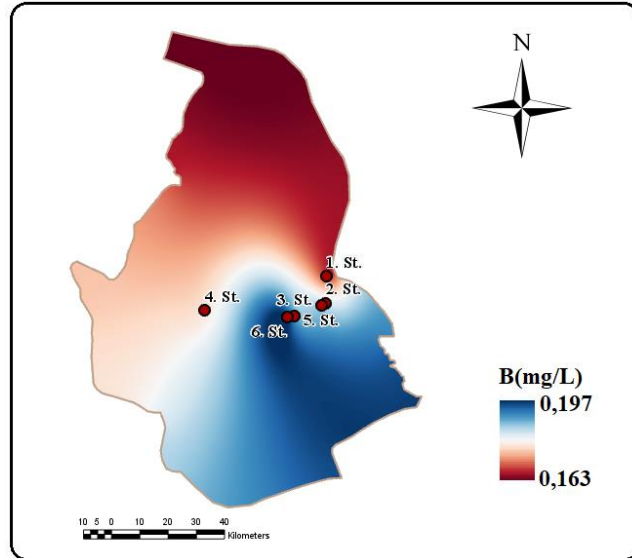
Şekil 3.10. Arsenik konsantrasyonu mekansal dağılımı

Mangan (Mn): Mangan konsantrasyonu en düşük 0,012 mg/l ile 1. ve 2. istasyonlarda, en yüksek ise 0,017 mg/l ile 5. istasyonda ölçülmüştür. Ortalama mangan değeri 0,015 mg/l ile I. Sınıf su özelliğindedir. Mangan içeriklerinin mekansal dağılım haritası Şekil 3.11.'de verilmiştir.



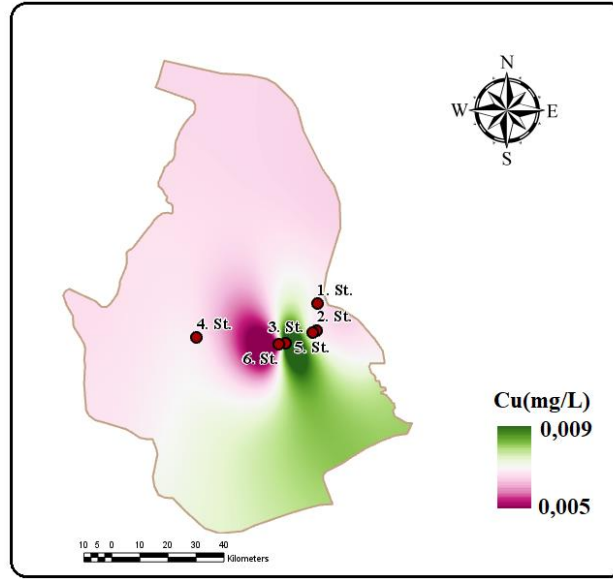
Şekil 3.11. Mangan konsantrasyonu mekansal dağılımı

Bor (B): Bor konsantrasyonu en düşük 0,163 mg/l ile 1. istasyonda, en yüksek 0,197 mg/l ile 6. istasyonda rastlanmıştır. Ortalama bor konsantrasyonu 0,18 mg/l ile I. Sınıf su özelliğindedir. Bor içeriklerinin mekansal dağılım haritası Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Bor konsantrasyonu mekansal dağılımı

Bakır (Cu): Bakır konsantrasyonu en düşük 0,005 mg/l olarak 6. istasyonda, en yüksek ise 0,009 mg/l ile 5. istasyonda tespit edilmiştir. Diğer istasyonlarda ise bakır konsantrasyonları eşit olup 0,006 mg/l'dir. Nehir suyunun ortalama bakır değeri 0,006 mg/l ile I. Sınıf su özelliğindedir. Bakır içeriklerinin mekansal dağılım haritası Şekil 3.13.'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Bakır konsantrasyonu mekansal dağılımı

Yapılan diğer fiziko-kimyasal parametreler ve ağır metal konsantrasyonu bakımından nehir suyu I. Sınıf su özelliğinde belirlenmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

6 farklı istasyondan alınan 13 farklı analiz sonucuna göre Kızılırmak Nehrinin yüzey suyunun “Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri’ne” göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Kızılırmak nehir suyunun mevsimsel ortalama biyolojik oksijen ihtiyacı, nitrit, nitrat, amonyum ve fosfat konsantrasyonları SKKY de belirtilen sınır değerlere göre III. ve IV. sınıf su özelliği göstermiştir. Özellikle 4. ve 1. İstasyonlar nehrin durgunlaştığı akıntı hızının olmadığı önüne set oluşturulmuş sulama amaçlı kullanılan noktalardır. Ayrıca istasyonlar arasında konsantrasyonlara baktığımızda 6. istasyonda en yüksek değerlerin tespit edildiği görülmüştür. Avanos atıksu arıtma tesisi deşarj noktasının 6. İstasyonun bulunduğu bölge olmasından dolayı değerlerin yüksek çıkmasında etkin olmaktadır. Nehir suyunda belirlenen istasyonlara göre tespit edilen konsantrasyonlar; nehirde çok sayıda ördek ve kazların bulunmasına, nehrin kenarlarında restaurantların yer almasına, insan faaliyetlerinin çok olmasına ve tarımsal faaliyetlerin etkinliğinden kaynaklanmaktadır. Bu da bize nehir suyunda kirletici yükün ağırlıklı olarak evsel, tarımsal ve antropojenik kaynaklı olduğunu göstermektedir.

Nehir suyunun ağır metal konsantrasyonlarının SKKY’de belirtilen sınıf sınır değerleri geçmediği 1. sınıf su özelliği gösterdiği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma; Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenmiştir (NEUBAP13F22 nolu proje).

KAYNAKLAR

Arslan O., “Su Kalitesi Verilerinin CBS İle Çok Değişkenli İstatistik Analizi (Porsuk Çayı Örneği)”, *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi* 2008/2 Sayı 99.

Aydın, D., Akça L., İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Su Kalitesi Yönetimi-İstanbul Örneği, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, 34469, Ağayaza-İstanbul.

Bulut C., Atay R., Uysal K., Köse E., “Çivril Gölü Yüzey Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi”, *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi-C, Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 2012.

Gümrükçüoğlu, M., Baştürk O., “Sürdürülebilir Su Yönetiminde Nehir Kirliliği Üzerine Bir Çalışma”, TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi.

Nevşehir Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü, “İl Çevre Durum Raporu”, Nevşehir, 2012.

Özşahin, E. “CBS Kullanılarak Su Kalitesinin Dağılışı Ve Değerlendirilmesi:Cevizli Dere Havzası (Tekirdağ) Örneği”,*International Periodical For The Languages, Literature And History Of Turkish Or Turkic* Volume 8/12 Fall 2013, p.1067-1082, Ankara-Turkey.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri, 2012.


Şeker, D.Z., Tanık A., Öztürk İ., “CBS’nin Havza Yönetimi Çalışmalarında Uygulanması”, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, İzmir, 2009.


Taş B., “Derbent Baraj Gölü (Samsun) Su Kalitesinin İncelenmesi”, *Ekoloji* 15,60 1-6 2006.

Topal M., Arslan Topal, E.I., “2014-2015 Kış Sezonunda Caro Deresi (Elazığ)’nin Bazı Fizikokimyasal Parametreler Açısından Su Kalitesinin Belirlenmesi”, *BEU Fen Bilimleri Dergisi* 4(1), 43-53, 2015.

Uz M., Ağca M., Kaya E., “Mamasun Barajının Su Kalitesine Etki Eden Arazi Kullanımlarının CBS ve Uzaktan Algılama Verileri İle Değerlendirilmesi ve Modellenmesi”, 6.Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, Adana, 2016.

ORCID

Seval ARAS  <https://orcid.org/0000-0002-6392-0117>

Güneş Gonca İPEK  <https://orcid.org/0000-0002-2995-4516>



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 08.08.2018
Kabul Tarihi : 13.06.2019

Received Date : 08.08.2018
Accepted Date : 13.06.2019

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE MİKRO KİRLETİCİLERİN ARITILABİLİRLİĞİ

TREATMENTS OF MICRO POLLUTANTS IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Şeyma AKKURT^{1,*}, Merve OĞUZ²

¹ Adıyaman Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye
² Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Şeyma AKKURT, sakkurt@adiyaman.edu.tr

ÖZET

Sanayileşme ve hızlı nüfus artışıyla birlikte; kimyasalların hayatımızın her alanında kullanımı giderek artmaktadır. Bunun sonucu olarak, su ortamlarında ve doğada mikro kirletici konsantrasyonlarında bir artış görülmektedir. Mikro kirleticiler; farmasötikler, kişisel bakım ürünleri (PPCP), steroid hormonlar, endüstriyel kimyasallar, pestisitler, poliaromatik hidrokarbonlar ve son zamanlarda görülen diğer bileşiklerden oluşmaktadır. Su ortamlarında bu kirleticiler genellikle birkaç ng /L ile µg/ L arasında değişen çok düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Mikro kirleticilerin birçoğu kararlı yapıda olup biyolojik arıtmaya karşı dirençlidir. Bu nedenle klasik atıksu arıtma tesislerinde arıtılamayıp sürekli olarak alıcı ortamlara deşarj edilmektedirler.

Mikro kirleticilerin giderimin de klasik yöntemlerin yetersiz olduğu göz önünde bulundurulduğunda daha iyi giderim verimleri için koagülasyon – flokülasyon, aktif karbon adsorpsiyonu (toz aktif karbon ve granül aktif karbon), ileri oksidasyon prosesleri (İOP), membran prosesleri ve membran biyoreaktörü içeren diğer alternatif arıtma yöntemleri uygulanabilir. Yapılan bu derlemede, mikro kirleticilerin su ortamlarındaki varlığına, çeşitli arıtma yöntemlerine ve arıtma verimlerine yer verilmiştir. Bu şekilde mikro kirleticinin türüne göre uygun arıtım alternatifleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, mikro kirleticiler, arıtma yöntemleri.

ABSTRACT

With industrialization and rapid population growth, the use of chemicals in every aspect of our lives is increasing. As a result, there is an increase in micro-pollutant concentrations in water environments and nature. Micro pollutants consist of pharmaceutical, personal care products (PPCP), steroid hormones, industrial chemicals, pesticides, polyaromatic hydrocarbons and other recently seen compounds. In water environments, these pollutants are usually in very low concentrations ranging from a few ng /l to µg/ l. Many micro pollutants are stable and resistant to biological treatment. For this reason, they cannot be treated in conventional wastewater treatment plants and are continuously discharged to receiving environments.

Considering that the conventional methods are insufficient for removing the micropollutants other alternative treatment methods including coagulation–flocculation, activated carbon adsorption (powdered activated carbon and granular activated carbon), advanced oxidation processes (AOPs), membrane processes and membrane bioreactor can be applied for better removal. Studies on this subject and the results obtained are presented.

Keywords: Wastewater, micro pollutant, treatment methods.

GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ve yaşam standardının artmasıyla birlikte suya olan ihtiyaçta her geçen gün artmaktadır. 20 yy.'dan beri dünyada ve ülkemizde küresel ısınma nedeniyle su kaynakları giderek azalmaktadır. Yeryüzündeki tatlı su kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle su kaynakların verimli bir şekilde kullanılması gereklidir.

Su kaynaklarının verimli olarak kullanması için, az su tüketen teknolojiler tercih edilmeli ve oluşan atıksuların arıtılıp tekrar kullanılması gibi uygulamalara önem verilmelidir. Fakat atıksuların içinde birçok makro ve mikro kirleticiler bulunmaktadır. US EPA mikro kirleticileri, yasal statüsü olmayan, çevre ve insan sağlığı üzerine olan etkileri tam olarak anlaşılabilen yeni kimyasallar olarak tanımlamaktadır (Yaşar ve ark., 2013).

Son yıllarda insan hayatının kalitesini arttırmak ve hastalıkları tedavi etmek için kişisel bakım ürünleri ve ilaçlar daha fazla kullanılmaktadır (Qin ve ark., 2015). İlaçlar sadece insanlar için değil veteriner maksatlı olarak da kullanılmaktadır. Örneğin; ABD'de 3000'den fazla ilacın kullanılması için lisans verilmiştir (Quin ve ark., 2015). Geliştirilen ve üretilen birçok ilacın, artan kullanımı nedeniyle üretimi de doğru orantılı olarak artmaktadır. Bir çalışmada, OECD (Ekonomik İşbirliği Teşkilatı) üyesi ülkelerde 2000–2013 yılları arasında anti-hipertansif, kolesterol düşürücü, anti-diyabetik ve anti-depresan ilaçların günlük dozajında iki kat artış olduğu tespit edilmiştir. İlaçların bileşenlerinin büyük bir kısmı vücut tarafından emilemediği için kanalizasyona karışarak atıksu arıtma tesislerine iletilmektedir. Konvansiyonel atıksu arıtma tesisleri azot, fosfor gibi nütrientlerin giderimi için tasarlanmış olup, mikro kirleticileri arıtmak için projelendirilmemiştir. Bu nedenle, bu kirleticiler arıtılmadan yüzey sularına oradan da yeraltı sularına karışabilmekte, içme sularına kadar ulaşabilmekte ve sedimanlar da birikimleri de gerçekleşebilmektedir (Tiware ve ark., 2017; Üstün Odabaşı ve ark. 2018). Tablo 1'de en çok kullanılan kimyasallar ve olumsuz etkilerine yer verilmiştir (Özdemir, 2018; Üstün Odabaşı ve ark. 2018).

Yapılan deşarjlar sonucunda alıcı su ortamlarında mikro kirleticilerin konsantrasyonlarında sürekli devam eden bu artışı azaltmak, su kalitesini arttırmak ve olası ekolojik olumsuz etkileri önlemek için gerekli önlemler alınmalıdır. Ayrıca, arıtılmamış atıksular da bulunan patojenlerde mikro kirleticiler gibi yüzey-yeraltı suyu kaynaklarına karışarak içme suyu kaynaklarının kalitesini düşürmektedir. Alıcı su ortamlarında mikro kirleticilerin önemli seviyelere ulaşması sonucunda, canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu kirleticiler, hala tam olarak bilinmeyen birçok hastalığa ve alıcı su ortamlarında yaşayan balıkların dişileşmelerine yol açmaktadır (Ceylan, 2018). Endüstriyel su kullanımını da bu durumu olumsuz yönde etkileyerek hem halkın sağlığını hem de çevreyi tehdit etmektedir (Besha ve ark., 2017).

Tablo 1. Kullanılan Kimyasallar ve Olumsuz Etkileri

Orijin/Kullanım	Sınıf	Örnek	Bağlantılı Sorunlar
Endüstriyel Kimyasallar	Çözücüler	Tetraklorometan	İçme suyu kirlenmesi
	Ara ürünler Petrokimyasallar	Metil-t-butileter BTEX(benzen, tolüen, ksilen)	
Endüstriyel Ürünler	Katkılar Yağlayıcılar Alev geciktiriciler	Ftalatlar PCP'ler (Poli klorlu bifeniller) Polibromlu difenileterler	Biyobirikme, Uzun vadeli taşınım
	Deterjanlar	Nonilfenol etoksilatlar	Endokrin aktif dönüşüm ürünü (nonilfenol)
Tüketici Ürünleri	İlaçlar	Antibiyotikler	Bakteriyel direnç, hedeflenmeyen etki
	Hormonlar	Etilin estradiol	Cinsiyetsiz balıklar
	Kişisel bakım ürünleri	UV filtreler	Çeşitli kısmen bilinmeyen etkiler

Biyositler	Pestisitler	DDT Atrazin	Toksik etki ve kalıcı metabolitler Primer üreticiler üzerine etki
	Tarımsal olmayan biyositler	Tribütülin Triklosan	Endokrin etkileri Hedef dışı etki, kalıcı yıkım ürünü (metil triklosan)
Jeojenik	Ağır metaller	Kurşun, kadmiyum, civa	İnsan sağlığına zararlı
Doğal Kimyasallar	İnorganikler	Arsenik, selenyum, flor, uranyum	İçme suyu kalitesi problemleri Cinsiyetsiz balıklar
	Tat ve koku Siyanotoksinler İnsan hormonları	Geosmin, metilisoborneol Mikrosistinler estradiol	
Dezenfeksiyon/ Yükseltgenme	Dezenfeksiyon yan ürünleri	Trihalometanlar, haloasetik asit, bromat	İçme suyu kalitesi, insan sağlığı problemleri

Tablo 1’de verilen kimyasallar hayatın her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan kimyasalların neredeyse hepsi içme suyu kalitesini düşürmekte ve sucul canlılarda cinsiyet bozukluklarına neden olmaktadır. Ayrıca daha bilinmeyen birçok zararlı etkileri nedeniyle yaban hayatını ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Sucul canlılarda birikerek su ürünlerinin tüketilmesi sonucu besin zinciri ile insanlara kadar iletilerek insanların vücutlarında da birikmektedir.

Mikro kirleticiler noktasal ya da yayılı kaynaklardan yüzey sularına karışmaktadır. Yüzey su kaynaklarını en çok tarımsal akışlar kirletmektedir. Tarımsal akıştaki suda; pestisitler, herbisitler, fungusitler ve türevlerini içermektedir (Chen ve ark., 2014). Mikro kirleticiler, düşük konsantrasyonlara (birkaç ng/L ile µg/L) sahip olmaları ve çok çeşitli yapıda olmaları (toksik, mutajen, çok zor parçalanabilmeleri), yüksek çözünürlükleri ve biyoaktiviteleri nedeniyle; spesifik saptama ve analiz prosedürlerinde tespit edilmelerinde zorluklarla karşılaşmaktadır. Su ve atıksu arıtma proseslerinde ise ya hiç arıtılmadan çıkmakta ya da çok düşük verimde arıtılmaktadır (Luo ve ark., 2014; Üstün Odabaşı ve ark. 2018).

Konvansiyonel atıksu arıtma tesisleri mikro kirleticileri arıtmak için tasarlanmamaları nedeniyle deşarj sularıyla çevresel sistemlere giren mikro kirleticiler;

- Kısa süreli ve uzun süreli toksisiteye,
- Endokrin bozucu etkilere, (balıklarda cinsiyet bozuklukları gibi)
- Mikroorganizmaların antibiyotik direnci vb. olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Atıksu arıtma tesislerinde mikro kirleticilerin giderimin de etkili olan faktörler;

- Mikro kirleticinin özelliklerine, (hidrofobiklik, biyolojik parçalanabilirlik, uçuculuk ve kararlılık)
- Atıksu arıtma tesisine özgü faktörlere (SRT (çamur yaşı), HRT (hidrolik bekletme süresi), sıcaklık ve pH gibi) bağlıdır.

Mikro kirleticiler, atıksu arıtma tesislerinde bulunan farklı arıtma proseslerine karşı farklı direnç ve kararlılık göstermektedir. Mikro kirleticiler AAT’lerde bulunan bazı arıtma proseslerinde parçalanarak metabolit veya yan ürünlere dönüşmektedir. Ama bu arıtma prosesinden sonra gelen diğer ünitelerde tekrar kısmen ya da tamamen ana bileşiğe dönüşmektedir. Bu nedenle tesiste mikro kirleticilerin ölçümü sadece giriş ve çıkış atıksularında değil; her bir procesten önce ve sonra yapılmalıdır. Böylece proseslerdeki konsantrasyon değişimlerinin gözlenmesiyle birlikte

yapılan arıtım hakkında daha doğru bilgi alınması sağlanabilir (Nas ve ark., 2017). Tablo 2’de AAT’lerde bulunan, mikro kirleticiler ve giderim verimlerine göre genel bir sınıflandırma yapılmıştır (Luo ve ark., 2014).

Tablo 2. Mikro kirleticiler ve arıtma verimleri

Arıtma Verimi	Bileşikler
Düşük giderim (< %40)	<i>Karbamazepine, metoprolol, diklofenak</i>
Orta derecede giderim (%40-70)	<i>trimethoprim, ketoprofen, klofibrik acit, sülfamethozole, atenolol, nonilfeno,</i>
Yüksek derece giderim (> %70)	<i>Estrone, bisfenol A, triklosan, naproksen, gemfibrozil, kafeine, ibuprofen</i>

Tablo 2’ye bakıldığında, AAT’lerde en yüksek oranda (%70); *Estrone, Bisfenol A, Triclosan, Naproxen, Gemfibrozil, Kafeine, İbuprofen* mikro kirleticilerinin giderildiği, buna karşılık ilaç etken maddelerinin içinde çok fazla bulunan *Karbamazepine ve Diklofenak* gibi kirleticilerin düşük oranda arıtıldığı görülmektedir. Bu giderim verimleri tesisin arıtma teknolojisine bağlı olarak değişmektedir.

Ülkemizde mikro kirleticilerin deşarjını sınırlayan herhangi bir yasal mevzuat veya yönetmelik yoktur. Az sayıda ülkede ve çok az sayıda kirletici için düzenlenmiş yasal mevzuatlar vardır. Yasal olarak mikro kirleticilerin deşarj sınırları belirlenirken; tek başlarına oluşturdukları etkilerinin yanı sıra bir arada bulunmaları durumunda oluşturabilecekleri sinerjik etkileri de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle daha fazla araştırma (deney, ölçüm ve gözlem) yapılarak çevresel etkileri belirlenmeli ve yasal limitler bu araştırmalar dikkate alınarak oluşturulmalıdır (Luo ve ark., 2014).

1.1.Farmasotikler

Özellikle hastalıkların teşhisi ve tedavisinde yaygın olarak ilaçlar kullanılmaktadır. Bir ülkedeki veya bir bölgedeki ilaç tüketimi çevreye verilen zararın tahmin edilmesinde etkilidir. Dünya genelinde kişi başına yılda yaklaşık 15 gram farmasotik ilaç kullanıldığı tahmin edilmektedir. Sanayisi gelişmiş ülkelerde ise bu oranın daha yüksek olduğu (yaklaşık 50-150 gram) tahmin edilmektedir (Zhang ve ark., 2008).

Antibiyotikler; 50’den fazla bileşen içermektedir ve penisilinler de çok fazla kullanılan antibiyotiklerden biridir. Dünyada 2003 yılında üretilen pestisitler antibiyotik kullanımının % 60’ıdır (Wang ve ark., 2016). Hastane atıksularında tahmin edilen bazı antibiyotik konsantrasyonları ise; *β-lactam* antibiyotikleri için 20-80 µg/L, *Siprofloksasin* için 2-83 µg/L aralığındadır (Wang ve ark., 2016). Belediye atıksularında ise bu değer 50 µg/L’ye yaklaşmaktadır (Wang ve ark., 2016). Tedavi ve koruma amaçlı en önemli grup olan *Tetrasiklinler*’de atıksuya yüksek oranlarda karışan yarı ömrü yüksek antibiyotiklerdir. Tetrasiklinler; arıtma tesislerinde bulunan aktif çamura adsorplanarak, biyolojik arıtımı olumsuz yönde etkilemekte ve dirence neden olabilmektedir (Yaşar ve ark., 2013).

İlaçlar ya da metabolitleri genellikle polar moleküllere bağlanmış halde idrar ya da dışkı yoluyla vücuttan dışarı atılır. Bunlar, özellikle canlı organizmalara etkide bulunmak üzere tasarlandıkları için, biyolojik olarak etkin bileşiklerdir (Özdemir, 2018). İlaç etken maddelerinin büyük çoğunluğu tam anlamıyla metabolize edilmeden vücuttan atılır ve biyolojik olarak aktif halde alıcı su ortamlarına karışmaktadır. Vücut tarafından metabolize edilemeyen ilaçlar genellikle biyolojik olarak parçalanabilirliği en az olan ilaçlardır. Alıcı ortama giren bu ilaçlar ortamda birikirler.

Farmasotik kalıntıların;

•% 70’i evsel kullanım

•% 20’si hayvancılık

•% 5’i hastane atıkları

•% 5’i spesifik olmayan kaynaklardan oluşmaktadır (Özdemir, 2018).

Hastane atıksuları önemli miktarda farmasotikleri ve diğer mikro kirleticileri içermektedir. Hastane atıksuları kentsel atıksulara göre özellikle mikro kirleticiler yönünden daha kompleks atıksulardır. Hastanenin bulunduğu bölgeye,

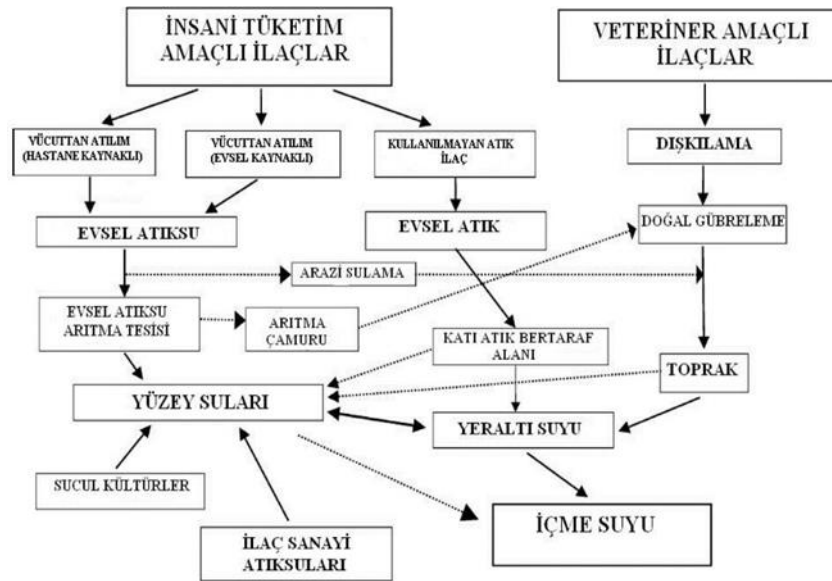
hasta sayısına, yatak sayısına, bölgenin iklimine ve suya erişilebilirliğine göre hastanelerde oluşan su miktarları değişmektedir (Yaşar ve ark., 2013).

Hastane atıksuları, patojenleri, farmasötik kalıntıları ve bunların metabolitlerini, ilaç konjugatlarını, radyoaktif elementleri ve diğer kimyasalları içermektedir. Hastane atık sularının belediye AAT' lerde (seyreltilmiş farmasötik konsantrasyonlarda bile) deşarj edilmesi organik kirleticinin biyolojik bozunma sürecini azaltmaktadır (Pauwels ve ark., 2006).

Farmasötiklerin atıksudaki konsantrasyonları mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Araştırmacıların yapmış oldukları pek çok çalışmada; kış aylarında makrolit farmasötik yani, solunum yolu enfeksiyonları ve inflamasyonunun tedavisinde kullanılan ilaç yükünün yaz aylarına göre iki kat daha fazla olduğunu tespit edilmiştir. Bunun nedeni, kış aylarında daha fazla ilaç kullanılması ve kış aylarında biyolojik aktivitenin azalması ile birlikte AAT'lerde arıtma veriminin düşük olmasıdır (Ulutaş, 2017).

İlaçların içinde bulunan etken ajanlar ilk anda küçük konsantrasyonlar şeklinde görünse de konsantre su arıtımı esnasında yüksek aktivite göstermektedir. Hastane atıksuları hiçbir ön arıtmaya tabi tutulmadan doğrudan kanalizasyona verilmektedir. Kanalizasyona gelen atıksular, AAT'lerde arıtılırken mikro kirleticiler kısmen ya da hiç arıtılmadan tesisten alıcı ortama deşarj edilmektedir (Balcı ve ark., 2010). Alıcı ortamlara deşarj edilen mikro kirleticiler nehirlerin, göllerin, denizlerin, yeraltı sularının ve içme sularının kirlenmesine sebep olmaktadır. Sadece sularda değil sedimanlarda ve arıtma çamurlarında birikmektedir (Ulutaş, 2017).

Şekil 1'de çevrede bulunan farmasötiklerin kaynakları, AAT'lerde arıtıldıktan sonra çıkış sularından yüzey ve yeraltı sularına karıştığı yollar verilmiştir (Balcı ve ark., 2010).



Şekil 1. Çevrede bulunan farmasötiklerin kaynakları

Ülkemizde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde hastane atıksuları da evsel atıksular olarak kabul edilmektedir. Fakat özellikleri itibariyle çok çeşitli makro ve mikro kirleticileri içeren hastane atıksularının ayrı toplanıp arıtımının ayrı yapılması ya da bir arıtmadan geçmesi gereklidir. Hastanelerde oluşan atıksuların bir ön arıtmadan geçirilerek kanalizasyona verilmesi de bir diğer alternatiftir.

FDA (Gıda ve İlaç İdaresi) sularda antibiyotik ve antiseptiklerin etkilerini, yalnızca insan üzerine etkileriyle değil, ilaca dirençli bakterilerin gelişme olasılığı bakımından da araştırmaya başlamıştır. Çünkü antibiyotiklere dirençli organizmaların çevresel sistemlerdeki sayısı giderek artmaktadır. Bu durum mikrobiyal ekosistemlere ek bir tehlike oluşturmaktadır. Su kirliliği üzerine yapılan çalışmalarda hali hazırda toksik ya da kanserojen oldukları iyi bilinen bileşikler üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak reçeteli ilaçlar, teşhis kitleri, parfümler, güneş korunma ürünleri ve diğer

birçok bileşiği içeren kişisel bakım ürünlerinden gelen sessiz tehlikenin de gözden kaçırılmaması gereklidir (Özdemir, 2018).

Yapılmış olan birçok kısa süreli toksisite çalışmasında, ilaç moleküllerinin suda yaşayan organizmalar üzerinde düşük konsantrasyonda bulunmaları nedeniyle akut toksik etki göstermediğini, ancak sürekli salınım ve sudaki biyota maruz kalmanın uzun süreli (kronik) etkilere sahip olduğunu bildirmişlerdir (Tiwari ve ark., 2017).

Huerta ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, farmasötiklerin atıksudaki miktarını tespit etmek için balıklarda biriken mikro kirletici konsantrasyonları analiz edilerek belirlenmiştir. Çalışmada sucul çevredeki kirliliğinin belirlenmesinde etkili türlerden biri olan balıkların, su ortamında bulunan kirleticilerin biriktirmesi ve suda bulunan kirleticileri arıtma kabiliyetlerinin olması nedeniyle tercih edilmiştir. ABD’de, yapılmış olan çalışmada; AAT’lerin çıkış sularının karıştığı, 25 nehir sahasından alınan yabancı balıklarda bulunan farmasötik bileşiklerin miktarı incelenmiştir (Huerta ve ark., 2018). Çalışma, ABD’de EPA’nın 2008-2009 yılları arasında Ulusal Nehirler ve Akarsular değerlendirmesinde incelenen kentsel nehir kümesi oluşturularak belirlenmiştir. ABD ve Avrupa’daki önceki çalışmalardan elde edilen bulgularla uyumlu olarak; balık filetolarında genellikle 10 ng/g’ın altındaki konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Balıklarda en sık görülen bileşikler; Venlafaksin (% 58), Karbamazepin (% 27), ve metaboliti 2-hidroksi karbamazepin (% 42) olduğu belirlenmiştir. Bu ilaç grubu; doğal su ortamlarında olduğu kadar, AAT’lerde konvansiyonel arıtma sırasında yüksek oranda bulunmaktadır ve bozulmaya karşı oldukça dirençlidir. Örneklerin %20’ sinde astımı tedavi etmek için kullanılan Salbutamol ve diüretik hidroklorotiyazid bileşiklerine sıklıkla rastlanmıştır. Sekiz balık türünde çevresel konsantrasyonlarda kronik maruziyete bağlı 6 farmasötik familyasının meydana geldiği saptanmıştır. Kent sistemlerinde 13 farmasotiğin incelendiği balık filetolarında 10 ng/g’ın altında ölçülmeleri nedeniyle organizmalar için potansiyel risk teşkil etmediği sonucuna varılmıştır. İlaç grubu içinde en yaygın olarak bulunan bileşenler; Venlafaksin ve Karbamazepine (ve onların metabolitleri) ile psikoaktif ilaçlar olduğu tespit edilmiştir (Huerta ve ark., 2018).

Konya’da yapılmış olan bir tez çalışmasında, 8 büyük hastanenin (devlet ve özel) kanalizasyona deşarj noktasından, Konya Kentsel AAT giriş ve çıkış noktalarından kış döneminde alınan atıksu örneklerinde anti-enflamatuvar bileşiklerin (Diclofenac, İbuprofen, Naproxen, Ketoprofen, Mefenamic acid) konsantrasyonları tespit edilerek bu bileşiklerin giderim oranları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, hastane atıksularında Naproxen 30,213 µg/L ile en yüksek seviyede tespit edilen bileşik olurken ikinci sırada 8,863 µg/L ile İbuprofen bileşiği takip etmiştir. Bu bileşiklerin Çevresel risk değerlendirme sonucuna göre balık test organizması için su ortamında orta risk ($0,1 \leq RQ \leq 1$) oluşturduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, kentsel atıksudaki anti-enflamatuvar yüküne hastanelerdeki noktasal kaynak deşarjların katkısının evsel atıksulara kıyasla daha az miktarda katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak çalışmada, hastane atıksularının ayrı bertaraf edilmesi yerine arıtma tesisine bu kirleticileri giderecek prosesler entegre edilmesinin daha uygun olacağı ifade edilmiştir (Ulutaş, 2017).

Bir diğer farmasötik kirlilik kaynağı ise, son kullanma tarihi geçmiş ilaçlardır. Bu ilaçların bertarafı oldukça önemlidir (Breton ve ark., 2003). İngiltere’de yapılan bir araştırma sonucuna göre; insanların üçte ikisinin kullanılmayan ilaçları evsel atık olarak imha ettiği, geri kalan kısmının da ilaçları ya eczacıya geri götürdüğü (%22) ya da onları lavabo ve tualete döktükleri (%12) tespit edilmiştir (Ulutaş, 2017). Bilinçsiz bir şekilde son kullanma tarihi geçmiş ilaçların gelişi güzel atılmasının önüne geçmek için yasal düzenlemeler yapılmalı ve halk bu konuda bilinçlendirilmelidir.

Farmasötiklerin, sucul ortamlara girişini önlemek için, ilaçlar bertaraf edilmeden önce uygun şekilde toplanmalıdır. İlaç atıklarının toplanması için; görevlendirilen bazı eczaneler ya da aile sağlık merkezlerinde atık ilaç konteynırları kurularak ilaçlar toplanıp, konteynırlardan lisanslı toplama firmaları tarafından alınarak bertaraf etme tesislerine ulaştırılmalıdır. Ancak binaların içerisinde; iç ortam sıcaklığında plastik ya da kartondan yapılmış konteynırlarda toplanan ilaçlar, belli bir süre sonra uygun bekletme koşullarının sağlanamaması ve belirli periyotlarda toplanmaması gibi nedenlerle problem daha da büyüebilmektedir. Çoğu zaman toplanan atık ilaçlar birkaç kat poşete konularak evsel atık konteynırlarına bırakılmaktadır. Atık ilaçların toplanması hakkında gerekli şartlar Tehlikeli Atıkların Kontrolü yönetmeliğinin altıncı maddesinde belirtilmiştir. İlaç atıklarının diğer tür (evsel, kağıt, karton vb.) atıklardan ayrı olarak, risksiz bir şekilde özel koku, sızdırmazlık, çevre kirliliği, görüntü kirliliği, hayvanların atığa erişiminin engellenmesi, tahliyesinin daha kolay olması gibi özelliklere sahip konteynırlarda tek başına toplanarak yakma tesislerine ulaştırılmalıdır. (Ceylan ve ark., 2018).

1.2. Kişisel Bakım Ürünleri (PCP)

Kişisel bakım ürünleri (PPCP), insani tüketim amaçlı ilaçlar ve veteriner amaçlı ilaçların reçetesiz-reçeteye satılan ilaçları ve kişisel bakım amaçlı aktif ve inert maddeleri içeren geniş bir bileşik grubunu temsil etmektedir. PPCP örnekleri; analjezikler, lipit düzenleyiciler, sentetik hormonlar, steroidler, kokular, şampuanlar, güneş koruyucu kremler ve kozmetik ürünleri içermektedir. PPCP'ler direk olarak ya da biyolojik olarak değişmiş formları şeklinde kanalizasyona verilerek AAT'lere gönderilmektedir. PPCP'ler AAT'lere ulaştığında;

- CO₂ ve suya dönüşüm,
- Tesisteki çamurda birikme/tutunma,
- Alıcı suya hiç bozunmamış olarak veya bozunma sonucu oluşan yan ürün şeklinde salınmaktadır (Jiang ve ark.,2013).

Kişisel bakım ürünlerinin yılda üretimi kesin olmamakla birlikte yaklaşık olarak 2×10^7 tondan daha fazladır (Wang ve ark., 2016). Bu üretim, PPCP'lerin hastalıkların önlenmesi veya iyileştirilmesi, su ürünleri yetiştiriciliği ve hayvancılık gibi ekonomik gelişmelerin sürdürülmesinde yüksek talepler nedeniyle artmaktadır. Artan talep PPCP'lerin çevredeki kaderini etkilemiştir. Bu durumun nedeni ise; PPCP'lerin yaygın olarak kullanılması ve teknolojiye gelişmelerdir. Bu konuda yapılmış çalışmalarda, PPCP'lerin atıksudaki konsantrasyonları ile PPCP'lerin üretim ve kullanım oranları arasında önemli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bir çalışmada, Kore'de PPCP'lerin yıllık üretim miktarları en yüksekte en düşük olana doğru sırasıyla; Asetaminofen, Karbamazepin, Simetidin, Diltiazem, Sülfametoksazol ve Trimetoprimin; oluşum konsantrasyonlarının atıksuda da benzer oranlarda bulduklarını tespit etmişlerdir (Choi ve ark., 2008).

İngiltere Galler'de yapılmış olan bir çalışmada iki farklı atık su arıtma teknolojisi kullanan AAT'lerde 55 ilaç, kişisel bakım ürünü, endokrin bozucu ve yasadışı uyuşturucu madde (PPCP)'nin durumunu belirlemek için 5 aylık bir izleme programı yürütülmüştür. AAT'lerin birinde aktif çamur ile arıtım yapılırken diğerinde damlatma filtre yatakları kullanılmaktadır. AAT çıkış suyunun, alıcı su ortam kalitesi üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Ham atıksuda bulunan PPCP'lerin, üretim miktarının PPCP üretim/tüketim oranıyla doğrudan ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Aktif çamur sistemi ile yapılan arıtma sonunda % 85'lik oranda giderim yapılırken; damlatmalı filtrenin kullanıldığı tesiste % 70'lik arıtma verimi tespit edilmiştir. Fakat polar olmayan PPCP bileşiklerinin tam olarak parçalanmadığı (mineralize edilemeyen) ifade edilmiştir. Yağışın yoğun olduğu zamanlarda ham atıksuyun konsantrasyonunun buna bağlı olarak seyreltiğini ifade etmişlerdir. Yaz aylarında mikro kirletici konsantrasyonlarının daha az olduğunu ileri sürülmüştür. Bu durumun nedeni olarak; sıcaklığın artmasıyla birlikte biyolojik aktivitenin arttığı ve yaz aylarında yağış alan bölgelerde seyrelmenin daha fazla olmasının bir sonucu olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak; sadece atıksuda değil atık çamur içinde gerekli analizler yapılarak PPCP konsantrasyonlarının belirlenmesi gerektiği, PPCP bileşiklerinin hangilerinin çamurda biriktiğinin tespit edilmesi ve daha kapsamlı yapılacak çalışmalarla belirlenen sonuçların doğrulanması gerektiği ifade edilmiştir (Kasprzyk ve ark., 2009).

PPCP'leri içeren arıtılmış ya da arıtılmamış atıksu ile sulama yoluyla toprakta da birikebilmektedir. PPCP'ler en çok AAT çıkış sularının deşarjı ile çevreyi kirletmektedir ve sürekli kalıcı organik kirleticiler olarak kabul edilmektedir. PPCP'ler konvansiyonel AAT'ler de arıtılmamaları nedeniyle alıcı su ortamlarına (yeraltı ve yüzey sularına) karışmaktadır (Wang ve ark., 2016).

1.3. Ftalatlar

Ftalatlar, ya da ftalat esterler, ftalik asit esterleridir ve genellikle esnekliklerini artırmak için plastiklere eklenen kanserojen bir maddedir. Sert plastik olan polivinilkloriti esnekliğe çevirmede kullanılmaktadır. Ayrıca erkeklerde kısırlığa neden olmaktadır. Bu özelliği nedeni ile prezervatiflerde kullanılmaktadır. Ancak hem kullanan, hem partneri için risk taşırlar.

En yaygın şekilde kullanılan ftalatlar aşağıda sıralanmıştır.

- DEHP (di(2-ethylhexyl)phthalate),

- DBP (dibutyl phthalate),
- BBP (butyl benzyl phthalate),
- DiNP ((di(iso-nonyl)phthalate)
- DiDP ((di(iso-decyl)phthalate)

DEHP içlerinde en yaygın kullanılan ftalattır ve çevreden alınan örneklerde en çok bu ftalat ile karşılaşmaktadır. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) DEHP'yi "insanlar için olası kanserojenler"; Avrupa Birliği ise "öncelikli güvenlik gerektiren ölümcül maddeler" arasında sınıflandırmaktadır.

Belki de en önemlisi bebeklerin ve çocukların oyuncaklarında pek çok ftalat türünün kullanılmasıdır. Bebeklerde ileriki yaşlarda kanser ve kısırlık riski olduğu ispatlanmıştır. Bu nedenle 1999 yılından itibaren bebeklerin oyuncaklarında kullanımı yasaklanmıştır. 2009 yılından itibaren Kaliforniya'da kullanımına sınır getirmiştir.

Ayrıca; kişisel bakım ürünlerinde, boyalarda (film ya da parlaklık vermek için), endüstriyel plastiklerde, özel tıbbi aletler ve malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır.

En tehlikeli 2 ftalata (DEHP ve DBP) maruziyet; gıdalar yolu ile olmaktadır. Bebeklerin diş kaşıcıları ve oyuncaklarında da ftalat bulunmaktadır. Genital bozukluklara, infertiliteye ve birçok organda tahrişe neden olmaktadır. Ftalatlar; kan ve anne sütü dahil olmak üzere insan dokusunda ve metabolit olarak idrarda saptanmıştır (URL 1). Ftalatların yaygın olarak kullanılması sonucunda yerüstü ve yaraltı su kaynaklarının kirlenmesine neden olan önemli mikro kirleticiler olup kullanımı azaltılmalı ve atıksulardan giderimi üzerine araştırmalar yapılmalıdır.

1.4.Mikro Kirleticilerle İlgili Faktörler

Oktanöl/su dağılım katsayısı (DOW); su çözünürlüğü, toprak/sediment adsorpsiyon etkinliği ve su ortamı için biyokonsantrasyon faktörü gibi birçok parametrenin çevresel değerlendirilmesinde ve tahmininde kullanılmaktadır.

Oktanöl/su dağılım katsayısı (DOW), bir kimyasalın iki fazdaki konsantrasyon oranı olarak tanımlanır. Oktanöl/su dağılım katsayısı, bir organik kimyasalın;

- Lipid ya da yağ içerisine dağılım,
- Toprak veya sediment gibi partiküle tutunma,
- Biyokütle ya da çamura tutunma,
- Çeşitli çevre ortamlarına dağılım eğilimini gösterir.

n-oktanöl/su dağılım katsayısı;

$$DOW = \frac{\text{n-oktanöl içerişindeki konsantrasyon}}{\text{su içerişindeki konsantrasyon}} \quad \text{LogDOW} = \log_{10}(DOW) \quad (1)$$

Oktanöl/su dağılım katsayısı (DOW), aynı zamanda sudaki biyokonsantrasyon potansiyelinin ve mikroorganizmaların tahmininde, toprak, sediment, biyokütle ve çamurun sorpsiyon oranının belirlenmesinde kullanılır. Oktanöl/su partitasyon katsayısı (KOW) (Hansch 1995);

$$KOW = DOW(1 + 10(\text{abs}(\text{pH} - \text{pKa}))) \quad (2) \quad \text{LogKOW} = \text{Log}_{10}(KOW) \quad (3)$$

Log KOW değeri, birçok ekotoksikoloji modelinin değerlendirilmesinde kullanılır.

Mikro kirleticiler maddelerin katılar tarafından adsorbe edilmesi, büyük ölçüde kirleticinin hidrofobikliğine bağlıdır. Katılarda mikro kirleticilerin emilimini tahmin etmek için Oktanöl-su ayırma katsayısı (Kow) sıklıkla kullanılır. Rogers (1996), Oktanöl- su ayırma katsayısı (Kow) ile ilgili bir kuram yayınlamıştır. Kurama göre, $\log Kow < 2.5$, düşük sorpsiyon potansiyelini, 2.5

<logKow <4 orta sorpsiyon potansiyelini ve logKow> 4 yüksek sorpsiyonu göstermektedir (Kılıç, 2015).

Mikro kirletici maddelerin biyolojik olarak bozunabilirliği hücreler tarafından bu mikro parçacıkların alınmasıdır. Bir bileşiğin biyo-bozunabilirliği,

- Kısa yan zincirlere sahip doğrusal bileşikler,
- Doymamış alifatik bileşikler ve
- Elektron başına sahip bileşiklere bağlıdır.

Ancak, AAT'lerde artılamayan mikro kirleticilerin çevreye verdiği zararı azaltmak ve arıtmak için; mikro kirleticileri gideren arıtma proseslerinin zorunlu olarak var olan arıtma tesislerine entegre edilmesi sağlanmalıdır (Luo ve ark., 2014).

2.Su Ortamlarında Bulunan Mikro Kirleticiler

2.1.Yüzey Sularında Bulunan Mikro Kirleticiler

Mikro kirleticiler yüzey sularına birçok şekilde girebilmektedir. Fakat yüzey sularına en çok, AAT'lerin çıkış sularının deşarj edilmesi sonucu karışmaktadır. Su ortamında mikro kirleticiler biyolojik parçalanma, doğrudan ya da dolaylı fotoliz, sedimentte birikme ve suda seyrelme şeklinde değişimlere uğramaktadır (Pal ve ark., 2010). Yağışlı mevsimlerde suda seyrelmenin fazla olması nedeniyle sudaki mikro kirletici konsantrasyonları daha az seviyelerde iken, yaz aylarında, yağışın az olması nedeniyle seyrelme azalır ve kış aylarına göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir (Luo ve ark., 2014).

Yüzey sularında bulunan mikro kirleticilerin konsantrasyonları bulunduğu yere göre farklılık göstermektedir. Ülkelerin ve şehirlerin gelişmişlik seviyelerine bağlı olarak kullanılan ilaç çeşitliliği ve miktarı artmaktadır. Özellikle yaşlı nüfusun fazla olduğu bölgelerde ilaç kullanımına bağlı olarak mikro kirleticilerin kanalizasyondaki konsantrasyonları daha fazladır. Ayrıca bir yerin iklimi nedeniyle bazı hastalıkların yaygın olarak görülmesine bağlı olarak kullanılan ilaçların içeriğine göre yüzey sularında daha fazla buldukları tespit edilmiştir (Luo ve ark., 2014).

Al Rafi ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, Costa Rica, ABD ve Tayvan'da bulunan doğal su kaynaklarındaki mikro kirleticiler ve konsantrasyonları kıyaslanmıştır. Costa Rica'da hastane atıksuları nedeniyle *Ibuprofen*, *Ketoprofen*, *Gemfibrozil* ve *Kafein* (sırasıyla 36.8, 9.8, 17.0 ve 1121.4 µg/L) mikro kirleticilerinin konsantrasyonlarının yüksek olduğu ve endişe verici boyutlara ulaştığını tespit edilmiştir. ABD ve Tayvan'da ise, *Kafein* konsantrasyonu diğer kirleticilere göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu ve Costa Rica'dan farklı olarak *Kafein* konsantrasyonu tahmin edilen değerlerin çok altında tespit edilmiştir. Genellikle, yoğun nüfuslu bölgelerin doğal su kaynaklarında görülen bu kirleticiler, bu bölgelerde bahsedilen mikro kirleticileri içeren ilaçların ve kimyasalların, kitlesel kullanımı nedeniyle ortaya çıkmış olabileceği belirtilmiştir (Al-Rifai ve ark., 2011).

Örneğin, Çin'in en büyük şehirlerinden biri olan Guangzhou'nun yüzey suyundaki *Nonilfenol*, *Bisfenol A* ve *Triklosan* konsantrasyonları oldukça yüksek bulunmuştur. Çin'de bulunan nehirdeki *Nonilfenol* konsantrasyonu Yunan nehrine göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. *Nonilfenol* konsantrasyonlarının bu iki ülkede de tahmin edilen değerlerden fazla bulunmasının, nüfusun yaşlanmasına bağlı olarak ilaç kullanımının artması ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir (Al-Rifai ve ark., 2011).

Pal ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışmada, Japonya'da kanalizasyon sızıntısı olduğu düşünülen 37 nehirde, 13 ilaç ve kişisel bakım ürününün konsantrasyonları araştırılmıştır. *Crotamiton*, *Karbamazepin*, *Ibuprofen* ve *Mefenamik asit* bileşenlerinin nehirdeki akı ile havzadaki popülasyon arasında pozitif korelasyon gösterdiğini ileri sürmüşlerdir. Nüfus arttıkça ilaç ve kişisel bakım ürünlerinin kullanımının artması sonucu nehirlere daha fazla oranda karıştığı ifade edilmiştir (Pal ve ark., 2010).

2.2. Yeraltı Suyunda Bulunan Mikro Kirleticiler

Yüzey sularının aksine yeraltı sularında mikro kirleticiler daha az konsantrasyonlar da bulunmaktadır. Yeraltı suyunun mikro kirletici kontaminasyonu temel olarak; depolama sahası sızıntı suları, yeraltı-yüzey suyu etkileşimi, tarım arazilerindeki kirlenmiş suların sızması, fosseptiklerin ve kanalizasyon sistemleri sızmasından kaynaklanmaktadır. Mikro kirleticilerin fizikokimyasal özellikleri bileşiklerin yeraltı suyuna sızmasında etkilidir. Oktanol su ayırma katsayısı $K_{ow} < 1.5$ 'e sahip bileşiklerin (örn, trimetoprim ve TCEP) çözünmüş fazda kalma eğiliminde oldukları ve yeraltı sularında bulunma olasılıklarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Seçilmiş beş ülke için yapılmış olan bir çalışmada, yeraltı suyunda mikro kirleticilerin büyük çoğunluğunun 100 ng/L'den daha az konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir. Mikro kirleticilerin tahmin edilen konsantrasyonları ile oluşum konsantrasyonlarının karşılaştırılması sonucu bileşiklerin çoğu çevre için önemli tehlike potansiyeli içermeyecek seviyelerde olup bununla birlikte, ABD'da arazi uygulama sahasında, yeraltı sularında tahmin edilen konsantrasyon değerlerinden yüksek konsantrasyonlarda (2 veya 3 kat daha fazla) steroid hormonları bulunmuştur. Tahmin edilen mikro kirletici konsantrasyonlarından daha fazla bulunmasının nedeni olarak, atıksuların toprağın bir kısmına uygulanmasının bir sonucu olduğunu ileri sürmüşlerdir. Çalışmada, yüksek düzey steroid hormonlarının olumsuz etkilerini belirtilmemekle birlikte doğrudan veya dolaylı olarak içilebilir suyun yeniden kullanımı için yeraltı suyu kullanıldığında potansiyel bir tehlike kaynağı olabileceği sonucuna varılmıştır (Luo ve ark., 2014).

3. Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikro Kirleticilerin Arıtılabilirlikleri

AAT'lere gelen atıksuda bulunan temel kirletici parametrelerin (BOİ5, KOİ, AKM, N ve P) dışında suda ve toprakta zor parçalanabilen mikro kirleticiler ulaştığında; çözünürlük, uçuculuk, adsorplanabilirlik, biyoparçalanabilirlik, polarite ve stabilite özelliklerini etkileyen bileşiklerde bulunmaktadır (Ceylan, 2018). Ayrıca mikro kirleticilerin AAT'lerde; birincil, ikincil ve üçüncül arıtmaları yapılmaktadır. Diğer arıtım yöntemlerine göre daha maliyetli olan üçüncül arıtım genellikle daha yüksek kalitede su elde etmek için kullanılmaktadır. Üçüncül arıtma sistemleriyle mikro kirleticilerin arıtılması sonucunda hem doğanın hem de halk sağlığının korunması sağlanabilir (Luo et al., 2014). Mikro kirleticilerin AAT'lerdeki durumunu iç ve dış faktörler etkilemektedir. İç faktörler; mikro kirleticilerin hidrofobiklik, biyo-bozunabilirlik ve uçuculuğudur. Genel olarak, polar ve uçucu olmayan bileşiklerin atıksu arıtma proseslerinden kaçma olasılığı daha yüksektir. Dış etkenler ise, AAT'lere göre değişiklik göstermektedir.

Birincil arıtımda amaç, katı maddelerin giderilmesi ve bu şekilde proseste yer alan mekanik teçhizatın tıkanmaya karşı korunmasıdır. Bir çalışmada, birincil arıtımda ön çökeltme tankında endokrin bozuculardan olan *Nonilfenol monoeksholat* %13 ve *Bisfenol A* ise %43'lük giderim verimi elde edilmiştir. Birincil arıtımda havalandırılmış kum haznesinin kullanılması, Bisfenol A ve Nonilfenol gibi fenolik bileşiklerin önemli ölçüde artmasına neden olabileceği ifade edilmiştir. Parçalanmış maddelere bağlanan bileşikler havalandırma işlemi nedeniyle tekrar suya karışması sonucunda artmasına neden olabileceği ifade edilmiştir (Stasinakis ve ark., 2013). Bir çalışmada, birincil arıtımın *İbuprofen*, *Naproxen*, *Sulfamethokzal* ve *Estron* mikro kirleticilerinin giderimi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (Luo ve ark., 2014).

İkincil arıtımda; biyolojik bozunma, kimyasal, fiziksel arıtım ve katıda (çamurda) tutunma prosesleri gerçekleştirilmektedir. Biyolojik arıtım sonunda, mineraller ve tam olarak parçalanmamış maddelerin yan ürünleri oluşmaktadır. Bir çalışmada, *BTRs*; benzothiazoles, *BTHs*; perflorlanmış bileşikler, *PFCs*; steroid olmayan endokrin bozucuların ham atıksu da ve ikincil arıtmadan çıkan atıksudaki konsantrasyonları araştırılmıştır. Ham atıksu ve kanalizasyon çamuru içindeki en yüksek konsantrasyonlar sırasıyla BTR ve NP için belirlenirken, PFC perflorinli bileşikler ise diğerlerine göre daha düşük konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Susuzlaştırılmış çamurda ise ortalama konsantrasyonlar 0,8 ng/g (*perflorik asit*) ve 3895 ng/g (*Nonilfenol*) aralığında değiştiği ifade edilmiştir.

Çalışmada incelenen tesis, birincil çökeltmenin olduğu ve biyolojik azot ve fosforun giderildiği aktif çamur sisteminden oluşmaktadır. 27 bileşiğin 9'unun arıtım verimi $> \% 70$ iken diğer kirleticiler atıksu da ya daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiş ya da daha az oranda arıtılmıştır. Tesiste yapılan en iyi arıtım, biyolojik parçalanmanın olduğu havalandırma tankında görülürken (BTR %58); tüm öncelikli kirleticilerin ise ikincil çamurda biriktiği tespit edilmiştir. Hedef bileşiklerin sadece % 33'ü, birincil ve ikincil atık su arıtımında % 70'ten daha yüksek bir verimde arıtılmıştır (Stasinakis ve ark., 2013). Fakat çamurda mikro kirleticilerin birikmesi mikro kirleticilerin sıvı fazdan katı faza geçmiş olduklarını göstermektedir. Bu durumda oluşan çamurun arıtılması için arıtım prosesleri ile mikro kirleticilerin giderimi yapılmalıdır.

3.1. Mikro Kirleticilerin Giderim Yöntemleri ve Yapılmış Olan Çalışmalar

Mikro kirleticilerin, atıksulardan giderilmesinde genel olarak kullanılan yaklaşımlar aşağıda sıralanmıştır (Dereci, 2010).

- Mevcut arıtma tesisleri en iyi şekilde optimize edilerek kullanımı,
- Mevcut arıtma tesisleri ile yeni teknolojilerin birlikte kullanımı,
- Kaynakta ayırma metodu,
- Kaynakta ölçüm metotlarıdır.

Tıbbi ilaçların sucul ortamlarda ve atıksu arıtma tesisi çıkış sularında eser miktarlarda tespit edilmesi, sucul ortamlardaki canlılar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için AAT dizaynlarına yeni yaklaşımların getirilmesine yol açmıştır. Geleneksel AAT'ler organik madde giderimi üzerine tasarlanmış olmaları nedeniyle mikro kirleticilerin arıtımında etkili değildir. Tıbbi ilaçların yapısı, klasik atıksu arıtma tesislerine gelen organik maddelerden çok farklıdır. Kendilerine özel yapıları olan tıbbi ilaçların, organik yüke etkileri çok azdır (Dereci, 2010).

Bu kirleticilerin giderimin de mevcut arıtma yöntemlerinin yetersiz olduğu dikkate alınrsa, koagülasyon-flokülasyon, aktif karbon, ileri oksidasyon prosesleri ve membran teknolojileri gibi alternatif arıtma yöntemlerinin kullanılması gereklidir. Bu arıtma yöntemleri kullanılarak mikro kirleticilerin giderimin de en etkili olan ikili ya da tekli arıtma yöntemi belirlenebilir (Oğuz ve Akkurt., 2018). Alt başlıklarda alternatif arıtma yöntemleri ile su ortamlarından mikro kirleticilerin giderim verimleri kıyaslanmıştır.

3.1.1. Koagülasyon-Flokülasyon

Fizikokimyasal arıtma proseslerinin başlıcalarından olan koagülasyon-flokülasyon ve flotasyonun uygulama alanları; kanalizasyon sistemlerine deşarj öncesi endüstriyel atıksuların ön arıtımı, kentsel atıksuların ön ve üçüncül arıtımı ve içme suyu arıtma tesisleridir. Genel olarak koagülasyon- flokülasyon prosesinin çoğu mikro kirleticilerin giderimi için etkili değildir (Nas ve ark., 2017). Mikro kirleticiler bu proseslerle sadece sıvı fazdan katı faza geçiş yapmaktadır.

Suarez ve ark. (2009) yapmış oldukları çalışmada, hastane atıksuyundan 13 adet PPCP'nin giderimine yönelik koagülasyon-flokülasyon ve flotasyon proseslerinin uygulandığı bir çalışma yapmıştır. Ön arıtım süresince %92 oranında toplam askıda katı madde giderimi sağlanırken, misk kokuları da kesikli koagülasyon-flokülasyon prosesi süresince yüksek derecede elimine edilmiştir. *Diklofenak*, *Naproxen* ve *Ibuprofen* gibi farmasotiklerin maksimum giderim verimleri sırasıyla %46, %42 ve %23 olup, diğer PPCP'lerin fizikokimyasal arıtmadan etkilenmediği görülmüştür. Koagülasyon-flokülasyon ve flotasyon kombinasyonu ile ham atıksuyun arıtımı tüm prosesin verimliliğini geliştirmiştir. Çalışmanın sonucunda koagülasyon-flokülasyon prosesinin, hastane atıksuyu karakteristiklerini kentsel atıksuya benzetmek için uygun bir ön arıtma seçeneği olabileceği ifade edilmiştir. Tablo 3' te bazı mikro kirleticilere ait arıtma verimleri verilmiştir (Suarez ve ark., 2009).

Tablo 3. Bazı mikro kirleticilerin koagülasyon-flokülasyon prosesinde giderimi

Koagulant	Doz ve pH	Atıksudaki bileşenler	Arıtma Verimleri (%)
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	<i>Ibuprofen</i>	12.0 ± 4.8
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	<i>Diklofenak</i>	21.6 ± 19.4
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	<i>Naproxen</i>	31.8 ± 10.2
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	<i>Carbamazepine</i>	6.3 ± 15.9
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	<i>Sulfamethoxazole</i>	6.0 ± 9.5
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	<i>Tonalide</i>	83.4 ± 14.3
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	<i>Galaxolide</i>	79.2 ± 9.9

Tablo 3 incelendiğinde koagülasyon-flokülasyon prosesinin, *Tonalide* ve *Galaxolide* mikro kirleticilerini yüksek verimde giderirken; diğer mikro kirleticileri çok düşük oranda giderdiği hatta neredeyse hiç gidermediği görülmektedir. Sadece birkaç mikro kirleticinin giderimin de etkili bir yöntem iken; diğer kirleticileri düşük verimde

arıtılması nedeniyle tek başına yeterli değildir. Başka arıtma yöntemleri ile birleştirilerek kullanılması ile arıtma verimi artırılabilir.

3.1.2. Aktif Karbon

Geniş iç gözenek yapısı, büyük kristal forma sahip olan aktif karbonlar; insan sağlığına zararsız, kullanışlı ürünler olup, oldukça geniş iç yüzey alanına sahiptir.

Sahip oldukları gözenekleri vasıtasıyla, çözülmekteki molekül ve iyonları iç yüzeylerine doğru çekerek kirleticileri adsorbe ederler. Genellikle, içme suyunda tat ve koku giderimin de kullanılırlar. Hem toz aktif karbon (PAC) hem de granüler aktif karbon (GAC) adsorpsiyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan adsorbanın özelliğine bağlı olarak toz ve granüler aktif karbon ile kirleticilerin giderim verimleri değişmektedir.

Koagülasyon- flokülasyon prosesi ile kıyaslandığında aktif karbon mikro kirletici giderimin de daha etkilidir (Nas ve ark., 2017).

Kovala ve ark. (2013), hastane atıksularının ön arıtımında toz aktif karbon, ozonlama ve UV kullanımının arıtma verimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Giderim verimlerinin % 90'ın üzerinde bulunmuştur. Tablo 4'te bazı mikro kirleticilerin aktif karbon adsorpsiyonu ile arıtma verimleri verilmiştir (Kovala ve ark., 2013; Grover ve ark., 2011).

Tablo 4. Bazı Mikro Kirleticilerin Adsorpsiyon Prosesi İle Arıtma Verimleri

Adsorbent	Dozaj	Bileşik	Arıtma Verimi (%)
PAC	8, 23, 43 mg/l	Diklofenak	96, 98, 99
PAC	8, 23, 43 mg/l	Karbamazepine	98, 99, 100
PAC	8, 23, 43 mg/l	Propranolol	>91, >94, >94
PAC	8, 23, 43 mg/l	Sülfamethokzol	2, 33, 62
GAC	Tam ölçek	Diklofenak	>98
GAC	Tam ölçek	Karbamazepine	23
GAC	Tam ölçek	Propranolol	17

Tablo 4 incelendiğinde; *Diklofenak*, *Karbamazepine* ve *Propranolol* mikro kirleticilerinin toz aktif karbon ile granüler aktif karbona göre daha iyi verimde arıtıldıkları görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen arıtma verimlerine göre; granüler aktif karbon ve toz aktif karbonun her ikisinin de bazı mikro kirleticilerin giderimin de etkili yöntemler olarak kullanılabilmesi sonucuna varılabilir.

3.1.3. Ozonlama

İlaç kalıntılarının içme sularından giderimin de yaygın olarak kullanılan ozonlama prosesinde; hızlı ozon tüketiminin olması, buna bağlı olarak ilaç kalıntılarının oksitlenmesinin tam olarak gerçekleşmemesi ve bazı durumlarda ozonlama ile kanserojen bromat iyonlarının zararlı yan ürün olan bromit iyonlarına dönüşmesi gibi olumsuz özellikleri vardır (Yu ve ark., 2013).

Hastane atıksularında ise, ozonlama ile birlikte toz aktif karbon ilavesi de pek çok farmasotiğin atıksudan gideriminde etkili olmasına rağmen, iyotlu röntgen kontrast maddelerinin giderimin de iyi sonuç vermemektedir. Hastanelerde enfeksiyon etkeni olarak bilinen bazı bakterilerin ozon gazı ve/veya negatif iyona duyarlılıkları ve dezenfeksiyon yöntemlerinin kullanımının değerlendirilmesine ilişkin yapılan bir çalışmada, tüm bakteri türlerinin ozon gazına son derece duyarlı olduğu ve kısa maruziyet sürelerinde üremelerinin inhibe olduğu belirlenmiştir. Ozonlama nispeten ucuz bir tekniktir. Fakat oluşan yan ürünler yeterli karakterize edilememektedir. Bu nedenle, ozonlanmış AAT çıkış sularında yan ürünlerin hakimiyeti araştırılmalıdır (Yaşar ve ark., 2013). Tablo 5' te sadece ozonlama ve ileri oksidasyon prosesi ile entegre edilmiş ozonlama yöntemlerine ait giderim verimleri verilmiştir (Sui ve ark., 2010; Gerrity ve ark., 2011).

Tablo 5. Bazı Bileşiklerin Ozonlama ve İleri Oksidasyon Prosesleri İle Arıtma Verimleri

Doz	Bileşik	Arıtma Verimi (%)
O ₃ (5 mg/l)	Karbamazepine	>90
O ₃ (5 mg/l)	Diklofenak	>90

O ₃ (5 mg/l)	<i>Metoprolol</i>	80-90
O ₃ (5 mg/l)	<i>Bezafibrat</i>	0-50
O ₃ (5 mg/l) + H ₂ O ₂ (3,5 mg/l)	<i>Karbamazepine</i>	>99
O ₃ (5 mg/l) + H ₂ O ₂ (3,5 mg/l)	<i>Diklofenak</i>	>99
O ₃ (5 mg/l) + H ₂ O ₂ (3,5 mg/l)	<i>Sülfamethokzol</i>	98
O ₃ (5 mg/l) + H ₂ O ₂ (3,5 mg/l)	<i>Triklosan</i>	>99
O ₃ (5 mg/l) + H ₂ O ₂ (3,5 mg/l)	<i>Bisfenol A</i>	>78

Tablo 5 incelendiğinde; *Karbamazepine*, *Diklofenak* ve *Triklosan* bileşiklerinin % 90'ın üstünde arıtma verimleriyle giderildikleri görülmektedir. Ozonlama, ileri oksidasyon prosesi ile birlikte kullanıldığında arıtma veriminin % 98 gibi yüksek oranda olup kirleticilerin neredeyse tamamen giderildiği tespit edilmiştir. Fakat, *Bezafibrat* ve *Bisfenol A* daha düşük verimde arıtılmıştır. Diğer mikro kirleticilerinde yüksek oranda arıtılabilmesi için başka arıtma prosesleri ile entegre edilerek giderimi sağlanabilir.

Diklofenak İlaç Kalıntısının UV ve UV/ H₂O₂ yöntemleri ile gideriminin karşılaştırıldığı bir çalışmada, UV prosesi ile *Diklofenak*'ın %90 verim ile gerçekleşirken, UV/ H₂O₂ prosesi ile giderim verimi ise %100 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında her iki prosesin de *Diklofenak*'ı iyi oranda giderdiği sonucuna varılmıştır. Hidrojen peroksit ilavesi ile OH⁻ sayısının artmasına neden olarak daha fazla sayıda *Diklofenak*'a etki ederek parçalanmanın hızını artırmaktadır. Bu nedenle *Diklofenak* gideriminin H₂O₂ varlığında daha fazla olduğu ifade edilmiştir (Üstün Odabaşı ve ark., 2018).

3.1.4. Membran Filtrasyon

Partikül maddelerin, kolloidlerin, büyük moleküllerin, iyonların, askıda katı maddelerin ve çözünmüş maddelerin ayırımını yapmak için kullanılan bir teknolojidir (Arı, 2009).

Membran işlemlerinin arıtma verimliliği büyük ölçüde membran işleminin türüne, membranın özelliklerine, membran gözeneklerinin tıkanmasına, çalışma koşullarına ve seçilen mikro kirleticilerin özelliklerine bağlıdır. Mikrofiltrasyon (MF) ve ultrafiltrasyon (UF) bulanıklığı ortadan kaldırmak için oldukça etkili yöntemlerdir.

Jerman ve ark. (2009), UF işlemi sırasında *İbuprofen* ve *Östradiol* durumunu belirlemek ve organik maddelerin filtrenin tıkanması üzerine olan etkisini tespit etmeye çalışmışlardır. Doğal organik madde olmadan hidrofilik UF membranı, *İbuprofeni* çok düşük miktarda, *Östradiolu* ise % 80'den daha az oranda gidermiştir. Hidrofobik UF membranında ise *Östradiol* % 80'e kadar yüksek oranda giderilirken; *İbuprofeni* ise % 25'e kadar gidermiştir. Hidrofilik membranın hidrofobik UF membranına göre çok daha az oranda mikro kirleticileri giderdiği tespit edilmiştir.

Garcia ve ark. (2013), evsel atıksuyu tekrar kullanabilmek için atıksudaki mikro kirleticilerin gideriminin de MF'ye ters ozmoz (RO) entegre edilerek arıtımı incelenmiştir. MF ile *Bis (2-ethylhexyl) ftalatı* % 50'den fazla oranda gidermişlerdir. MF'dan sonra RO sistemi ile arıtım yapıldıktan sonra arıtma verimi % 65-90 aralığında yüksek verimde (*Nonilfenol* ve *İbuprofen* hariç) mikro kirleticilerin giderildiğini ileri sürmüşlerdir. Bu nedenle tek başına MF mikro kirleticilerin gideriminin de RO ile birleştirildikten sonra arıtım verimine (MF+RO % 90) göre daha az etkili olduğu tespit edilmiştir (Garcia ve ark., 2013). Bu verilere bakılarak RO ile MF ve UF entegre edilmesiyle mikro kirleticilerin daha yüksek oranda giderilebileceği sonucuna varılabilir.

Başka bir çalışmada, Kayseri Organize Sanayi Bölgesi AAT atıksularının, pilot ölçekteki membran biyoreaktör (MBR) ve ters ozmoz (RO) sistemi ile mikro kirleticilerin arıtılabilirliği değerlendirilmiştir. Mikro kirletici gideriminin sağlanması için ilk adım olarak MBR'nin AAT ön çökeltim tankı çıkışından beslenerek arıtım yapılmış, ikinci adımda ise MBR çıkışından beslenen RO işletilmiştir. MBR'nin işletim süresi boyunca ortalama temel kirlilik parametresi olan KOİ'de % 91 giderim verimi sağlanmıştır. MBR çıkış suyuyla işletilen ters ozmoz sisteminde ortalama %98.2 ± 0,5 iletkenlik giderimi sağlanmıştır. 67'si öncelikli kirletici olan 83 mikro kirleticinin analizi yapılmıştır. Mikro kirleticilerden, 67 öncelikli kirleticinin 46'sı tespit sınırının altında olduğu görülmüştür (Özcan, 2017).

Yapılan çalışmalarda nanofiltrasyon ve ters ozmoz sistemlerinin ilaç kalıntılarının ve mikro kirleticilerin gideriminin de etkili olduğu görülmüştür. Bu yöntemlerin kullanımını azaltan en önemli dezavantajı, membranların biyolojik

olarak tıkanması ve filtrede tutulan kısmın bertaraf sorunu ana problem olarak karşımıza çıkmaktadır (Yu ve ark., 2013; Ben Abdelmelek ve ark.,2011).

3.1.5. Membran Biyoreaktör

Membran biyoreaktör prosesi, biyolojik aktif çamur sistemi ile membran filtrelerin (UF ve MF) birleştirilmesi sonucu oluşmaktadır. Membran biyoreaktörlerin birçok avantajı vardır. Bunlardan bazıları; yüksek oranda mikrobiyal arıtımı, kontrol edilebilir çamur yaşı ve hidrolik bekletme süreleri, yüksek kalitede çıkış suyu eldesi, reaktörde yüksek biyokütle içeriği, daha az çamur tıkanma oranı, daha düşük çamur üretimi ve daha az alan ihtiyacı olarak sıralanabilir (Luo ve ark., 2014).

MBR ile yapılmış olan bir çalışmada ham atıksudan; *Bisfenol A*, *Estradiol*, *Östron* ve *İbuprofen* neredeyse tamamen (yaklaşık % 100) giderilmiştir. Diğer mikro kirleticiler ise % 90 oranında ham atıksudan uzaklaştırılmıştır. Fakat; *Diklofenak*, *Karbamazepine*, *Diazem* gibi bazı mikro kirleticiler ise (% 24-68) tamamen giderilememiştir (Trinh ve ark., 2012).

3.2. Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliği

Kurak ve yarı kurak iklime sahip birçok ülkede, arıtılmış atıksular sulama suyu olarak kullanılmaktadır. ABD, Almanya, Çin ve İrlanda gibi ülkelerde arıtılmış atıksular sulama suyu olarak yeniden kullanılmaktadır. Fakat sulama suları; kişisel bakım ürünlerinin kalıntılarını, farmasötikleri ve organik kirleticileri içermektedir. Arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanılması sonucunda; toprakta, toprakta yaşayan canlılarda ve yetiştirilen ürünlerde bu kirleticiler birikmektedir. Bu nedenle kişisel bakım ürünleri, farmasötikler ve organik kirleticiler açısından bu sulara dikkat edilmeli ve konsantrasyonları tespit edilerek sulama suyu için uygun kriterlerde ise kullanılmalıdır. Atıksudaki PPCP'lerin yaklaşık % 80'i AAT'lerinde arıtılmadan; alıcı ortama deşarj edilmekte ya da sulama suyu olarak kullanılmaktadır. AAT'lerde kullanılan teknolojilerle PPCP'lerin biyolojik sistem üzerinde zararsız hale getirilip getirilemediği açık değildir. Ekin sulama sistemlerinde arıtılmış atıksuların sulama (içinde PPCP'leri içeren kimyasalların olduğu arıtılmış atıksu) suyu olarak kullanımı hektar başına 1.2 g/ha-121,3g/ha arasında değişmektedir. PPCP'ler toprakta iyi bir şekilde adsorbe edildikten sonra toprağın üst kısmında 0-30 cm'de kalırken yüksek akıcı özellikteki kimyasallar yeraltı suyuna ve yüzey sularına karışmaktadır. Böylece, içme suyunun kalitesini de doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Yapılmış olan birçok çalışmada, antibiyotikler, anti-enflamatuarlar ve anti-septiklerin tarım yapılan toprakta iz miktarda yani kg toprak başına nano gram ya da kg toprak başına gram seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Arıtılmış atıksularla toprağın sulandığı bir çalışmada, kuru toprakta *Karbamazepine* 549 µg/ kg kuru toprak iken, antibiyotiklerde bulunan *Triklosan* 16,7 µg/ kg kuru toprak olarak bulunmuştur. Toprakta mikro kirleticiler düşük konsantrasyonlarda bulunuyor olsalar bile besin zinciri ile insanlara kadar aktarılmaktadır. Ayrıca tarımsal alanlardaki akışla birlikte yüzey suyuna ve yeraltı suyuna geçerek içme suyuna da karışmaktadır (Qin ve ark., 2015).

Farmasötik kalıntıları içeren atıksuların arazilerde sulama amaçlı kullanılması sonucunda, kalıntıların yeraltı suyuna karışarak kirlenmesine neden olmaktadır (Balci, 2010). Bir çalışmada, araştırmacılar atıksu ile sulanan topraklardan aldıkları toprak numunelerinde farmasötik kalıntılar tespit etmişlerdir (Kinney ve ark., 2006). *Karbamazepin* ve *Eritromisin* gibi bazı farmasötikler toprakta altı aydan daha uzun sürelerde dirençli olarak kalabilmektedir (Balci, 2010). Ayrıca AAT'lerde farmasötiklerin gideriminde katı çamur üzerinde adsorbsiyon ile birikme işlemi uygulanmaktadır. Bu durumda sucul çevreye ve yeraltı sularına arıtma çamuru uygulamalarıyla veya toprak erozyonu ile farmasötiklerin girmesine yol açmaktadır (Ulutaş, 2017).

PPCP'ler sadece toprakta birikmekle kalmaz, ekinlerin büyümesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bazı PPCP'ler ekinlerde birikerek insan sağlığını da (endokrin sistemini) tehdit etmektedir. Son yıllarda ABD, Avrupa Birliği ve diğer ülkelerin yer aldığı PPCP'lerin çevresel olumsuz etkilerini içeren bir klavuz yayımlanmıştır. Klavuzda PPCP'ler için limit değerler varken; PPCP'lerin akışı, dağılımı ve uzaklaştırılması konusunda verilen bilgiler yetersizdir. Toprakta bulunan PPCP'leri uzaklaştırmak için hidroliz, fotoliz, sorpsiyon, mineralizasyon ve biyodegradasyon gibi yöntemlerle kısa sürede giderilebilmektedir.

Topraktaki mikrobiyal aktivite; PPCP'nin kimyasal yapısına ve toprak özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Sterilizasyon işlemi mikro kirleticilerin yarılanma ömrünü uzatarak biyolojik parçalanmayı azaltmaktadır (Xu ve ark., 2009).

Artırılmış atıksular ile sulanan toprakta PPCP'lerin akıbeti ve taşınımı toprakta biyolojik olarak emilimine ve parçalanabilirliğine bağlıdır. Bu iki proseste kumlu topraklarda bulunan PPCP miktarı ile ilgili tahmine göre emilim % 27-98 etkili iken, parçalanabilirlik % 0-70 oranda PPCP birikiminden sorumludur. Kirleticilerin yarılanma ömürleri ve bozunma sabitleri (k) de buldukları toprakta ya da suda ne kadar süreyle kalacağını etkilemektedir (Qin ve ark., 2015). Bisfenol A, alkilfenoller, alkilfenol etoksilatlar, ftalatlar, alev geciktiriciler ve sentetik misk bileşikleri gibi çoklu PPCP'ler, düşük konsantrasyonlardan ng/L'den binlerce ng/L'ye kadar değişen konsantrasyonlarda yağmur suyu örneklerinde tespit edilmiştir (Qin ve ark., 2015). Bu durum ise daha önce atmosferde buharlaşan kirleticilerin, atmosferik birikme yoluyla tarım arazilerine ve yüzey sularına karışabileceğini göstermektedir. Birçok ilacın düşük uçuculuğa sahip olması nedeniyle atmosferik ortama yayılımı oldukça sınırlıdır (Liu ve ark., 2013). Çok sayıda PPCP ve özellikle hidrofobik kimyasallar artırılmış su ile sulanan topraklarda yetişen bitkilerde tespit edilmiştir. Tarım alanlarına salınan orta derecede hidrofobik PPCP'lerin, bitkilere alınma ve dağılıma olasılıklarının yüksek olduğu düşünülmektedir (Qin ve ark., 2015).

Bir çalışmada, sera deneyinde üç farklı ilacın (Karbamazepin, Difenhidramin ve Fluoksetin) ve iki farklı kişisel bakım ürününün (Triklosan ve Triklokarbon) soya fasulyesi tarafından alımını araştırmışlardır. Karbamazepin, Trikloran ve Triklokarbonun soya fasulyesinin köklerinde biriktiği ve daha sonra fasulyeye ve yapraklarına geçtiği görülmüştür. Fakat Difenhidramin ve Fluoksetin birikiminin ve iletiminin sınırlı olduğu tespit edilmiştir (Qin ve ark., 2015).

Carter ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmada, nispeten gerçekçi maruziyet konsantrasyonlarında turp (*Raphanus sativus*) ve çavdar otu (*Lolium perenne*) kullanarak toprak-bitki sisteminde 7 farklı PPCP'nin iletimini ve alımını araştırmışlardır. Deney sonucunda, test toprağında geniş iyonizasyona (>% 99) sahip Diklofenak'ın toprakta ve gözenek suyunda yüksek oranda olduğu tespit edilirken, bitkilerde daha az dağıldığı tespit edilmiştir.

Nötral Karbamazepin (düşük logKow değeri) ile karşılaştırıldığında, çavdarın içinde Diklofenak, Fluoksetin ve Propranololun (>% 99) 600 katına kadar daha az alımı olmuştur. Köklerdeki nötr PPCP'lerin alımı ile pozitif ilişkili iken, köklerden yapraklara iletim ile negatif ilişkili bulunmuştur (Wu ve ark., 2013).

Arıtma tesislerinde tam olarak arıtılmayan farmasötikler ve PPCP'ler toprakta ve suda birikerek temiz su kaynaklarını tehdit etmekle kalmayıp topraktan bitkiye, bitkiden hayvanlara ve insanlara kadar döngü halinde sürekli olarak aktarılmaktadır. Bu nedenle özellikle artırılmış olan atıksuların sulama suyu olarak kullanımı bu kirleticilerin toprakta birikmesinde oldukça etkilidir. Fakat ülkemizde AAT Teknik Usuller Tebliği Ek 7'de Artırılmış Atıksuların sulama suyu olarak kullanılabilmesi için bazı standartlar bulunmaktadır. Bu sınır değerler; tuzluluk, ağır metallerin ve borun konsantrasyonu, iletkenlik, SAR değeri gibi parametreler için belirlenmiştir. Mikro kirleticilerle ilgili artırılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanımında herhangi bir yasal sınır bulunmamaktadır. Bakanlıklar ve yetkili kuruluşlar tarafından bir an önce sulama sularındaki mikro kirleticilerin konsantrasyonları ile ilgili sınır değerler belirlenmeli ve en kısa zamanda uygulamaya geçilmelidir.

3.3. Mikro Kirleticilerin İnsan Sağlığı Üzerine Olumsuz Etkileri ve Riskleri

Kişisel bakım ürünleri ve poli aromatik hidrokarbonlar gibi mikro kirleticiler; suda, toprakta, sedimentte ve kumlu topraklarda bulunmaları nedeniyle insan sağlığını tehdit etmektedir. Fakat birden fazla kimyasal sınıf için eş zamanlı sağlık riski değerlendirmesi ile ilgili sınırlı sayıda bilgi bulunmaktadır (Biljana ve ark., 2018).

Biljana ve ark. (2018), USEPA çerçevesinde yüzey sularında ölçülen birkaç mikro kirletici grubunun insan sağlığı açısından risk değerlendirilmesini yaptıkları çalışmada; Sırbistan'ın Tuna, Tisza, Begej Nehirlerinden, Krivaja, Tuna-Tisza-Tuna sulama kanalı ve iki göl olmak üzere toplam 18 noktadan örnekler alınmıştır. Mikro kirleticilerin ekolojik risk değerlendirmesi balıklar, algler ve *Daphnia magna* gibi ekosistemin üç farklı temsili trofik seviyesinden canlılar için değerlendirilmiştir. Tahmin EMA yönergesine göre yapılmış ve ölçülen konsantrasyon değerleri (MEC) ile ön görülen etkilenmeyen konsantrasyon (PNEC) oranları RQ'da hesaplanmıştır. RQ değeri eğer çevresel riski düşünülen değerden daha yüksek ise RQ > 1 ise risk yok demektir. Birçok çalışma RQ değerine göre yapılmıştır.

Ama insanlar kontamine mikro kirleticilere; kirleticilerin yutulması, solunması, taşınımı ve deriden temas yoluyla da maruz kalabilmektedir. Yüzey suları ile temas genellikle mesleki ve rekreasyon faaliyetleri yoluyla deriden temasla suyun alımı şeklinde gerçekleşebilmektedir. Sırbistan’da yaz aylarında yüzey suları (nehirler, göller ve kanallar), özellikle balıkçılık ve eğlence aktiviteleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle insanların vücuduna mikro kirleticiler bu şekillerde de girebilmektedir. Çalışmanın yapıldığı, Tuna ve kollarında bulunan konsantrasyonlar, gelişmekte olan ülkelerdeki diğer nehirler ile karşılaştırıldığında, kalıcı organik bileşikler, farmasötikler ve kişisel bakım ürünlerinin daha düşük konsantrasyonlarda olduğu bulunmuştur. Arıtılmamış atık suların nehir suyu sistemlerine boşaltılmasının bir sonucu olarak; *Kafein* gibi atıksu arıtımı sırasında biyolojik olarak parçalanabilen bazı bileşikler, Tuna ve kollarındaki konsantrasyonları daha önce belirlenen değerlere göre yüksek konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada araştırılan nehir sularında aynı kimyasal bileşikler için daha önce yayınlanmış verilere kıyasla, sayısallaştırılmış farmasötik konsantrasyonlarda bir artış gözlemlenmiştir. Çalışmada ekolojik risk için elde edilen sonuçlar, nicel hale getirilmiş mikro kirletici maddelerin kümülatif etkisinin oluşturduğu bazı örnekleme noktalarında yaşayan organizmalar için önemli bir risk taşıdığını göstermiştir. Tahmin edilen insan sağlığı riski (kanserojen olmayan risk), eğlence aktiviteleri sırasında iki ana yoldan (deriden temas ve suyun yutulması) çok az veya hiç olumsuz bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır (Biljana ve ark., 2018).

Kosma ve ark. (2014), Yunanistan’da bulunan 8 AAT atıksularında 18 kişisel bakım ürünü ve farmasötiklerin konsantrasyonlarını incelenmişlerdir. Çalışmada numune alınan AAT’ler konvansiyonel aktif çamur sisteminde çalışmaktadır ve yılda 4 kere tesislerin her birinden numuneler alınarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümler kütle spektroskopisi ve sıvı spektroskopisi ile yapılmıştır. Sonuçlar birbiri ile kıyaslanarak, elde edilen sonuçların tutarlı olduğunun ve birbirini doğruladığı tespit edilmiştir. Tüm atıksu numunelerinde hedef bileşiklerin kapsamlı izleme çalışmaları sonucunda; *Parasetamol*, *Kafein*, *Trimetoprim*, *Sülfametoksazol*, *Karbamazepin*, *Diklofenak* ve *Salisilik asit* baskın bileşikler iken *Tolfenamik asit*, *Fenofibrat* ve *Simvastatin* daha düşük konsantrasyonlarda oldukları belirlenmiştir. İncelenen AAT’lerin çoğunun bu kirleticileri etkili bir şekilde gideremediği sonucuna varılmıştır. Çalışmada son olarak çevresel risk değerlendirmesi katsayısı RQ yapılmıştır. Değerlendirmeye göre suçlu çevre için olası tehlikenin olduğu tespit edilmiştir. Çevresel riske en fazla katkısı olan mikro kirleticinin Triklosan olduğu ve Avrupa yasal izleme ve önceliklendirme ile ele alınması gerektiği ifade edilmiştir (Kosma ve ark., 2014).

Mikro kirleticilerin ekolojik ve insan sağlığı açısından, risk değerlendirmelerinin yapıldığı çalışmalarda neden olabileceği olumsuz etkiler tam olarak bilinmemektedir. Mikro kirleticilerin, içme suyu kaynaklarına karışması sonucu vücuda girmesi, besin zinciri yoluyla zamanla canlılarda ve insan metabolizmasında birikimi nedeniyle su ve toprak ortamlarında varlığının hangi oranda ve konsantrasyonda olduklarının tespit edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu birikim sürekli olarak artmaktadır. Bu nedenle öncelikli olarak mikro kirleticilerin doğaya salımları ez aza indirilmeli yani kaynaktan kullanımları kontrol edilmelidir.

4. SONUÇLAR

AAT çıkış sularından kaynaklanan mikro kirleticiler ilgili izleme ve kontrol çalışmaları halen ülkemizde yapılmamaktadır. Bu konu ile ilgili literatürde sınırlı sayıda çalışma olup, bu çalışmalar da az bir bileşik grubu ile gerçekleştirilmektedir. Mevcut olan veriler ise genellikle konsantrasyonların ölçümünden ziyade tahminlere dayanmaktadır.

Son yıllarda gelişmiş ülkelerde, kişisel bakım ürünlerinin tüketimi ve üretimi giderek artmaktadır. Kişisel bakım ürünlerinin üretimine bağlı olarak tüketimlerinin de o ülkelerde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. *PPCP*’lerin üretimleri için belirli kotalar getirilerek üretimi azaltılmalıdır. Bu şekilde üretime bağlı olarak artan üretim/tüketim oranında azalma sağlanmalıdır. Bu konuda yapılmış olan çalışmalarda, kullanılan kişisel bakım ürünleri kadar çevreye zararlı yan ürünlerin ve mikro kirleticilerin oluştuğu tespit edilmiştir. AAT’lerde mikro kirleticiler yan ürünlere ve metabolitlere dönüşerek zararlı olan etkilerini devam ettirmektedir.

Mevcut AAT’lerde; mikro kirleticilerin farklı özellikleri (hidrofobiklik, biyo-bozunabilirlik ve düşük konsantrasyonlarda olmaları) göz önüne alındığında, giderimleri genellikle eksik ve değişken olup, bazı sık görülen bileşikler için % 18.8-91.1 aralığında değişmektedir. Doğadaki mikro kirletici miktarını azaltmak için öncelikle, kaynaktan kullanımları kontrol edilmelidir. Farmasötik bileşiklerin kaynaktan kontrol edilebilmesi için; reçetesiz ilaç satılması önlenmeli, bilinçsiz ilaç tüketiminin önüne geçilerek veteriner amaçlı ilaçların, antibiyotiklerin kontrollü bir şekilde satılması ve kullanılması sağlanmalıdır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için halk bu konuda bilgilendirilmelidir. Yeşil kimyaya geçilerek kimyasal maddelerin çevreye vereceği zararın önüne geçilmelidir.

Tarımsal alanlarda ise pestisit kullanımı kontrol altına alınmalı ve biyolojik olarak parçalanabilir pestisitler tercih edilmelidir.

Ülkemizde hastane atıksularının genellikle kentsel atık sularla aynı kirletici niteliğe sahip olduğu düşünülmekte ve dolayısıyla içerdikleri maddelerin (yoğun farmasötikler ve çeşitli laboratuvar atıkları) potansiyel olarak zararlı olmasına dikkat edilmeksizin aynı AAT’de birlikte arıtılmaktadır.

Hastane atıksularının miktarı ve karakteristiği; hastanelerin kapasitesine, yatak sayısına, acilde ve yatan hasta sayısına göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle büyük şehirlerde hastane atıksuyunun miktarı ve konsantrasyonu diğer illere göre daha fazladır. Bu nedenle, özellikle hasta kapasitesinin fazla olduğu hastanelerde atıksu karakteristiğine göre, ön arıtım ya da ayrı arıtım yapılarak ile kanalizasyon sistemine verilmesi ile AAT’lerde arıtma veriminin artması sağlanabilir.

Hastane atıksularında en çok bulunan mikro kirleticilerden biri olan antibiyotikler, biyolojik parçalanmaya karşı dirençli olup bakteriler üzerinde güçlü toksisiteye sahiptir. Antibiyotiklerin giderimi için, atıksularda en yüksek konsantrasyonda olan antibiyotik ilaçlar belirlenmeli ve uygun arıtım prosesleri uygulanarak daha etkili arıtım yapılmalıdır.

Hastane atıksularının farmasötik atıklar bakımından arıtma tesisine olan katkıları incelendiğinde evsel atıksuların yüke katkısının çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre hastane atıksularının ayrı işlemlerden geçirilip AAT’ye ulaşması yerine mevcut AAT’lere farmasötik bileşiklerin ve mikro kirleticilerin arıtımında etkili olan prosesler eklenerek bu bileşiklerin daha yüksek oranda giderimlerinin sağlanması için iyi bir çözüm yolu olacaktır.

Mikro kirleticilerin giderimi için mevcut tesisler, mikro kirleticilerin toksisitesini azaltmaya yönelik olarak güncellenmeli veya yeniden tasarlanmalıdır. Ayrıca, Atıksu arıtma tesislerinde (AAT’lerinde) mikro kirleticilerin izlenilebilmesi için gerekli altyapı tesislere entegre edilmelidir. Tesise giren ve arıtılmış atıksuda bulunan mikro kirletici konsantrasyonları bu şekilde tespit edilebilir. Maliyetli olsalar bile ekolojik çevrenin ve canlı hayatının korunması için en kısa sürede entegrasyonun uygulanması gereklidir (Eggen ve ark., 2014). Maliyetlerinin yanı sıra, zararlı yan ürünlerin ve konsantrasyon kalıntılarının oluşması gibi dezavantajlarının olması nedeniyle; elektrokimyasal proseslerin, ileri oksidasyon proseslerinin ve membran proseslerinin arıtımda kullanılabilirliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Luo ve ark., 2014). Bu işlem yeterli olmasa da önemli bir önlemdir. Mikro kirleticilerin azaltılması ve giderimi için çok yönlü bir strateji gereklidir. Strateji geliştirirken AAT’lerinin dikkate alınması gerektiği açıktır (Eggen ve ark., 2014).

Tercih edilecek arıtma yöntemi, çok sayıda mikro kirleticiyi aynı anda gideren prosesler arasından seçilmelidir. Bu sorunun önüne geçmek için, yeni teknolojiler geliştirilerek birden fazla arıtma yöntemi bir araya getirilmesi ile daha etkili bir arıtım yapılabilir.

Alınabilecek önlemlerin tamamı alındıktan sonra en son çare olarak; AAT çıkış sularının son bir daha arıtma işlemine tabi tutulup alıcı ortama deşarj edildiği boru sonu arıtım yapılmalıdır.

Mikro kirleticiler için deşarj limit değerleri sadece öncelikli kirleticiler için değil; tüm hepsi için belirlenerek yaban hayatı, doğa ve insan sağlığı korunmalıdır. Yasal olarak mikro kirleticilerin deşarj sınırları belirlenirken; tek başlarına oluşturdukları etkilerinin yanı sıra sinerjik etkileri de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle daha fazla araştırma (deney, ölçüm ve gözlem) yapılarak çevresel etkileri belirlenmeli ve yasal limitler bu araştırmalar dikkate alınarak oluşturulmalıdır (Luo ve ark., 2014).

5. KAYNAKLAR

Al-Rifai, J. H., Khabbaz, H., Schäfer, A. I. (2011). Removal of pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in a water recycling process using reverse osmosis systems. *Separation and Purification Technology*, 77(1), 60–67.

Balci, B. (2010). Farmasötik Bileşiklerin Sucul Ortamda Bulunuşu ve Etkileri, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2), 13–19.

- Besha, A. T., Gebreyohannes, A. Y., Tufa, R. A., Bekele, D. N., Curcio, E., Giorno, L. (2017). Removal of emerging micropollutants by activated sludge process and membrane bioreactors and the effects of micropollutants on membrane fouling: *Journal of Environmental Chemical Engineering*, A review.
- Biljana, D. Š., Kadokami, K., Anti, I. (2018). Survey on the micro-pollutants presence in surface water system of northern Serbia and environmental and health risk assessment. *Environmental Research*, 166(May), 130–140.
- Breton, R., Boxall, A. (2003). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Regulatory drivers and research needs. *In QSAR and Combinatorial Science*, 22, 399–409.
- Chen, L., Wei, G., Zhong, Y., Wang, G., Shen, Z. (2014). Targeting priority management areas for multiple pollutants from non- point sources. *Journal of Hazardous Materials*, 280, 244–251.
- Choi, K., Kim, Y., Park, J., Park, C. K., Kim, M. Y., Kim, H. S., Kim, P. (2008). Seasonal variations of several pharmaceutical residues in surface water and sewage treatment plants of Han River, Korea. *Science of the Total Environment*, 405(1–3), 120–128.
- Dereci, E. S. (2010). Ranitidin ve Naproksen'in Koagülasyon Yöntemleri ile Giderim Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Eggen, R. I. L., Hollender, J., Joss, A., Schärer, M., Stamm, C. (2014). Reducing the discharge of micropollutants in the aquatic environment: The benefits of upgrading wastewater treatment plants. *Environmental Science and Technology*, 48(14), 7683–7689.
- Escher, B. I., Baumgartner, R., Koller, M., Treyer, K., Lienert, J., McArdell, C. S. (2011). Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from hospital wastewater. *Water Research*, 45(1), 75–92.
- Gerrity D, Gamage S, Holady JC, Mawhinney DB, Quinones O, Trenholm RA. (2011). Pilotscale evaluation of ozone and biological activated carbon for trace organic contaminant mitigation and disinfection. *Water Research*, 45:2155-2165.
- Grover DP, Zhou JL, Frickers PE, aReadman JW. (2011). Improved removal of estrogenic and pharmaceutical compounds in sewage effluent by full scale granular activated carbon: Impact on receiving river water. *Journal of Hazardous Materials*, 185, 1005-1011.
- Huerta, B., Rodriguez-Mozaz, S., Lazorchak, J., Barcelo, D., Batt, A., Wathen, J., Stahl, L. (2018). Presence of pharmaceuticals in fish collected from urban rivers in the U.S. EPA 2008–2009 National Rivers and Streams Assessment. *Science of The Total Environment*, 634, 542–549.
- Jiang, J. Q., Zhou, Z., Sharma, V. K. (2013). Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water - A review from global views. *Microchemical Journal*, 110, 292–300.
- Kasprzyk-Hordern, B., Dinsdale, R. M., Guwy, A. J. (2009). The removal of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs during wastewater treatment and its impact on the quality of receiving waters. *Water Research*, 43(2), 363–380.
- Kılıç, H. (2015). Hastane Atıksularında Antibiyotikler ve Kentsel Atıksulara Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- Kinney, C. A., Furlong, E. T., Werner, S. L., Cahill, J. D. (2006). Presence and Distribution of Wastewater-Derived Pharmaceuticals in Soil Irrigated With Reclaimed Water. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(2), 317.
- Kosma, C. I., Lambropoulou, D. A., Albanis, T. A. (2014). Investigation of PPCPs in wastewater treatment plants in Greece: Occurrence, removal and environmental risk assessment. *Science of the Total Environment*, 466–467, 421–438.

- Liu, J. L., Wong, M. H. (2013). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs): A review on environmental contamination in China. *Environment International*, 59, 208–224.
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 473–474, 619–641.
- Nas, B., Dolu, T., Ateş, H., Argun, M. E., Yel, E. (2017). Treatment Alternatives for Micropollutant Removal in Wastewater. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 5(2), 133-143.
- Oğuz, M., Akkurt Ş. (2018). Mikro Kirleticileri Giderme Yöntemleri, *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, 117 (Nisan), 46-49.
- Önen Acar Ö. (2018). Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Tarımsal Sulamada Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.
- Özcan, Ö. (2017). Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksularında Mikro Kirleticilerin Pilot Ölçekli Membran Biyoreaktör ve Ters Ozmoz Sistemleri ile Arıtılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.
- Özdemir, G. (2018). Mikro kirleticiler. 2. *Uluslararası Mesleki ve Çevresel Hastalıklar Kongresi*, Antalya, Türkiye, 04-08 Mart.
- Pal, A., Gin, K. Y. H., Lin, A. Y. C., Reinhard, M. (2010). Impacts of emerging organic contaminants on freshwater resources: Review of recent occurrences, sources, fate and effects. *Science of the Total Environment*, 408(24), 6062–6069.
- Pauwels, B., Verstraete, W. (2006). The treatment of hospital wastewater: An appraisal. *Journal of Water and Health*, 4(4), 405–416.
- Qin, Q., Chen, X., Zhuang, J. (2015). The fate and impact of pharmaceuticals and personal care products in agricultural soils irrigated with reclaimed water. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(13), 1379–1408.
- Stasinakis, A. S., Thomaidis, N. S., Arvaniti, O. S., Asimakopoulos, A. G., Samaras, V. G., Ajibola, A., Lekkas, T. D. (2013). Contribution of primary and secondary treatment on the removal of benzothiazoles, benzotriazoles, endocrine disruptors, pharmaceuticals and perfluorinated compounds in a sewage treatment plant. *Science of the Total Environment*, 463–464, 1067–1075.
- Suarez, S., Lema, J.M., Omil, F. (2009). Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation–flocculation and flotation. *Bioresource Technology*, 100, 2138-2146.
- Sui Q, Huang J, Deng S, Yu G, Fan Q. (2010). Occurrence and removal of pharmaceuticals, caffeine and DEET in wastewater treatment plants of Beijing, China. *Water Research*, 44:417-426.
- Tiwari, B., Sellamuthu, B., Ouarda, Y., Drogui, P., Tyagi, R. D., Buelna, G. (2017). Review on fate and mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach. *Bioresource Technology*, 224, 1–12.
- Trinh, T, Van den Akker B, Stuetz RM, Coleman HM, Le-Clech P, Khan, SJ. (2012). Removal of trace organic chemical contaminants by a membrane bioreactor. *Water Science Technology*, 66, 1856-1863.
- Ulutaş, G. (2017). Kentsel Atıksudaki Anti-Enflamatuar Yüküne Hastane Atıksularının Katkısı. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- Üstün Odabaşı, S., Maryam, B., Büyükgüngör, H. (2018). *Diklofenak İlaç Kalıntısının UV ve UV/ H₂O₂ Yöntemleri ile Gideriminin Karşılaştırılması*, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(3):272-279.

Wang, J., & Wang, S. (2016). Removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from wastewater: A review. *Journal of Environmental Management*, 182, 620–640.

Wu, X., Ernst, F., Conkle, J. L., & Gan, J. (2013). Comparative uptake and translocation of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) by common vegetables. *Environment International*, 60, 15–22.

Xu, J., Wu, L., & Chang, A. C. (2009). Degradation and adsorption of selected pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in agricultural soils. *Chemosphere*, 77(10), 1299–1305.


Yaşar, A., Can Doğan, E., Arslan, A. (2013). Hastane Atıksularında Makro ve Mikro Kirleticiler ve Arıtma Seçenekleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(2), 144–158.


Yu H., Nie E., Xu J., Yan S., Cooper J.W., Song W. (2013). Degradation of Diclofenac by Advanced Oxidation and Reduction Processes: Kinetic Studies, Degradation Pathways and Toxicity Assessments, *Water Research*, 47, 1909-1918.

Zhang, Y., Geißen, S. U., & Gal, C. (2008). Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. *Chemosphere*, 73(8), 1151–1161.

Ftalatların tanımlanması (2019), <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ftalat> Erişim 15.03.2019

ORCID

Şeyma AKKURT  <http://orcid.org/0000-0002-0135-1975>

Merve OĞUZ  <http://orcid.org/0000-0002-8388-1477>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 05.02.2018
Kabul Tarihi : 13.06.2019

Received Date : 05.02.2018
Accepted Date : 13.06.2019

MODELING OF PHOTOVOLTAIC PANELS USING MATLAB/SIMULINK

MATLAB/SİMULİNK İLE FOTOVOLTAİK PANELLERİNİN MODELLENMESİ

Bassil Alhamed ALDWIHI¹, Metin SALİHMUHSİN^{1,}*

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Metin SALİHMUHSİN, msalihmuhsin@ksu.edu.tr

ÖZET

Bu yayındaki amaç bir fotovoltaik (PV) hücrenin 4 bilinmeyen parametre (I_{ph} , I_0 , R_s , R_{sh}) kullanarak bir modelini oluşturmak ve bu modelin güneş ışınımı ve sıcaklık değişimlerine karşı davranışını hem simülasyon hemde deneysel ortamda göstermektir. PV hücrenin model parametrelerinin bulunmasında daha önce yapılmış çalışmalardan yararlanılmış, simülasyon çalışması ise Matlab/Simulink kullanılarak kendimizce geliştirilmiştir. Modelleme için hem seri hem de paralel dirençli ve tek diyotlu hücre biçimi seçilmiştir. Panel davranışının ışınım ve sıcaklıkla değişimi MATLAB / Simulink ile simüle edilmiş ve simülasyon sonuçları biri 10 W'lık ve 36 adet seri bağlı hücrelerden oluşan bir panel üzerinde diğeri ise 250 W'lık ve 60 adet seri bağlı hücreler içeren bir panel üzerinde test edilmiştir. Her iki panel içinde simülasyon ile elde edilen veriler panel üreticisi firmalar tarafından sağlanan datasheet'lerindeki verilerle karşılaştırılarak modellemelerin doğrulukları teyid edilmiştir. Ayrıca elde edilen modeller kullanılarak panellerin standart test koşulundan farklı sıcaklık ve ışınımlardaki I-V ve P-V eğrileri oluşturularak grafik olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, radyasyon, sıcaklık, simulink.

ABSTRACT

The goal of this paper is to create a PV cell model using 4 unknown parameters (I_{ph} , I_0 , R_s , R_{sh}) and show the behavior of this model against solar radiation and temperature changes in both simulation and experimental. Previous studies have been used to find the model parameters of the PV cell, while the simulation programs have been developed by us using Matlab / Simulink. The chosen model for a PV cell is the single diode model with both series and parallel resistors. Simulation results were tested on two PV panels. The first one is a 10W panel consisting of 36 series connected cells. While the other one is a 250W panel consisting of 60 series connected cells. The accuracy of models has been confirmed by comparing the data obtained by simulation for both panels with the data in datasheets provided by panel manufacturers. In addition to that, obtained models are used to generate the I-V and P-V curves graphically at temperatures and irradiances other than the standard test condition (STC).

Keywords: Photovoltaic, irradiance, temperature, simulink.

INTRODUCTION

Renewable resources, such as PV systems and wind turbines are being used in many places nowadays and their usage is expected to increase in the future. In particular, the PV panels are in use for over a decade and are proven to be reliable source of energy. They have relatively small installation budget and require minimum maintenance fees compared to those of similar other sources. Some other reasons behind their widespread usage are:

- PV panels are clean and nature friendly source of energy compared to petroleum and coal related energy sources and does not possess any danger in its use as in nuclear power.
- PV panels could practically be mounted anywhere so that power could be provided to even remote locations at no additional cost
- PV panel life exceeds over 20 to 30 years with manufacturer warranties.

There are many studies conducted on PV systems. We briefly summarize 3 of them below. İşler and Salihmuhsin (İşler Y. S., Salihmuhsin M., 2016) performed a study on several software tools and packages which are available commercially to be used for different purposes in the analysis of PV related systems. The available software packages are categorized under 4 broad categories. These are tools used for pre-feasibility analysis, tolls used for placement, sizing and scalability analysis, software used for simulation purposes and software packages that are called as open architecture. The open architecture software packages are used to perform all necessary analysis such modeling, simulation, cost analysis and sizing in one program. Several tools and software for each category were specified in their study along with brief information regarding their usage.

İşler (İşler Y. S., Yılmaz Ş., Salihmuhsin M., 2016) conducted another study on cost analysis of a 10 KWp fresnel parabolic type solar collector. The study was performed utilizing the weather data of city of Istanbul, Turkey. Modeling and cost analysis of the system was performed by CPV CAD software. They had shown that the modeled system would provide an annual income of 1720.3 \$ per year and would return it's total investment cost back in 7.8 years.

Cubas (Cubas J., Pindado S., Victoria M., 2014) suggested simple and accurate method to model PV panels. Their method was based on analytical determination of 4 parameters, namely I_{ph} , I_0 , R_s and R_{sh} of a PV cell. They had shown that their method could successfully generate a model for any given PV panel by obtaining models of several commercially available panels. The values of the cell parameters for each model are compared with the values of those found by other researchers for the same commercial panels. It's shown that cell models found by their algorithms are accurate for all cases. They also stated that the developed method would work under variations at different temperatures and irradianations.

In this study, a model of a PV cell consisting of one diode and two resistors is constructed. An analytical determination method of cell parameters is chosen to be implemented. The generated cell model is used to form a general I-V formulation for a panel containing both series and parallel cell connections. A program in Matlab/Simulink is developed to apply generated results to 2 different PV panels consists of series connected cells for experimental part of the study. For both panels, I-V and P-V curves are generated by Matlab/Simulink in order to be compared with similar curves in manufacturer datasheets.

CHARACTERISTIC OF A SOLAR CELL

PV cells are semiconductor devices which have input output characteristics similar to that of a diode. A cell can generate a voltage and current at its output when it's put under sunlight and could feed an electrical load. A PV cell can be made of several different materials. The most widely used ones are monocrystalline and multi-crystalline silicon, thin film etc.

An ideal PV cell is modeled as a current source connected with a diode in parallel. The current source represents the photocurrent generated by the cell when it is exposed to sunlight. The diode represents the pn junction of the solar cell. The ideal solar cell model is rarely used in practice due to several causes of power loses when the cell (or panel composed of cells) is put into practical use. In order to incorporate these loses into the cell model, a series resistance and a parallel resistance should be added to the cell model.

Series resistance R_s represents power loses due to factors such as resistivity of the p and n layer, metal contacts, current collecting busses and metal grid of the cell. The fill factor of the cell largely depends on R_s . The shunt resistance, R_{sh} , represents mainly non-idealities and non-accuracies due to cell fabrication. Some examples of these non-idealities are localized short currents at the emitter layer of the cell and along cell borders (Büyükgüzel, 2011). The effect of R_{sh} is large at low illumination and low operating voltage conditions (Cubas, 2014). The Figure 1 shows an equivalent circuit model of an ideal PV cell and which that contains both series and parallel resistances.

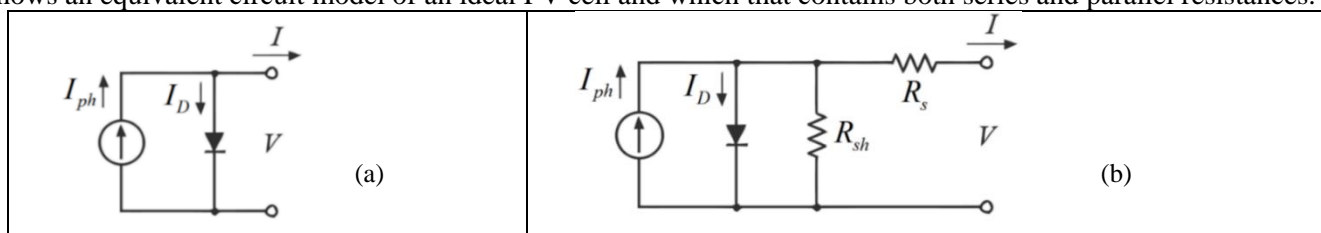


Figure 1. Different Circuit Models to Study the Behavior of Solar Cells, (a) 1-diode; (b) 1-diode/2-resistors.

In panel datasheets, characteristics of a PV cell are generally described in terms of three operating points called open circuit condition, short circuit condition and maximum power point condition. When a cell is exposed to sunlight but it's terminals are not connected to a load, the voltage across cell terminals is called as Open Circuit Voltage V_{oc} . When a load is connected in between cell terminals, a current begins to flow through the load and the voltage across the cell begins to drop. The maximum current to pass through the cell can be obtained when the load is replaced with a short circuit. This current is named as Short Circuit Current I_{sc} . The third characteristic is described as the operating point where the power obtained from the cell is maximum. The current and the voltage values corresponding to this case are generally named as I_{mp} and V_{mp} .

MODELLING OF A PHOTOVOLTAIC PANEL

In general, the 1-diode/2-resistors circuit is commonly used to study the behavior and features of a PV cell. In order to find relationship between electric current, I, and voltage V, the node equation for the top node of the circuit in the Figure 1(b) is written as:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + IR_s}{\alpha V_T} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

where, I_{ph} : Photo current delivered by a constant current source.

I_0 : Is the reverse saturation current of the diode.

R_s : Is the series resistance, R_{sh} : Is the shunt resistance.

α : The ideality factor for the diode.

V_T : The thermal voltage of the diode that depends on temperature of the cell T in kelvin, the charge of an electron q, the Boltzmann constant k. $V_T = \frac{kT}{q}$

The model of the cell is obtained by determining 5 unknown parameters of the above equation, namely I_{ph} , I_0 , R_s and R_{sh} . The value of the fifth unknown parameter α is closely related to the material type of the cell and could be chosen as an approximate constant accordingly. One way of determining unknown parameters is to utilize above mentioned 3 operating points of the cell.

Short Circuit Condition

The short circuit condition states that the current through short circuited terminals of the cell is I_{sc} which brings the voltage at the terminals to zero. By substituting these values into the equation 1, the equation 2 is obtained.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{I_{sc} R_s}{\alpha V_T} \right) - 1 \right] - \frac{I_{sc} R_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

Experimental studies show that at the short circuit condition, the value of the second term at the right hand side of the above equation is negligibly small compared to values of other two terms and consequently could be omitted (Cubas, 2014). As a result, the equation is put into the form as:

$$I_{ph} = \frac{R_{sh} + R_s}{R_{sh}} I_{sc}, R_{sh} \gg R_s \text{ so } I_{ph} \cong I_{sc} \quad (3)$$

Open Circuit Condition

The operation point for this case is $(I, V) = (0, V_{oc})$. Substituting this into equation 1 results in:

$$0 = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V_{oc}}{\alpha V_T} \right) - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (4)$$

It is again shown by experimental studies that the -1 in the second term at the right hand side of the above equation can be neglected. After substituting the expression found for I_{ph} into the equation (15), the following expression for I_0 is obtained.

$$I_0 = \frac{G I_{sc} T_r - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}}{G_{ref} \exp \left(\frac{V_{oc}}{\alpha V_T} \right)} \quad (5)$$

Maximum Power Point Condition

The operation point for this case is $(I, V) = (I_{mp}, V_{mp})$. Substituting it into equation 1 gives:

$$I_{mp} = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{mp} + I_{mp}R_s}{\alpha V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V_{mp} + I_{mp}R_s}{R_{sh}} \quad (6)$$

Again similar approach as mentioned above allows us to neglect the -1 in the second term of the right hand side. By substituting values of I_{ph} and I_0 into the equation (6), the equation (7) is obtained.

$$I_{sc} - \left(I_{sc} - \frac{V_{oc} - R_s I_{sc}}{R_{sh}} \right) \left[\exp\left(\frac{V_{mp} + I_{mp}R_s - V_{oc}}{\alpha V_T}\right) \right] - \frac{V_{mp} + I_{mp}R_s - R_s I_{sc}}{R_{sh}} = I_{mp} \quad (7)$$

However, one more equation is needed to solve equations containin 4 unknowns. Cubas et al. suggested that by examining derivativae of power equation $P = V * I$ and applying several stages of mathematical manipulations, one could get an explicit expression for R_{sh} and implicit expression for R_s . Combined with equations (2) and (3), four unknown parameters of the cell model could now be determined. Formulations suggested by Cubas for R_{sh} and R_s are given below.

$$\frac{\alpha V_T V_{mp} (2I_{mp} - I_{sc})}{(V_{mp} I_{sc} + V_{oc} (I_{mp} - I_{sc})) (V_{mp} - I_{mp} R_s) - \alpha V_T (V_{mp} I_{sc} - V_{oc} I_{mp})} = \left[\exp\left(\frac{V_{mp} + I_{mp} R_s - V_{oc}}{\alpha V_T}\right) \right] \quad (8)$$

$$R_{sh} = \frac{(V_{mp} - I_{mp} R_s)(V_{mp} - R_s (I_{sc} - I_{mp}) - \alpha V_T)}{(V_{mp} - I_{mp} R_s)(I_{sc} - I_{mp}) - \alpha V_T I_{mp}} \quad (9)$$

PV panels are made of interconnecting PV cells. When modeling a panel, the equation 1 needs to be modified according to series and/or parallel placement of individual cells in the panel. Certain type of PV panels consists of only series combination of cells. For such panels, the equation 1 is modified as below in order to obtain input/output relationship of the panel where N_s represents number of cells connected in series.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + I N_s R_s}{\alpha N_s V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V + I N_s R_s}{N_s R_{sh}} \quad (10)$$

Another type of PV panels consists of both series and parallel combination of cells as shown in the figure 2. A typical placement of cells for these type of panels is given below where N_s represents number of cells in series for each vertical array of cells and N_p represents number of vertical arrays.

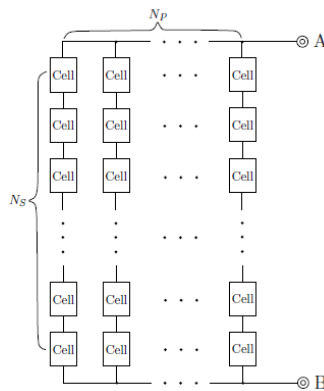


Figure 2. Physical Configuration of Series and Parallel Cells in a PV Module.

In This case, the I-V relationship of the panel is obtained by modifying the equation 1 in the following manner.

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[\exp\left(\frac{V + I \frac{N_s}{N_p} R_s}{\alpha N_s V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V + I \frac{N_s}{N_p} R_s}{\frac{N_s}{N_p} R_{sh}} \quad (11)$$

The Effects of Solar Irradiance and Temperature

Environmental conditions, such as temperature and irradiation variations effect the behavior of solar cells. Both current and voltage at the output of cell are decreased with increase in the temperature. The equations that describe changes in the open circuit voltage and the short circuit current of the cell are given below. Changes in the maximum power point voltage and current are described with the same corresponding equations. More information on this subject could be obtained from (Cubas , 2014).

$$V_{oc,T} = V_{oc,T_r} \left(1 + \frac{\beta V_{oc}(T - T_r)}{100} \right) \quad (12)$$

$$I_{sc,T} = I_{sc,T_r} \left(1 + \frac{\alpha I_{sc}(T - T_r)}{100} \right) \quad (13)$$

where, $V_{oc,T_r}, V_{oc,T}$: are respectively the open circuit voltage at $25^\circ C$ and input temperature.

βV_{oc} : The percentage variation of the open circuit voltages when the temperature increases one degree.

T_r, T : are respectively the temperature at STC and input temperature.

$I_{sc,T_r}, I_{sc,T}$: are respectively the short circuit current at $25^\circ C$ and input temperature.

αI_{sc} : The percentage variation of the short circuit current when the temperature increases one degree.

Change in the photo current of the cell I_{ph} in the case of illumination and temperature variations is described in the following equation:

$$I_{ph} = I_{ph.ref} \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) \quad (14)$$

In the above equation, $I_{ph.ref}$ is the photo current at STC which is $I_{ph.ref} \cong I_{sc,T_r}$. Substitution of this into the equation (14) results in:

$$I_{ph} = I_{sc,T_r} \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) \quad (15)$$

where, I_{ph} : the photocurrent delivered by the current source of the equivalent circuit.

G_{ref}, G : are respectively the reference value of the irradiance and the irradiance on the cell/solar panel.

The Effects of Ideality factor

Changing the temperature of a PV cell is one of the most important factors affecting the ideality factor α while this factor does not depend on radiation. The ideality factor value may be arbitrarily selected at a given temperature of a PV cell. The correct estimate value of this factor have been discussed in many methods by many researchers and authors (C. Carrero, 2007; G. Walker, 2001). Usually, $1 \leq \alpha \leq 1.5$ for silicon PV cells and other parameters of the I-V model help determine the correct value of this factor (M. G. Villalva , 2009).

Basing on the empirical analysis, some values of α are found in (W. De Soto, 2006). The curvature of the I-V curve Affected by changing the value of α , while the value of the I_{sc} (short circuit current) remains unchanged. Because α Specifies the amount of ideality of the diode and it is totally experimental, any initial value of α can be chosen in order to adjust the model at a given manufacturer's data. In order to improve the model fitting to the experimental values the value of ideality factor α must be readjusted.

Table 1: Ideality Factor (α) (Huan-Liang Tsai., 2008).

Technology	Ideality factor
Si-mono	1.2
Si-poly	1.3
a-Si-H	1.8
a-Si-H Tandem	3.3
a-Si-H triple	5
cdTe	1.5
CTs	1.5
AsGa	1.3

SIMULATION RESULTS

Experimental part of this study is conducted by developing a Matlab/Simulink program in order to calculate 4 unknown parameters of a cell model described in the section 2. The cell model is then used to construct the model of the related PV panel. The developed program is a general purpose program and could be used to generate cell model for any given PV panel. The program consists of several sub modules. The Figure 3 shows a picture of the top module (the main sub system) of the program.

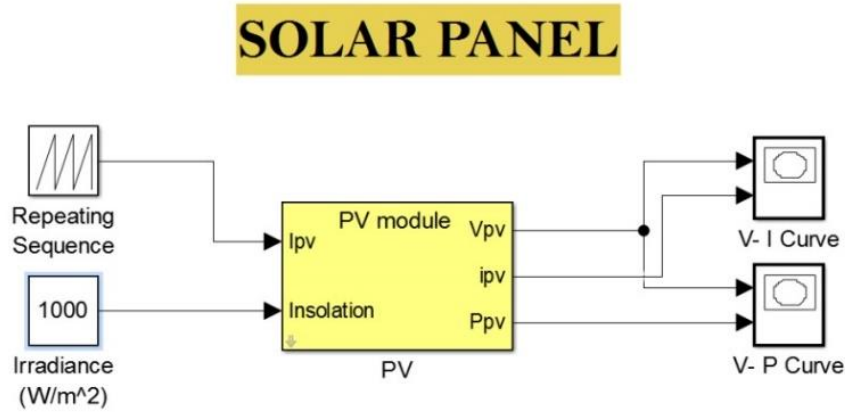


Figure 3. The Front Page of the Developed Simulink Program.

When clicked on the PV Module sub system, a mask shows up on the screen. The user has to input necessary information related to the panel using manufacturer datasheets such as values of V_{oc} , I_{sc} , V_{mp} etc. Once all values are entered, the program calculates values of 4 unknown parameters I_{ph} , I_0 , R_s and R_{sh} and displays on the screen. The obtained parameter values are put into equation (10) to get I-V relationship of the panel. Upon appropriate manipulation of the I-V equation, I-V and P-V curves of the panel for desired illumination and temperature conditions are constructed. The Figure 4 shows a snapshot of the mask for the PV module sub system and a picture of the PV Module sub system from the developed program.

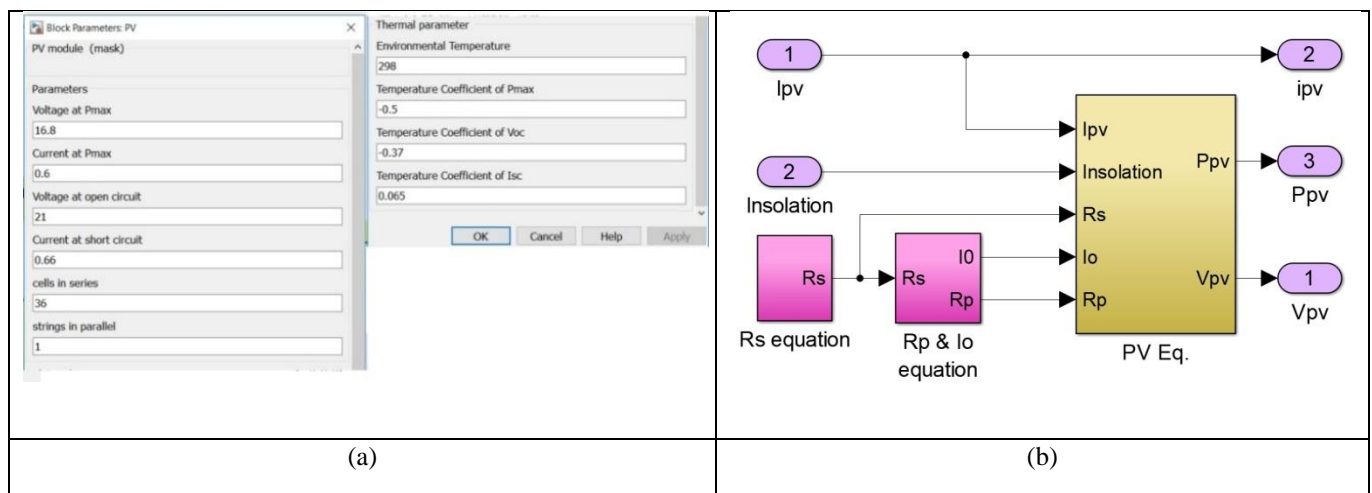


Figure 4. (a) A Snapshot of the Mask. (b) a Picture of PV Module Subsystem.

In order to verify theoretical formulations given in the section 2 and 3, two actual panels are used to perform experiments. For each panel, the cell model, I-V characteristics and P-V characteristics are obtained by the developed program and compared with the corresponding curves and values provided by the manufacturers for the standard test condition.

The first panel used for verification purpose is TPS-105 Mono crystalline solar panel. It is a 10W panel which has 36 individual cells connected in series. The second PV panel is CWT250-60P 250W poly-crystalline PV panel. It has 60 individual cells connected in series. For both panels, some important specifications from manufacturer datasheets are given in the Table 2.

Table 2: Specifications of PV Panels

Parameters of Module	TPS-105 Mono-crystalline solar panel specifications	CWT250-60P poly-crystalline solar panel specifications
Maximum Power (Pmax)	10.0 W	250.0 W
Open Circuit Voltage (Voc)	21.0 V	36.3 V
Short Circuit Current (Isc)	0.66 A	8.71 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	16.8 V	30.6 V
Maximum Power Current (Imp)	0.60 A	8.17 A
Cells in series	36	60
Temperature Coefficient of Pmax	-0.5%	-0.5%
Temperature Coefficient of Voc	-0.37%	-0.35%
Temperature Coefficient of Isc	0.065%	0.060%

The Figure 5(a) gives I-V and P-V curves of the TPS-105 Mono crystalline solar panel generated by the developed program at standard test conditions (STC). The Figure 5(b) shows the corresponding I-V curve provided by the manufacturer in the datasheet. As seen from figures, the program successfully models the panel and generates I-V curve as close approximate to that provided by the manufacturer. The Figure 6(a) and 6(b) display I-V and P-V curves of the TPS-105 Mono crystalline solar panel generated by the developed program for various illumination and temperature conditions. These curves are not provided in the manufacturer datasheet.

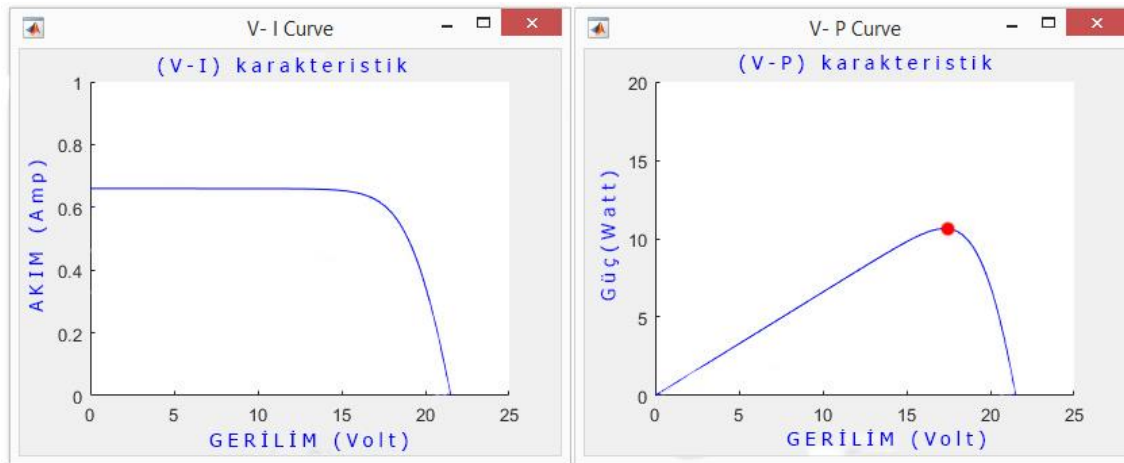


Figure 5. (a): I-V Curve and P-V Curve of the TPS-105 Mono Crystalline Solar Panel Generated by the Developed Program at STC.

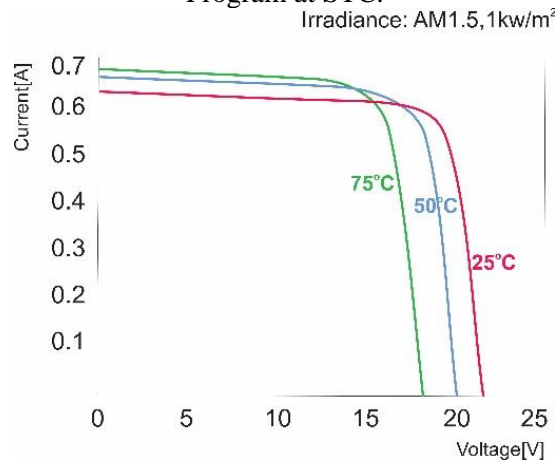


Figure 5(b): I-V Curves of the TPS-105 Mono Crystalline Solar Panel Provided by the Manufacturer.

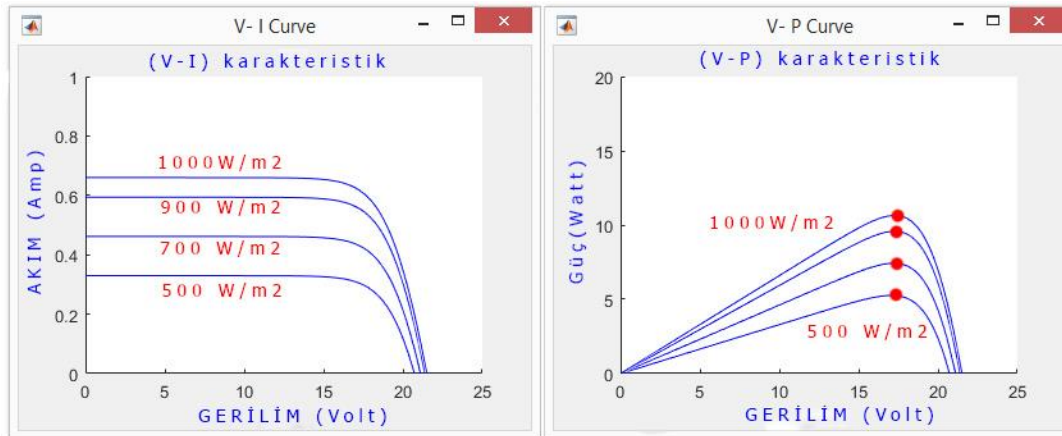


Figure 6(a): I-V Curve and P-V Curve of the TPS-105 Mono Crystalline Solar Panel Generated by the Developed Program for Different Levels of Solar Irradiances.

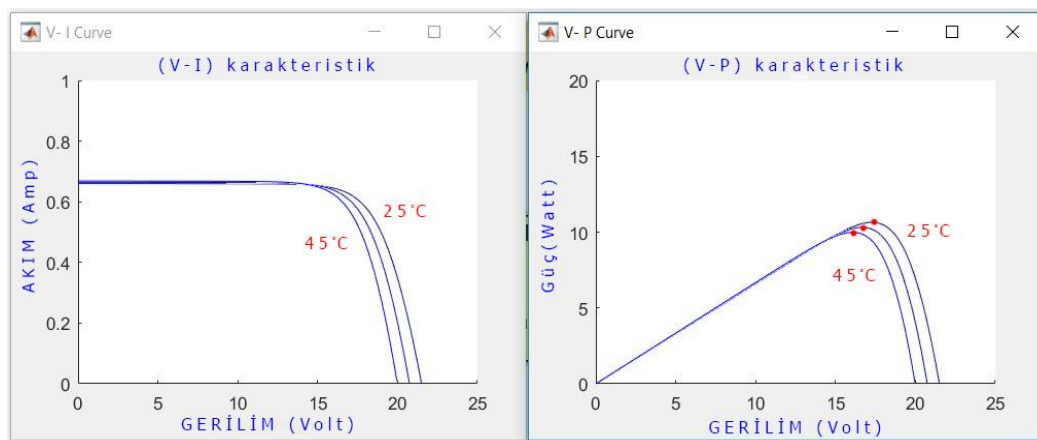


Figure 6(b): I-V Curve and P-V Curve of the TPS-105 Mono Crystalline Solar Panel Generated by the Developed Program for Different Values of Temperatures.

Similarly for 250 W CWT250-60P poly crystalline solar panel, the Figure 7(a) shows I-V and P-V curves obtained by the developed program at STC and the Figure 7(b) shows the corresponding curves given by the manufacturer in the datasheet. Again, it is seen that calculations obtained from simulations closely represent corresponding curves in the datasheet. The Figure 8(a) and 8(b) display I-V and P-V curves of the CWT250-60P poly crystalline solar panel generated by our program for various illumination and temperature conditions. These curves again are not provided in the manufacturer datasheet.

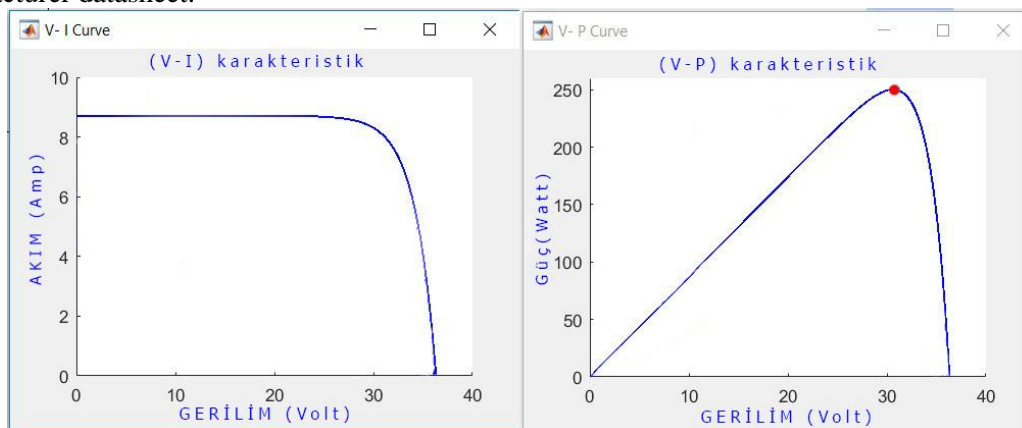


Figure 7(a): I-V Curve and P-V Curve of the CWT250-60P Poly Crystalline Solar Panel Generated by the Developed Program at STC.

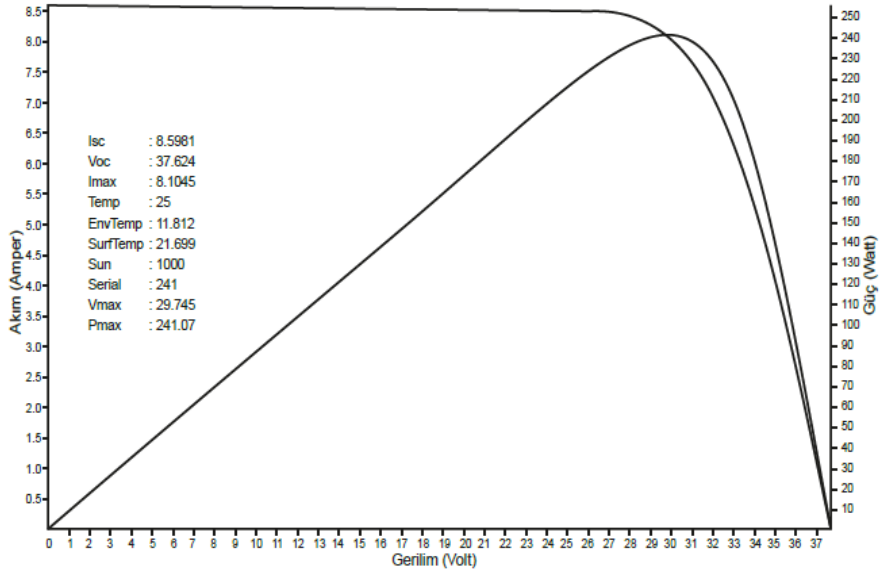


Figure 7(b): I-V Curve and P-V Curve of the CWT250-60P Poly Crystalline Solar Panel Provided by the Manufacturer in the Datasheet at STC.

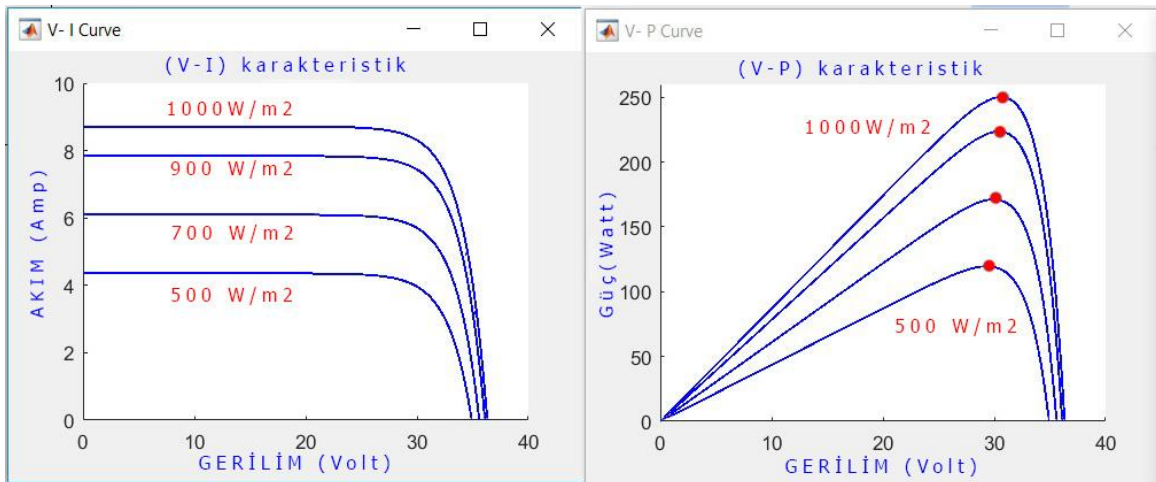


Figure 8(a): I-V Curve and P-V Curve of the CWT250-60P Poly Crystalline Solar Panel Generated by the Developed Program for Different Levels of Solar Irradiances.

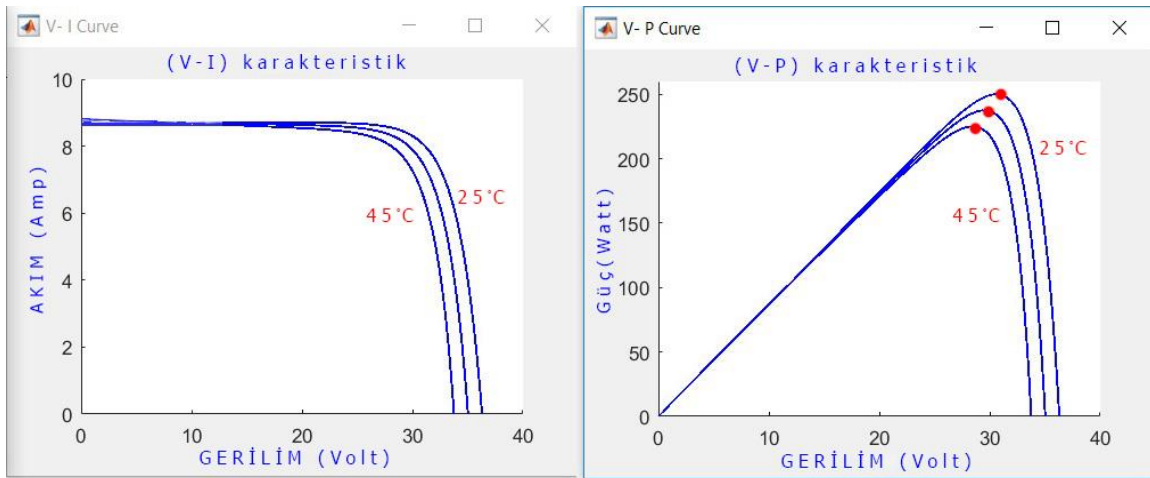


Figure 8(b): I-V Curve and P-V Curve of the CWT250-60P Poly Crystalline Solar Panel Generated by the Developed Program for Various Temperature Values.

CONCLUSIONS

In this study, a cell model consisting of 4 unknown parameters is presented. A Matlab/Simulink program that implements the obtained equations for the cell model is developed. In order to present accuracy of the parameter calculation and success of the developed program, two actual PV panels are used to perform an experimental study. Simulation results showed that the developed Matlab/Simulink program successfully obtained panel model for the PV panels used in experiments and generated related I-V and P-V curves for any desired illumination and temperature condition.

REFERENCES


Büyükgüzel B. (2011). Microcontroller Based Maximum Power Point Tracker for Solar Panels, M. Sc. Thesis, Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering.


Cubas J., Pindado S., Victoria M. (2014). On the Analytical Approach for Modeling Photovoltaic Systems Behavior, Journal of Power Sources, Vol 247, pg 467–474.

İşler Y. S., Salihmuhsin M. (2016). Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Yazılım Araçlarının Sınıflandırılması, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16), sy 2419-2426, Mart 19-20 Kilis, Türkiye.

İşler Y. S., Yılmaz Ş., Salihmuhsin M. (2016). İstanbul Şartlarında 10 kWp Optimum verimli Fresnel Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü tasarımı ve Maliyet Analizi, International Conference on Renewable Energy Technologies and Applications (RETA'16), sy 1-9, Mart 5-6 İstanbul, Türkiye.

ORCID

Bassil Alhamed ALDWIHI  <https://orcid.org/0000-0003-3407-5396>

Metin SALİHMUHSİN  <http://orcid.org/0000-0003-2069-9376>