



ATIKSULARIN MİKRODALGA İLE ÖN ARITIMI

MERVE AHMAD



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

ATIKSULARIN MİKRODALGA İLE ÖN ARITIMI

MERVE AHMAD

DOÇ. DR. N. KAMİL SALİHOĞLU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Merve AHMAD tarafından hazırlanan “ATIKSULARIN MİKRODALGA İLE ÖN ARITIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.12.02.2019

Danışman : Doç. Dr. Nezih Kamil SALİHOĞLU

Başkan : Doç. Dr. Nezih Kamil SALİHOĞLU
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Taner YONAR
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı


Üye : Dr. Öğretim Üyesi Aşkın BİRGÜL
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

İmza

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım


Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü
14.02.2019

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

12/02/2019

Merve AHMAD



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIKSULARIN MİKRODALGA İLE ÖN ARITIMI

Merve AHMAD

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nezih Kamil SALIHOĞLU

Gezegennemizde nüfus sürekli ivme kazanarak artmaktadır. Artan nüfusla birlikte su ihtiyacı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Bundan dolayı evsel, endüstriyel ve diğer türlü oluşan atıksularımızı alıcı ortama vermeden önce suyun karakteristiğine uygun şekilde arıtmalı, geri kazanmalı, tekrar kullanmalıyız. Böylece hem doğayı korumuş oluruz, hem de gelecek nesillere yaşayabilecekleri bir çevre bırakabiliriz. Günümüzde su çok farklı işlevlerde kullanıldığından, meydana gelen atıksuyun karakterizasyonu da bir o kadar çeşitlilik göstermektedir. Dolayısıyla atıksuları standartlara uygun arıtmak ve deşarj etmek te gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Çevre Mühendisliği'nde kirletilmiş suların arıtılmasında kullanılan birçok yöntem vardır. Bunlar fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerdir. Atıksulardaki kirletici parametreleri gidermek için son zamanlarda mikrodalga yöntemi de kullanılmaktadır. Yapılan birçok araştırmada giderim verimi elde edilmiştir.

Bu çalışmada, daha önceden yapılmış olan mikrodalga çalışmalardan ilham alınarak, mikrodalga yönteminin Bursa Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinin giriş suyundan alınmış numunelerin mikrodalgaya maruz bırakılması sonucu bazı parametrelerin giderimi gözlemlenmiştir. Mikrodalga fırın 900 Watt güçte çalıştırılarak, arıtma tesisinden alınan atıksu mikrodalgaya farklı koşul ve sürelerde maruz bırakılmış ve atıksu içeriğindeki KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), renk, amonyum nitrat ve fosfatın giderilip giderilemeyeceği, giderilebiliyor ise ne kadar verim elde edildiği incelenmiştir. Ayrıca bu süreçte harcanan enerji miktarı da ölçülmüştür. Deneysel bulgularda KOİ, amonyum nitrat, fosfat ve renk gideriminin tek başına mikrodalga kullanılarak ta giderilebildiği görülmüştür. Özellikle amonyum nitratta % 95'lik bir verim elde edilmiştir. Enerji tüketiminde ise 1 mL suyun 1 dakika ısıtılması için 0.205 Watt enerjinin gerekli olduğu ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga, atıksu, ön arıtım, giderim

2019, vii + 74 sayfa.

ABSTRACT

MSc/PhD Thesis

PRE-TREATMENT OF WASTEWATER WITH MICROWAVE

Merve AHMAD

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Nezih Kamil SALİHOĞLU

The population in our planet is constantly increasing. With the increasing population, the need for water increases in direct proportion. For this reason, we should treat the wastewater, which is composed of domestic, industrial and other kinds, in accordance with the characteristics of the water before giving it to the receiving environment, we must recover it and use it again. In this way, we can protect the nature and leave a future for the next generations. Nowadays, since water is used in many different functions, the characterization of the wastewater is also very different. Therefore, it is becoming more difficult to treat and discharge wastewater according to standards. There are many methods used in the treatment of polluted water in Environmental Engineering. These are physical, chemical and biological methods. Recently, the microwave method has been used to eliminate the pollutant parameters in the wastewater. In many studies, removal efficiency was obtained.

In this study, by removing the microwave method from the prefabricated microwave works, the removal of some parameters from the inlet water of Bursa Organized Industrial Zone Wastewater Treatment Plant has been missed. The microwave oven is operated at 900 Watts and the wastewater from the treatment plant is exposed to the microwave in different conditions and durations. In addition, the amount of energy spent in this process was also measured. Experimental findings showed that COD, ammonium nitrate, phosphate and color removal could be removed by microwave alone. A yield of 95% was obtained, especially in ammonium nitrate. In energy consumption, 0.205 Watt energy is required to heat 1 mL of water for 1 minute.

Key words: Microwave, wastewater, pre-treatment, remove

2019, vii + 74 pages.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinden tezin son aŐamasına gelene kadar bana yol gÖsteren, yoğun iÇ temposu arasında çok değerli vakitlerini ayırarak bana destek ve yardımlarını esirgemeyen, akademik kariyerime baŐladıĐım günden beri tecrübeleriyle bana ışık tutan, tez danıŐmanım saygıdeğer hocam Doç. Dr. Nezih Kamil SALİHOĞLU'na içten teŐekkürlerimi sunarım.

Ocak 2019

Merve AHMAD
evre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1.Kuramsal Temeller	6
2.1.1.Mikrodalga	6
2.1.2. Mikrodalga Fırının Keşfi Ve İlk Kullanımı	11
2.1.3.Mikrodalga Fırının Çalışma Prensibi	12
2.1.5.Mikrodalga Ve Kimyasal Reaksiyonlar	14
2.1.6.Mikrodalga İle Oksidan Ve Katalizör İlişkisi	16
2.1.7.Mikrodalganın Atıksuya Uygulanması	18
2.2.Kaynak Araştırması	20
3.MATERYAL VE YÖNTEM	28
3.1.Materyal	28
3.2.Yöntem	32
3.2.1. Atıksudan Mikrodalga Yöntemiyle KOİ Giderimi Deneyi	32
3.2.2. Atıksudan Mikrodalga Yöntemiyle Renk Giderimi Deneyi	35
3.2.3. Atıksudan Mikrodalga Yöntemiyle Amonyum Nitrat Giderimi Deneyi	39
3.2.4. Atıksudan Mikrodalgayla Fosfat Giderimi Deneyi	40
3.2.5. Atıksuda Mikrodalga Yöntemiyle Yapılan Deneylede Kullanılan Enerjinin Tespiti Deneyi	43
4.BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1.KOİ Deneyi Bulguları	45
4.2.Renk Deneyi Bulguları	56
4.3.Amonyum Nitrat Deneyi Bulguları	60
4.4.Fosfat Deneyi Bulguları	62
5.SONUÇ	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

Açıklama

KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
DAS	Demir Amonyum Sülfat
AKM	Askıda Katı Madde
ABS	Absorbans Değeri
UV	Ultraviyole
mA	Miliamper
MHz	Mega Hertz
GHZ	Giga Hertz

Simgeler

Açıklama

UV ₂₅₄	Sudaki Organiklerin Absorbe Ettiği Işık Miktarı
I _o	Çözeltiye Giren Işık Şiddeti
μS	Mikrosiemens

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Elektromanyetik Dalgalar.....	8
Şekil 2.2. Elektromanyetik Dalga Çeşitleri.....	8
Şekil 2.3. Magnetronun İç Yapısı.....	9
Şekil 2.4. Percy Spencer ve İlk Mikrodalga.....	12
Şekil 3.1. Renk Giderimi Deney Görselleri (Abed ve ark. 2015)	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Petrol Rafineri Atıksuyunda Katalizör ve Mikrodalga'nın Birlikte Kullanımı (Sun ve ark. 2008).....	22
Çizelge 2.2. Pilot Ölçekli Arıtma Sistemlerinin Deneysel Koşulları (Lin ve ark. 2009)..	23
Çizelge 3.1. Karışık Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları.....	30
Çizelge 3.2. Kullanılan Ekipmanlar Ve Özellikleri.....	31
Çizelge 3.2. Kullanılan Ekipmanlar Ve Özellikleri (Devamı).....	32
Çizelge 3.3. Elektrik Sayacı Ölçümleri.....	44
Çizelge 4.1. 100 mL Filtrelenmemiş Atıksu Değerleri.....	47
Çizelge 4.2. KOİ Giderim Verimliliği (%) Grafiği.....	47
Çizelge 4.3. KOİ Değişimi Grafiği.....	48
Çizelge 4.4. KOİ/Uygulanan Mikrodalga Enerjisi Grafiği.....	49
Çizelge 4.5. 100 mL Kaba Filtreden Geçirilmiş Atıksu Değerleri Tablosu.....	50
Çizelge 4.6. KOİ Giderim Verimliliği (%) Grafiği.....	50
Çizelge 4.7. KOİ Değişimi Grafiği.....	51
Çizelge 4.8. KOİ/Uygulanan Mikrodalga Enerjisi Grafiği.....	52
Çizelge 4.9. 100 mL 0.45 µm Filtre İle Filtrelenmiş Atıksu Değerleri Tablosu.....	53
Çizelge 4.10. KOİ Giderim Verimliliği (%) Grafiği.....	54
Çizelge 4.11. KOİ/Uygulanan Mikrodalga Enerjisi Grafiği.....	55
Çizelge 4.12. KOİ Değişmesi Grafiği.....	56
Çizelge 4.13. Renk Giderimi Tablosu.....	57
Çizelge 4.14. Ağırlık/Zaman Grafiği.....	58
Çizelge 4.15. Renk ABS/Zaman Grafiği.....	59
Çizelge 4.16. Amonyum Nitrat Deneyi Bulguları.....	61
Çizelge 4.17. Amonyum Azotu Değişimi Grafiği.....	61
Çizelge 4.18. Amonyum Azotu Giderim Verimliliği (%) Grafiği.....	62
Çizelge 4.19. Fosfat Giderimi Tablosu.....	64
Çizelge 4.20. Fosfat Giderim Verimliliği (%) Grafiği.....	64
Çizelge 4.21. Fosfat Değişmesi Grafiği.....	65

1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması beraberinde yerleşim bölgelerinin ve sanayinin artmasını dolayısıyla da her türlü atık oluşumunu tetiklemektedir. Artan kirlilik doğal yaşamı, canlıları özellikle su kaynaklarını olumsuz etkilemektedir. (Meral ve Cavadzade 2013)

Kirliliğin artışı su rezervlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı oluşan atıksuların kirlilik derecesi göz önüne alınarak arıtılıp deşarj edilmesi mevcut su kaynaklarının korunmasında büyük önem teşkil etmektedir. (Anonim 2011)

Atıksu arıtmanın genel amacı, çeşitli kullanım sonucunda oluşan atıksuyun alıcı ortama deşarj edilmesi sonucu alıcı ortamın ekolojik, fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliğini değiştirmemek için atıksuya uygulanan proseslerdir. (http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7d16d00201083a2_ek.pdf 2018)

Atıksuda bulunan kanserojen maddeler besin zincirine ve dolayısıyla insana ulaşabilir, atıksuyun yüzeysel sulara deşarjı ile sudaki çözünmüş oksijen oranı azalabilir ve canlıların ölümüne yol açabilir, buna benzer sebeplerden dolayı alıcı ortama vermeden atıksular arıtılmak zorundadır. (<https://isgfrm.com/threads/su-ve-atıksu-aritimi.2217/> 2018)

Atıksuyun ihtiva ettiği kirlilik, atıksuyun yaklaşık olarak % 1 ile 1,5 katıdır. Atıksuyu arıttığımızda kirlilik % 95 oranında azalmış olur. (Meral ve Cavadzade 2013)

Su; kokusuz, renksiz, berrak, hastalık yapıcı mikroorganizmalar içermeyen, sağlığa zararlı kimyasal maddeler bulundurmayan, agresif olmayan bir yapıda olmalıdır. (Çakmakçı 2014) Kirlendikten sonra arıtıldığında da aynı koşulları sağlamalıdır.

Atıksu bünyesinde; azot ve fosfor, organik ve inorganik kirleticiler, patojen mikroorganizmalar, birden fazla mikro kirletici, toksik maddeler bulundurur. (Meral ve Cavadzade 2013)

Arıtılmadan alıcı ortama deşarj edilen atıksu, içeriğinde bulunan organik maddelerin ayrışmasıyla, bulunduğu ortamın oksijen değerini azaltarak, anaerobik koşulların oluşmasını tetikler. Ayrıca yine içeriğinde bulunan azot ve fosforun alıcı ortamda alg patlamasına yani ötrofikasyonuna neden olmaktadır. (Meral ve Cavadzade 2013)

Atıksuları karakterize edebilmek için genellikle toplam organik karbon (TOK), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) parametreleri kullanılır. (Demiray 2001)

TOK, atıksudaki toplam organik madde ihtivasını verir. BOİ, atıksuyun kirlenme derecesini ihtiyacı olan oksijen miktarı cinsinden verir. KOİ, organik maddelerin yükseltgenme tepkimeleriyle parçalanırken ihtiyaç duyduğu oksijen miktarını verir.

Suda bulunan organik maddeler, su arıtıldıktan sonra dağıtım sisteminde ilerlerken ayrışarak mikrobiyolojik kalite değişimine yol açarlar. (Aydın 1999)

Atıksuyun özellikle renk, pH ve KOİ'si geldiği yere göre değişiklik gösterebilir. (Baburşah 2009) Bu sebepten ötürü suyu arıtmak için farklı prosesler kullanılmaktadır.

Atıksular; şebeke sistemiyle suyun, evlere, sanayi bölgelerine, ticari kurumlara gelmesi ve çeşitli amaçlarla kullanılarak kirlenmesi ile oluşur. Oluşan atıksu şehrin kanalizasyon sisteminde toplanarak arıtma tesisine ulaşır. Bu sırada sistem eğer bileşik sistem ise yağmur suları ve yüzeysel sular da karışabilir. (Meral ve Cavadzade 2013)

Bileşik sistemde, atıksu ve yağmur suyu ortak kanalizasyon hattında ilerler ve atıksu arıtma tesisine ulaşır. Atıksu yağmur suyu ile birleştiğinden seyrelme meydana gelir fakat temiz yağmur suyu da kirlemiş olur. Ayrık sistemde atıksu ve yağmur suyu ayrı hatlarda ilerler. Atıksu kanalizasyon hattında arıtma tesisine giderken, yağmur suyu da yeniden kullanılacağı sisteme gider.

Evsel atıksuları toplayan kanalizasyon şebekelerine çoğu zaman ön arıtmadan geçirilmiş endüstri atıksuları da karışmaktadır. Endüstri atıksularının debisi her ne kadar küçük de olsa kirlenici yükü ve çeşitliliği evsel atıksuya göre fazladır. Bu istenmeyen bir durum olduğundan merkezi kentsel atıksu arıtma tesislerine olumsuz etki yaparlar. (<https://isgfrm.com/threads/su-ve-atıksu-aritimi.2217/> 2018)

Kentsel atıksular, belediye ve endüstri atıkları, inorganik ve organik madde vb. gibi atıkları kapsar (kabaca; KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), AKM, yağlar vs.). Kentsel atıksular asla arıtılmadan alıcı ortamlara deşarj edilmemelidir. (Anonim 2011)

Kentsel Atıksuların Arıtımı Direktifi (91/271/EEC) ile atıksulardan nütrient giderimi ve hassas alıcı ortama deşarj yasal sınırlarla belirlenmiştir. (Yılmaz 2016)

Nütrient gideriminde avantajları gereği genellikle aktif çamur sistemi kullanılmaktadır. Azot ve fosfor gideriminde klasik aktif çamur sisteminin çeşitli modifikasyonları kullanılmaktadır. (Yılmaz 2016)

Su yaşamımızın temel bir unsurudur. Bu sebepten ötürü suyun temini, kullanımı, arıtımı ve dolayısıyla deşarjı büyük önem teşkil etmektedir. (Yalılı ve Solmaz 2004)

Suyun farklı amaçlarla kullanılmasıyla oluşan atıksuları temizleme ve bertaraf etme, endüstride ve şehirlerde kullanma suyunu temin etme, kullanılacağı yere göre hazırlama büyük önem arz eder.

Her atıksuya aynı yöntem uygulanmaz. Uygulanacak olan yöntem, giriş suyunun içeriğine ve istenen çıkış suyu kalitesine bağlıdır. (Anonim 2011)

Atıksulara fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım yapmadan önce, ilk arıtımın gerçekleşmesi için ön arıtım prosesi uygulanmaktadır. Bu proses nihai olarak çıkacak çamur kekindeki kirletici faktörün azalmasında ve ön arıtmadan sonra gelen proseslerin yükünün azaltılmasında önemli rol oynar. Ön arıtım sisteminin temel amacı, kirleticinin biyolojik ve fiziksel farklılığa uğraması sonucu atıksudaki zararlı ve zehirli faktörlerin azalması ve biyolojik bozunmanın artmasıdır. (Genç 2007)

Ön arıtım, sistemin performansını arttırır, sistemin bakım ve onarım maliyetini azaltır.

Ön arıtmada kirletici kısmi oksidasyona uğrarken, biyolojik arıtmada oksidasyon ile mineralizasyon işlemlerine maruz kalır. (Genç 2007)

Atıksuyun ne kadar arıtılacağı, alıcı ortamın özümseme yeteneğine, hassasiyet derecesine ve tekrar kullanım gereksinimine göre değişiklik gösterir. Atıksular birincil, ikincil ve üçüncül arıtıma sistemlerinden oluşur. Birincil arıtım fiziksel, ikincil arıtım kimyasal, üçüncül arıtım da biyolojik proseslerden oluşur. (Meral ve Cavadzade 2013)

Günümüzde evsel ya da endüstriyel nitelikte olan atıksular farklı arıtma teknolojileriyle tekrar geri kazanılıp kirletici etkisi bertaraf edilmektedir.

Atıksularda bulunan askıda katı maddeleri (AKM) gidermek için çöktürme, filtrasyon, yüzdürme, koagülasyon-çöktürme, fizikokimyasal sistem ve arazide arıtma; biyolojik olarak ayrışabilir organik maddeleri gidermek için biyofilm prosesleri, stabilizasyon havuzu, lagün, aktif çamur varyasyonu, anaerobik arıtma ve arazide arıtma; patojenleri gidermek için ozon, klorlama ve ultraviyole; azotu gidermek için iyon değiştirme, nitrifikasyon-denitrifikasyon, kırılma noktası klorlaması, olgunlaştırma havuzu ve arazide arıtma; fosfor giderimi için kireç koagülasyonu-çöktürme ve metal tuz ilavesiyle çöktürme, biyokimyasal olarak fosfor giderimi ve arazide arıtma; ağır metalleri gidermek için iyon değiştirme, kimyasal çöktürme ve arazide arıtma; çözülmüş inorganik katıları gidermek için ters osmoz ve iyon değiştirme; çökebilir katı maddeleri gidermek için kum tutucu ve ızgara; yağ ve gresi gidermek için yüzdürme yöntemleri kullanılır. (Debik ve Arslankaya 2013)

Atıksuları arıtmada kullanılan ön arıtma yöntemlerinden biri mikrodalga yöntemidir. Mikrodalga fırınlar günümüzde yiyecek ısıtmanın dışında Çevre Mühendisliği'nde de farklı amaçlar için kullanılabilir.

Gün geçtikçe, teknolojinin ilerlemesiyle elektromanyetik dalga yayıcı aletleri de kullanıldığı alanlar artmıştır. Evlerden hastanelere kadar birçok farklı alanda farklı şekillerde kullanılmaktadır. (Ov 2014, Çelik ve ark. 2016)

Elektrokimyasal teknoloji, tek başına veya değişik oksidasyon yöntemleriyle birleşip ön arıtım yöntemi olarak kullanılabilir. (Genç 2007)

Mikrodalga genelde lastikler, hastane ve endüstri atıkları ile çamur, radyoaktif ve toksik atıkların işlenmesi için büyük ölçüde önerilmiş bir yöntemdir. (Falciglia ve ark. 2018)

Mikrodalga sistemiyle ısıtmak, maddenin içine direkt işlediğinden diğer klasik ısıtma sistemlerinden farklıdır. (Jones ve ark. 2002, Toraman 2007)

Araştırmacılara göre, mikrodalga ile ısıtmanın diğer klasik piroliz yöntemi ya da atık yakma gibi yöntemlere göre ısıtılan maddenin kendini toksiklerden arındırma işlemi (detoksifikasyon) ve sürdürülebilirliği yüksektir. (Falciglia ve ark. 2018)

Mikrodalga birçok uygulamada (atık, toprak, su, çökelti) hızlı ve enerji tasarruflu oluşu sebebiyle evre dostu ve sürdürülebilir bir teknolojidir. (Falciglia ve ark. 2018)

Bu çalışmada, mikrodalga yönteminin Bursa Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinin giriş suyundan alınmış numunelerin mikrodalgaya farklı koşul ve sürelerde maruz bırakılması sonucu atıksu içeriğindeki KOİ (kimyasal oksijen ihtiyaı), renk, amonyum nitrat ve fosfatın giderimi gözlenecektir.



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1.Kuramsal Temeller

2.1.1.Mikrodalga

Mikrodalga, 1 m ile 1 mm aralığında dalga boyuna sahiptir. Mikrodalgalar elektrik enerjisinden oluşturulur. 100 cm yani 300 MHz ile 0,1 cm yani 300 GHz aralığındaki frekanslardan oluşur. Mikrodalga elektromanyetik dalga biçiminde yayılım gösterir. Fırın içinde mikrodalgalar dalga kılavuzunun sayesinde dolaşırlar. Birçok üründe mikrodalgalar kullanılmaktadır. Bunlar; radar, fırın, cep telefonu, kablosuz ağ, kulaklık vb. Mikrodalgalar kağıt, cam vb. gibi cisimlerden geçebilmektedir, fakat metalden yansıma yapar ve geri devinim yaparlar. Fırın içindeki cisimlere iyice nüfuz eden mikrodalgalar, aynı zamanda emilim gösterirler. (Ekin 2013), (<http://www.zamandayolculuk.com/html-3/magnetron.html> 2018)

Elektromanyetik enerji türü olan mikrodalga enerjisi iyonların göçüyle veya dipollerin dönme hareketiyle moleküller arası geçişlere neden olan aynı zamanda iyonize olmayan radyasyon çeşididir. (Zengin 2013)

Mikrodalga enerjisi, manyetik alan ile elektrik alandan oluşur. Fakat elektrik alandaki enerji maddeyi ısıtırken, manyetik alandaki enerji önemsizdir. (Zengin 2013)

Elektromanyetik spektrumda mikrodalgaların yer aldığı kısım, infrared (kızılötesi) ışınlarıyla radyo frekansları arasındadır. (Zengin 2013)

Elektromanyetik dalga 103 MHz ile 106 MHz frekansları arasında değişen mikrodalga bandıdır. (<http://www.zamandayolculuk.com/html-3/magnetron.html> 2018)

Elektromanyetik dalgaların en bilinen hali görünür dalgalardır. Görünür dalga insan gözünün görebildiği ışıktır. Işık moleküllerde ve atomda bulunan elektronların tekrar düzene girmeleri sonucu oluşur. Görünür ışık mor dalga boyundan ($\lambda=4*10^{-7}$ m), kırmızı dalga boyuna ($\lambda=7*10^{-7}$ m) kadar değişen renklerden oluşur. (Çalışkan 2002)

Kızılötesi dalga boyu (infrared) 1 nm ile görünür ışık dalga boyları arasındadır. Fotoğrafçılık, fizik tedavi gibi birçok uygulama alanı vardır. (Çalışkan 2002)

Morötesi dalga boyu 380 nm ile 60 nm dalga boyları arasındadır. Güneş yarığının temel sebebidir. (Çalışkan 2002)

Manyetik alan zamanla değişerek elektrik alanı oluşturur. Maxwell buna ek olarak elektrik alanın zamanla değişerek manyetik alanı oluşturduğunu gözlemlemiştir. Maxwell'in öne sürdüğü bu teori sonucunda elektromanyetik dalgaların var olduğu ve ışık hızında yayılabildiği öngörülmüştür. Hertz de elektromanyetik dalgaları ilk defa üretilen deneysel olarak kanıtlamıştır. (Çalışkan 2002)

Elektromanyetik dalgalar ivme kazandırılmış elektrik yükleri vasıtasıyla oluşturulurlar. Bu dalgalar birbirleri ve dalgaların yayılma doğrultusuna dikliği ile titreşen manyetik ve elektrik alanlardan oluşurlar. (Balanis 1989, Serway 1996, Çalışkan 2002)

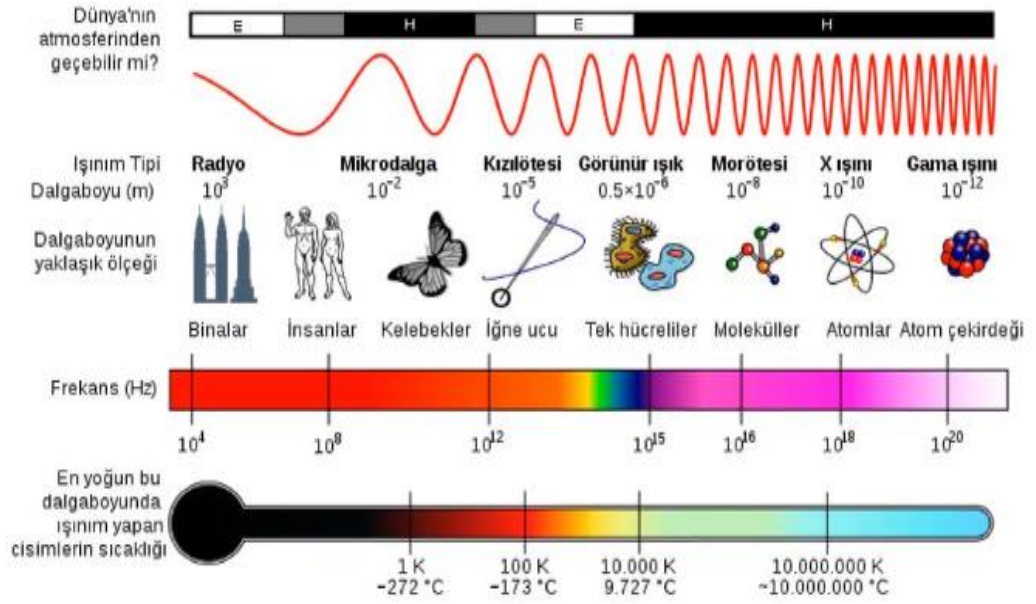
Mikrodalganın frekansı yükseldikçe bir ışınım yapması için gerekli enerji miktarı da aynı doğrultuda yükselir. (Stephen 1997, Toroman ve ark. 2007)

Mikrodalgalar çok yüksek yani UV'den fazla dalga boyuna sahipken, tam aksine çok düşük enerjiye sahiptir. (Haque 1999, Toroman ve ark. 2007)

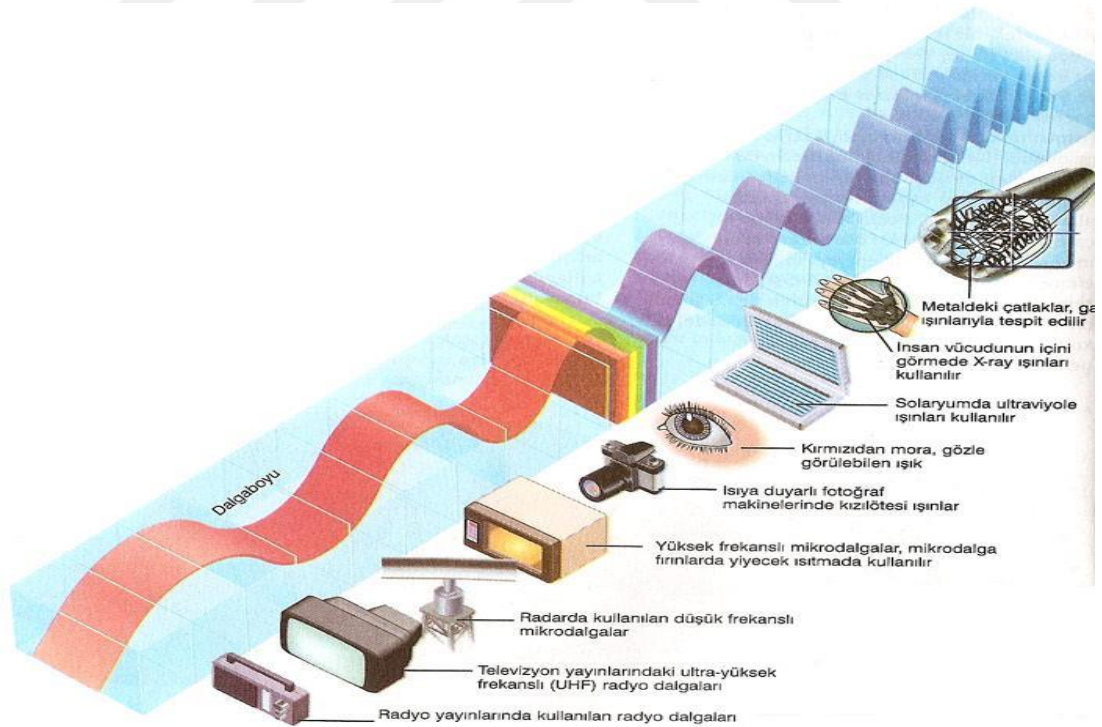
Mikrodalgayla ısıtmada, maddenin elektromanyetik enerjisi ısı enerjisine dönüştürme özelliğinden yararlanır. (Zengin 2013)

Mikrodalga fırın mantığı alışılmışın dışında çalışır. Olağan şartlarda ısı dıştan içe doğruyken, bu fırınlarda ısı direkt maddenin merkezine gönderilir. Normal fırınlarda olduğu gibi fırının içini ısıtmaz yalnızca fırındaki maddeyi ısıtır. (Ekin 2013)

Mikrodalga fırının yapısında, mikrodalga üretici olan magnetron, ışın taneciklerinin fırında yayılımına sebep olan dalga yayıcı, sıcak havanın içerde kalmasını önleyen havalandırma, döner zemin, fırın boşluğu ve pervane bulunur. (Ekin 2013)



Şekil 2.1. Elektromanyetik Dalgalar



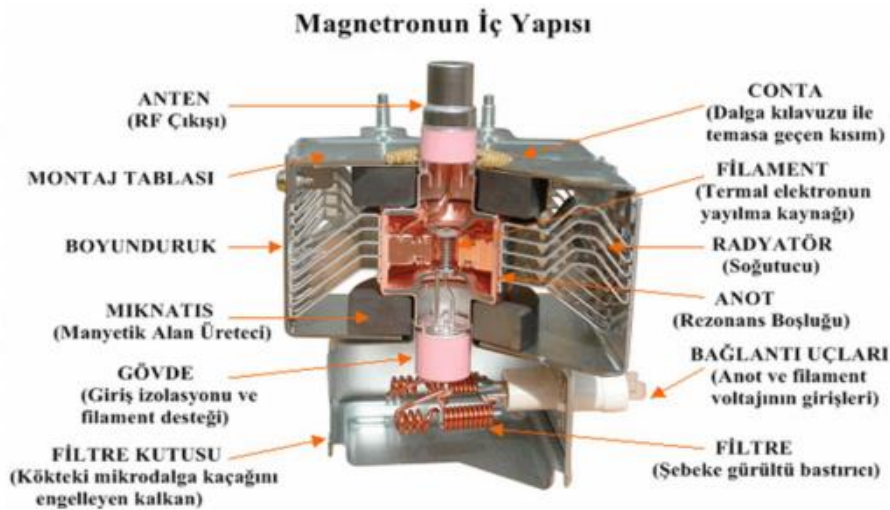
Şekil 2.2. Elektromanyetik Dalga Çeşitleri

Mikrodalga fırınların temel güç kaynakları magnetrondur. Çıkış gücü 500 Watt ile 2 kW değerlerinde değişir. Ama genellikle 2,5 GHz uygun bir değerdir. Magnetronun ürettiği güç, yükten yaklaşık olarak bağımsızdır. (Akagün 2006)

Mikrodalğanın üreteç kısmı oldukça güçlü metal bir kutunun içerisinde yer alır, bu üretecin adı magnetrondur. Mikrodalga fırın çalışmaya başladığında magnetron 60 Hz değerindeki elektriği alarak yüksek enerji foton halinde yayılan mikrodalgaları üretir. Mikrodalga fırının içerisinde yansıtıcı yüzey vardır, tüm ışınların fırındaki yiyeceğe ulaşmasını sağlar. Yiyeceğe gelen mikrodalga enerjisi su moleküllerinin titreşmesini dolayısıyla yiyeceğin ısınmasını sağlar. (Ekin 2013), (<https://www.elektrikport.com/2018>)

Ticari amaçlı olarak kullanılan mikrodalga fırınlarda 1000 Watt akım bulunmaktadır. Fırındaki magnetronun ürettiği mikrodalga radyasyonu, içindeki madde ile etkileşime girerken, artı ve eksi kutuplu moleküller de frekansları aynı olacak şekilde 10^{-6} mikrosaniyede dönerler.

Magnetronun yapısında, anten, manyetik devre yani boyunduruk, manyetik alan oluşturan miknatıs, kök, kaçak kök için mikrodalga kalkanı olan filtre kutusu, termal elektron yayılımı kaynağı olan filament, soğutma işlemi yapan radyatör, rezistans boşluğu yani anot, filament ve anot gerilim girişi olan terminal, iletken hat içerisinde gürültüyü bastırma noktası olan filtre, conta ve montaj plakası bulunur.



Şekil 2.3. Magnetronun İç Yapısı

Mikrodalga tekniğinin avantajları:

Konvansiyonel buhar sıyırma yöntemi ile karşılaştırıldığında, mikrodalga tekniğinin aşağıdaki avantajları vardır:

*Amonyak azotunun mikrodalga ışıınımlı ile giderimi buhar sıyırma yöntemininkinden daha yüksektir. Mikrodalga ile ısıtma hızlıdır ve moleküler seviyedeki ısıtma homojen hale gelir. Her iki etki de amonyak azotunun yüksek oranda giderilmesini sağlar.

*Laboratuvar ölçekli deneylerde % 95'in üzerine çıkabilirken, pilot ölçekli deneylerde yaklaşık % 80'dir. Oysa buhar sıyırma yöntemi ile sadece % 60 civarında bir giderim olmaktadır.

*Mikrodalga, buhar sıyırma yöntemine göre tesisin yatırım maliyetini düşürür.

*Mikrodalgadan sonraki su kalitesi buhar sıyırma yönteminden sonraki su kalitesinden daha iyidir.

*Mikrodalga güçlü bir sterilizasyon kapasitesine sahiptir.

Mikrodalga tekniğinin dezavantajları:

*Mikrodalga elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürür atık suyun işlenmesinde kullanıldığında büyük bir enerji miktarı gereklidir çünkü suyun özgül ısı kapasitesi çok yüksektir. Bu da yüksek güç tüketimine neden olur. Bu tekniğin en iyi uygulama alanı toksik endüstrisidir.

Mikrodalga Bantları:

L Bantlarının frekans aralığı 1 GHz ile 2 GHz arasındadır. Uzay boşluğunda ise 30 cm ile 15 cm dalga boyuna sahip aralıktadır. L bandından büyük çoğunlukla askeriyede, ve telefonlarda yararlanır. (<https://www.elektrikport.com/> 2018)

S Bantlarının frekans aralığı 2 GHz ve 4 GHz arasındadır. Dalga boyları ise 7,5 cm ile 15 cm arasında değişmektedir. S bandından büyük çoğunlukla kablosuz iletişimde, GPS'lerde yararlanır. (<https://www.elektrikport.com/> 2018)

C Bantlarının frekans aralığı 4 GHz ve 8 GHz arasındadır. Dalga boyları ise 3,75 cm ile 7,5 cm arasında değişmektedir. C bandı hiçbir hava koşulundan etkilenmez uzak mesafede kullanılan telsizlerde bu banttan yararlanır. (<https://www.elektrikport.com/2018>)

X Bantlarının aralığı 8 GHz ve 12 GHz arasındadır. Dalga boyları ise 25 mm ile 37,5 mm arasında değişmektedir. X bandından büyük çoğunlukla radarlarda, uzay ve uydu iletişimde yararlanır. (<https://www.elektrikport.com/2018>)

Ku Bantlarının frekans aralığı 12 GHz ve 18 GHz arasındadır. Dalga boyları ise 16,7 mm ve 25 mm arasında değişmektedir. Ku bandından büyük çoğunlukla kıyılarda rüzgar hızıyla yön saptamada, uydusal iletişimde yararlanır. (<https://www.elektrikport.com/2018>)

2.1.2. Mikrodalga Fırının Keşfi Ve İlk Kullanımı

Elektromanyetik dalgalardan ilk olarak bahseden kişi J. Clerk Maxwell'dir. Bundan yirmi sene sonra da H. Hertz Maxwell, mucidinin adıyla anılan Maxwell dalgalarını laboratuvar ortamında elde edebilmiştir. Özellikle ikinci dünya savaşının olduğu dönemde iletişime olan katkıları sebebiyle daha da geliştirilmiştir. (Jones ve ark. 2002, Türkoğlu 2010)

Mikrodalgada yiyecek ısıtma düşüncesi ilk olarak Percy Spencer'la birlikte öne sürülmüştür. Bu fikri magnetronun radar teknolojisinde kullanılabileceği düşünülen 1945 senesinde öne sürmüştür. 1947 yılında patentini almıştır. Yaptığı mikrodalga fırının ölçüsü 1,8 m boya ve 340 kg ağırlığa sahiptir. Yine aynı yıl mikrodalga fırın Raytheon firması tarafından "Radarange" ismiyle piyasaya sürülmüştür. Fakat boyutları ve fiyatı fazla olduğundan istenilen ilgiyi görememiştir. Evlere ilk olarak 25 Ekim 1995'te Tappan firmasının satışa sunmasıyla girmiştir. İlk fırınlardan günümüzde yaklaşık 80 milyon adet bulunduğu düşünülmektedir. (<https://tr.wikipedia.org> 2018)

Mikrodalgalar ilk kullanıldığı zamanlarda iletişim için kullanılmaktaydı. 1950'lerden sonra günümüzde de ısıtma yapmak için mikrodalga ışınlarından faydalanılmaktadır. Percy Spencer mikrodalgaın ısıtma amaçlı kullanılması için yaptığı çalışmada mikrodalgaın mekandaki her maddeye değişik etki yaptığını ortaya çıkarmıştır. Bu şekilde mikrodalga fırınının tasarımını yapmıştır. (Gallawa 2000, Engin 2007)

Mikrodalga halihazırda iletişimde kullanıldığı için evlerde ve endüstride kullanılan mikrodalgaların dalga boyları uluslararası olacak şekilde düzenleme yapılmıştır. (Engin 2007)

Genelde evlerde kullanılan mikrodalga fırınlar 2,45 GHz frekanslı olurken, endüstriyel proseslerde kullanılanlar 2,45 GHz veya 915 MHz olmaktadır. (Büyükkoyuncu 2012)



Şekil 2.4. Percy Spencer ve İlk Mikrodalga

2.1.3.Mikrodalga Fırının Çalışma Prensibi

Mikrodalgalar bir tür elektromanyetik enerji çeşididir. Elektromanyetik gücün ya da enerji spektrumunun bir bölgesini kaplarlar.

Mikrodalga fırınlar hem ince hem de oldukça net bir enerji dalgası üretirler, elde edilen dalga boyu ise bütün enerji çeşitliliğinde yalnızca dar bir frekansta yer alır.

Magnetronlar, ürettikleri gücü yayması için anteni uyarırlar. Uyarılan anten de dalgaların mikrodalga uygulayıcıya ulaşmasını sağlarlar. Bunu yaparken dalga rehberleri uzunluğunca ilerler. Ve sonunda maddenin olduğu boşluğa ulaşırlar. Malzemenin bulunduğu bölümde eşit ısıtma sağlamak için birkaç değişiklik yapmak mümkündür. Mikrodalğanın maddeye uygulanması 3 şekilde olur. (Akagün 2006) Bunlar:

*Madde yansıtıcıysa, kendisinin çeperine çok işlemesine imkan sağlamaz ve dalgaları geri yansıtır.

*Madde şeffaksa, dalgaların geçmesine izin verir.

*Madde enerjinin içine işlemesine izin veriyorsa, dalgaları emer ve ısı enerjisine dönüştürür. (Akagün 2006)

Mikrodalgalar elektrik devrelerinde elektronlardaki hızlanmayla oluşur. Mikrodalgalar dokunduğu maddeyle bir etkileşim yaparlar. Bu temas madde cinsine göre üç farklı çeşitte olabilir. Bunlar; Soğurma, geçirme ile yansıtmadır. (<https://gidabilinci.com/mikrodalga-nedir-nasil-calisir-calisma-prensibi> 2018)

Mikrodalga içindeki madde tarafından soğurulduğunda, mikrodalga ışını pozitif ve negatif merkezleri yön değiştirirken, polar moleküller de yön değiştirirler. Bu hareket milyonlarca kez tekrarlanır ve böylece moleküler boyutta sürtünme ısıyı açığa çıkar. Bu ısıtma ile çevredeki moleküller zarar görür ve parçalara ayrılarak deforme olur.

Su molekülü fazla olan maddeler mikrodalgayı daha fazla emer. Su moleküllerinin dönmesiyle titreşimler olur, titreşimlerle de sürtünmeler olur. Moleküller yaklaşık 5 milyon/saniye kere titrerler. Sürtünmeyle su molekülleri enerji açığa çıkarırken, sürtünen madde de ısınmaya başlar, molekül sayısı arttıkça madde daha hızlı ısınabilir. (Ekin 2013), (<https://gidabilinci.com/mikrodalga-nedir-nasil-calisir-calisma-prensibi> 2018)

Mikrodalga ısıtacağı madde ile etkileşime girdiğinde kutupsal moleküller elektromanyetik alanlara doğru konum değiştirir. Elektromanyetik dalga manyetik ve elektrik alan içerir. Bu alanlar sürekli salınım yaptığından polar moleküller de sürekli olarak kendilerini konumlandırmaya çalışırlar. Bu sürekli yer değiştirme ise moleküllerin birbirleriyle çarpışmalarına ve böylece ısınmaya neden olurlar. Apolar maddelerde ısınma olayı daha komplekstir, hareket edecek serbest elektronları mevcut değildir. (<http://www.zamandayolculuk.com/html-3/magnetron.html> 2018)

IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) mikrodalga ile ısıtmanın, dielektrik malzemelerin 300 MHz ile 300 GHz'lik elektromanyetik dalgaların hareketleriyle, moleküler hareketlerle ve iyonik iletim yoluyla ısıtılabilceğini belirtmektedirler. (<http://www.zamandayolculuk.com/html-3/magnetron.html> 2018)

2.1.5.Mikrodalga Ve Kimyasal Reaksiyonlar

Mikrodalgaların termal iyileştirmeye seçenek olacak şekilde endüstriyel alanlarda da bulunması daha da fazlalaşmış ve önemi artmıştır. Bu duruma istinaden farklı kimyasal tepkimelerde ve sentezlerde de kullanılabilirliği artmıştır. Katalizör kullanılan reaksiyonlarda mikrodalgalar değişik maddelerle değişik şekillerde etkileşime girebilirler. Kataliz reaksiyonlarında mikrodalga radyasyonunu absorbe edebilen, reaksiyonun aktifleşip enerji iletimini sağlayabilen, “sentizer” denilen maddeler kullanılır. Bu koşul, tepkimelerin başlamasında ve kontrol edilmesinde ana unsurdur. (Jacob ve ark. 1995, Kuşlu ve ark. 2002)

Mikrodalgaların elektriksel alanları, bileşiklerdeki artı ve eksi kutupla yüklenmiş parçacıklara bir güç uygularlar. Bu parçacıklar bağımsız hareket ederek elektriksel alanlara gelebiliyorsa bu alanda elektriksel akım oluşabilir. Bileşiklerde, yüklü parçacıklar bağlı olursa, sadece fazdaki hareketi elektriksel bölgeye doğru olur, ayrıca hareketleri sınırlanır. Bu olaya dielektrik polarizasyon denir. Bu olayda, maddenin içeriğindeki yüklü parçacıklardaki değişik tiplere göre 4 farklı bileşenlerden oluşurlar. Bunlar; sürekli dipol, ara yüzey yükü, çekirdek ve elektrondur. (Jacob ve ark. 1995, Galema 1997, Kuşlu ve ark. 2002)

Mikrodalganın uygulanabilmesi için dielektrik kaybına sahip olması gereklidir. Demek oluyor ki elektromanyetik alanda dipolar elektrik yüklerinin oluşması mümkündür. Kalıcı elektrik dipol titremeye zorlandığı zaman bu eylem sonucunda ısı üretilir. (<http://www.zamandayolculuk.com/html-3/magnetron.html> 2018)

Mikrodalga kimyasal reaksiyonun etkisinin artırılmasında, geleneksel termal ısı kaynaklarına göre daha etkili bir yöntemdir. (Remya ve Lin 2010)

Mikrodalga, sıradan ısıtma yöntemlerine göre, kimyasal reaksiyonların verimliliğini arttırmak konusunda, çok daha etkilidir.

Mikrodalga sisteminde absorbant ile kirletici maddelerin bozulması, absorbant yüzeyinde sıcak nokta oluşmasından ileri gelmektedir. (Remya ve Lin 2010) Mikrodalga ışınması sırasında absorbant yüzeyindeki elektronların kinetik enerjisi artar, bu durum da elektronların çevreden gelen atmosferi iyonlaştırarak sıcak nokta oluşumu olan malzemeden elektronların atlama yapmasını sağlar. (Menendez ve ark. 2010, Remya ve Lin 2010)

Sıcak noktalar, reaksiyon alanındaki ortam ve sıcaklık ya da reaktör sistemindeki sıcaklık arasındaki farklardan kaynaklanan termal ya da sıcaklık etkilerine neden olur. Bu etki, aktivasyon enerjisini azaltır ve reaksiyon hızını artırır karmaşık kimyasal bağların imha edilmesini de kolaylaştırır. (Remya ve Lin 2010)

Mikrodalğanın etkileri termal ve termal olmayan etki diye ikiye ayrılır. Termal etki, mikrodalğanın ısıtma özelliğinden kaynaklanır ve farklı sıcaklık düzenlerine neden olabilir. Termal olmayan etki, daha spesifik bir etkidir ve mikrodalga ile substrat arasındaki termal olmayan etkileşimden meydana gelir. (Remya ve Lin 2010)

Termal etkiler, hacimsel ısıtma, hızlı ısıtma, aşırı ısınma, seçici ısıtma ve sıcak noktalardan meydana gelmektedirler. Termal olmayan etkiler, yüzey polarizasyonu ile bağlantılıdır.

Mikrodalga yöntemiyle ısıtma hızlıdır ve mikrodalga moleküler seviyede ısıtma, hızlı ve homojen olan termal reaksiyonlara sebep olur. (Menendez ve ark. 2002, Venkatesh ve Raghavan 2004, Lin ve ark. 2009)

Yüksek sıcaklık ve hızlı ısıtılmanın mikrodalga kimyasındaki artış sebebi, basit termal etki ya da kinetik etkidendir. (Kappe 2004, Remya ve Lin 2010)

Mikrodalğanın termal etkileri, hızlı ısıtmaya, hacimsel ısıtmaya, aşırı ısınmaya, sıcak noktalara ve seçici ısıtmaya dayanmaktadır. Ayrıca termal olmayan etkiler hala tartışılmaktadır.

Islak ya da kuru ayırt etmeden kaya blokları mikrodalgaya maruz bırakıldıklarında, taneler arasındaki farklı termal genleşme ile gözeneklerdeki suyun hacimsel olarak termal genleşmesi yollarıyla iç çatlaklar oluşabilir. (Kim ve Santamarina 2016)

Nontermal etkiler termal etkilerin tam tersine, yüzey polarizasyonu ile ilişkilidir. Ancak, mikrodalga ile ilgili termal gradyan oluşumu ve nontermal etkiler sadece solvent içermeyen veya kuru ortam reaksiyonları için ve çok yapışkan, etkili karıştırılmayan bifazik reaksiyon sistemleri için uygundur. (Hajek ve ark. 2006)

Mikrodalga ışınlarından kaynaklanan 65 °C'ye varan sıcaklık artışı kimyasal bağların kopmasına ve proteinlerin denatürasyonuna neden olur. Bu durum çözülebilir organik bileşenlerin, çamurun su fazına geçmesine sebep olur. Bazı yazarlar mikrodalga ile arıtımın aynı zamanda nontermal bir etkiye neden olduğunu iddia etmektedir. (Eskicioğlu ve ark. 2007, Houtmeyers 2012)

2.1.6. Mikrodalga İle Oksidan Ve Katalizör İlişkisi

Oksidanların yapısında bulunan O₂ sürtünme ve ısı ile ortaya çıkar. O₂ daha sonra başka kimyasallarla etkileşime girer. Bu tarz kimyasal maddeler kirletici az da olsa bozunurlar ve aşındırıcı ve zararlı gaz oluşturabilirler. Tepkimeler gittikçe hızlanır. Oksidanalara örnek şunlardır: Oksit, peroksit, klorat, perklorat, permanganat, nitrit, persülfat... (<https://isgfrm.com/threads/oksidan-kimyasallar.10368/> 2018)

Mikrodalğanın oksidanlarla birlikte kullanımına H₂O₂ örneğini verebiliriz. H₂O₂ mikrodalgaya maruz bırakıldığında karbondioksit ve suya dönüşür. OH⁻ radikallerinin oluşumuyla parçalanma meydana gelir. Demek oluyor ki mikrodalga H₂O₂'yi aktifleştirir ve 2 adet OH⁻ radikaline dönüştürür. (Kocaer ve Alkan 2002)

Mikrodalgayı oksidanlarla birleştirmenin temel avantajı, oksitleyicilerden serbest radikal oluşumunun uyarılması ve kirletici molekülün hızlı kutuplaşmasıdır. (Zhang ve ark. 2009, Remya ve Lin 2010)

Mikrodalga ve oksidanlar birleştirildiğinde, katalitik oksidasyon ve geleneksel termal yöntemlerine göre daha yüksek tepkime sıcaklığına ulaşırlar ve böylece kirletici maddeler daha hızlı bozulurlar. (Remya ve Lin 2010)

Mikrodalgayla kullanılan en yaygın iki oksidan çeşidi, persülfat (S₂O₈⁻²) ile hidrojen peroksittir (H₂O₂). (Remya ve Lin 2010)

Mikrodalga ve oksidanları birleştiren sistemlerde, çeşitli kirleticilerin bozunmasının arttırılmasındaki sorumlu, dipolar polarizasyon mekanizmasıdır. (Eskicioğlu ve ark. 2008)

Oksidan dozajları kontrol edilebilir. Bazı oksidanlar OH⁻ radikalleriyle reaksiyona girer ve organik atıksu arıtım verimini önemli seviyede düşürür. (Wang ve Wang 2015)

Mikrodalga ışınması altında H₂O₂ ve persülfat gibi oksidanlar oksidatif serbest radikal üretirler, bunlar da organik kirleticileri oksitler. Yüksek sıcaklıklarda yan reaksiyonlar oksidatif türleri yok edilebilir, bu sebepten reaksiyon sıcaklığı optimum seviyelerde olmalıdır. (Wang ve Wang 2015)

Mikrodalga/fenton ve fenton benzeri yöntemi, H₂O₂'de mikrodalga radyasyonunun etki yapmasından dolayı optimum pH nötr koşullarda gerçekleşebilir. Ayrıca mikrodalğanın ısınma etkisinin fazlalığı fenton ve fenton benzeri proste OH⁻ oluşmasına neden olur. (Wang ve Wang 2015)

Mikrodalga ile geliştirilen fenton ve fenton benzeri işlemin avantajları; gelişmiş çökeltme, çamur uzaklaştırma ve kompakt flok oluşumudur. (Yang 2009, Remya ve Lin 2010)

Petrol hidrokarbonlara, klorlu çözücülere, poliklorlanmış bifenillere, metil tetri butil eter gibi organik kirleticilere ve metallere elektro-fenton oksidasyonu uygulanabilmektedir. (Mantzavinos ve ark 2004, Genç 2007)

Kimyasal katalizde katalizörler, katalizörlerin tüketimi olmaksızın kimyasal reaksiyonu hızlandırmak veya yavaşlatmak için kullanılır. Katı bir katalizör kullanan sıvı faz oksidasyonu, çözünmüş toksik kirleticilerin atık sudan uzaklaştırılması için potansiyel bir yöntemdir. (Zhang ve ark. 2006)

Mikrodalğanın güçlü mikrodalga emici özelliğe sahip katalizörler ile kombinasyonu, çeşitli işlemler için mikrodalğanın uygulanması, bilinen bir yöntemdir. Katalizörlü mikrodalga işlemi sırasında, kimyasal kataliz yöntemi mikrodalga ile kombine edilir (yani katalizör yüzeyi mikrodalgayı absorbe eder ve parçalanma sürecini hızlandırır) ve organik kirleticilerin atıksudan hızlı ve etkili olarak çıkarılması için kullanılır. (Zhang ve ark. 2006)

Tekstil atıksularındaki organik madde ve renk giderimi için H_2O_2 tek başına etkili değildir. Ancak UV gibi katalizörlerin kullanılması ile hidroksil radikallerine dönüştürülür ve etkin kullanımı sağlanır. (Slokar ve ark. 1998, Şahin 2006)

Kimyasal katalizde, katalizörler bir kayba uğramadan reaksiyonu hızlandırır ya da yavaşlatır. Katı katalizör kullanılarak sıvı faz oksidasyonu yöntemi çözülmüş toksik kirleticilerin atıksudan uzaklaşmasında kullanılan bir yöntemdir. (Remya ve Lin 2010)

Kimyasal kataliz reaksiyonunda, organik kirleticilerin atıksudan ya da sudan etkili ve hızlı uzaklaştırılması için katalizörler mikrodalgayla birlikte kullanılır. Burada katalizör yüzeyi mikrodalgayı emer ve bozunma işlemini hızlandırır. (Remya ve Lin 2010)

Mikrodalga ile oksidan/katalizör sistemlerinde kirleticilerin hızlı bir şekilde bozunması sağlanır. Sadece oksidan/katalizör dozajı değil, mikrodalganın gücü ve verimliliği, pH ve hava beslemesi gibi parametreler de sistemi etkiler. Mikrodalganın gücü artarsa tepkime sıcaklığı da o oranda artar. (Zhang 2006, Remya ve Lin 2010)

Heterojen katalizörler, çok fonksiyonlu ve yüksek yüzey alana sahip olmalarından dolayı bazı aktif bileşenleri nano boyutta sentezlenir. Ayrıca sağlık ve çevreye elverişli olması, homojen asit katalizörlerine göre düşük korozyon etkilerine ve kolay kullanıma sahip olmasından dolayı avantajlı kullanıma sahiptir. (Karabacak ve ark. 2010)

2.1.7. Mikrodalganın Atıksuya Uygulanması

Sularda hâlihazırda bulunan gelen kirliliğin çoğu insan faaliyetlerince oluşmaktadır. Atıksu arıtımında, kirleticilerin uzaklaştırılması ve organik içeriğin giderimi için birçok teknik, sistem ve metot mevcuttur. Birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik metot atıksu arıtımında kullanılmıştır. Örnek olarak; ön arıtma, ön çöktürme, kimyasal oksidasyon, havalandırma, adsorpsiyon prosesleri verilebilir.

Ön arıtım prosesinin amacı, sıvı fazda OH^- radikallerinin yükseltgenmesidir. (Mantzavinos ve ark. 1999, Genç 2007) Ön arıtım atıksulardaki kirletici konsantrasyonun kısmi oksidasyonunu ya da tam mineralizasyonunu gerçekleştirmesine yardımcı olur. (Genç 2007)

Günümüzde atıksuların arıtımında elektrokimyasal yöntemler özellikle ön arıtımda revaçtadır. Tek başına kullanıldığı gibi, değişik oksidasyon prosesleriyle de kullanılmaktadır. (Genç 2007)

Mikrodalgalar, daha önce, kirlenmiş toprağın iyileştirilmesi, atıkların arıtılması, yağ ve su ayrımı, azot oksitlerin ve kükürt dioksitin azaltılması, polimer sentezi, organik reaksiyonlar ve aktifleştirilmiş karbonun yenilenmesinde yaygın olarak uygulanmıştır.

Mikrodalğanın hızlı ve etkili bir ısıtma yöntemi olması, mikrodalğanın su arıtımında kullanılmasını akla getirmiştir.

En çok tercih edilen mikrodalga teknikleri:

- *Sadece Mikrodalga
- *Mikrodalga ve Oksidanlar
- *Mikrodalga ve Katalizörler
- *Mikrodalga ve Fenton Prosesi
- *Doğrudan Fotolizli Mikrodalga
- *Fotolizli Mikrodalga

Mikrodalga-yüksek basınç işlemi alternatif atık çamuru giderim yöntemidir. Sulu fazdaki organik atıkların termo-kimyasal dönüşümü ilkesine dayandırılabilir. Mikrodalga enerjisi ısıtacağı maddenin ihtiyacı olan ısı enerjisini yüksek verimle sağlar. Süspansiyonun içerdiği organik kısım 160-180 bar yüksek basınç ile 300-400 °C sıcaklıkta (prosesine uygun olacak şekilde suyun kaynama noktasının hemen altında bir değerde) CO₂ ve bir yağ ürününe dönüşür. (Ayvaz 2000)

Mikrodalga moleküler seviyede bir ısıtma yaptığından ötürü, homojen ve hızlı termal reaksiyonlar oluşturur. Bugüne kadar mikrodalga, özellikle atıksu uygulamaları olmak üzere çeşitli çevre mühendisliği alanlarında kullanılmıştır (Lin ve ark. 2009, Cravotto ve ark. 2010).

Mikrodalga sisteminin kurulum ve işletme maliyetleri pahalıdır, bu nedenle toplam maliyeti mümkün olduğunca azaltmak için, maksimum güç kullanımının optimizasyonu (gözlem ve ölçümler ile kalibrasyon yapılması) ve ısı eşanjörleri vasıtasıyla proses ısısının bir kısmının geri kazanılması önerilir.

Isı eşanjörü, bilindiği üzere bir akışkanın başka akışkana ısıyı taşımasını sağlayan araçtır. Sonuç olarak mikrodalga, gerekli arıtma süresini azaltabilir ve bazı bileşikler için, örneğin amonyak için yüksek bir arıtma verimliliği sağlayabilir.

Öte yandan, kirletici maddeler açısından daha karmaşık atıksulardan, örneğin pentaklorofenol gibi yüksek seviyede biyo-refrakter maddeler içeren atıksulardan, tam bir giderim elde edilmesi tek başına mikrodalga ile oldukça zordur.

Biyo-refrakter maddeler, biyolojik olarak herhangi bir işlem, değişiklik veya süreçten etkilenmeyen maddelerdir.

2.2.Kaynak Araştırması

Çalışkan'ın (2002) kum, şeker, kömür gibi maddelerin su ile birleşimden oluşan karışımlar mikrodalga fırında kurutma amacıyla yapılan çalışmasında, 100 °C'ye kadar buharlaşma olmadığı üretilen enerjinin hepsinin maddeyi ısıtmak için harcadığı, 100 °C'den sonra enerjinin buharlaşmaya harcadığı tespit edilmiştir. Mikrodalga ile kurutma yapılırken, zamanla kurutma hızının da azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni su kütlelerinin azalması ile hacimsel olarak az ısı üretilmesi ve kumdan etrafa nem geçişinin az olması olduğu tespit edilmiştir.

Muler ve arkadaşlarının (2003) yaptığı çalışmaya göre, “mikrodalga kuvvetlidir. Ancak enerjileri, birçok organik içeriğin kimyasal bağlarının bozulması için yetersizdir.” Bundan dolayı mikrodalgaya ek olarak katalizör ve adsorban da kullanılarak giderim arttırılmıştır. Bu sayede özellikle bazı kirleticilerde giderim yükseldiği gibi reaksiyon süresi de azalmıştır.

Nuchter ve arkadaşlarının (2003) yaptığı çalışmaya göre, “Çoğu zaman mikrodalğanın yarattığı etki, konvansiyonel ısıtıcılar vasıtası ile yaratılamaz. Mikrodalğanın yarattığı etki, termal etki ve termal olmayan etki olmak üzere ikiye ayrılabilir. Termal etkiler, normal mikrodalğanın ısıtma prensibi ile alakalıdır. Lakin termal olmayan etkiler, mikrodalga ile susbtratlar arasında oluşan etkileşimden meydana gelen spesifik etkilerdir.”

Şahin’in (2006) çalışmasında sentetik asit boya banyosu atıksuları kimyasal proseslerle ön arıtıma tabi tutulmuştur. H₂O₂ ile UV-C prosesi kullanıldığında %43 KOİ giderimi ile 525 nm’de %95 renk giderimi elde edilmiştir. H₂O₂/UV-C oksidasyonunda KOİ ve renk giderimi, hız sabitinin düşük olması sebebiyle gerekli reaksiyon süresinin ve harcanan enerjinin artmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple pratikte uygulanabilirliğinin olmadığı düşünülmüştür.

Koban’ın (2006) çalışmasında yüzey aktif maddelerin biyolojik arıtılabilirliği, H₂O₂/UVC prosesi ile ön arıtılabilirliği incelenmiştir. Çalışma sonunda H₂O₂ sabitken KOİ arttırıldığında KOİ giderim veriminin azaldığı, bu durumdan H₂O₂’nin etkilenmediği tespit edilmiştir.

Genç (2007) çalışmasında biyolojik parçalanmaya dirençli organiklerle, zehirli etkiye sahip ağır metallerin beraber elektrokimyasal ön arıtıma tabi tutulabileceğini öne sürmüştür. Biyolojik parçalanmaya dirençli kirleticilerin verimli bir şekilde biyolojik arıtımda arıtılabilmesi için zehirlilik etkisinin azaltılması ve biyolojik olarak parçalanabilirliğinin arttırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ön arıtımın diğer klasik biyolojik arıtma yöntemlerinde giderilemeyen kirletici maddelerin biyolojik olarak parçalanmasına yardım ettiği, fakat işletme maliyetlerinin fazla olmasından dolayı kısmi oksidasyon yönteminin uygulandığı sonucuna varılmıştır.

Lin ve arkadaşlarının (2008) çalışmasında atıksudan amonyum azotunun mikrodalga radyasyonu ile giderilmesi amaçlanmıştır. pH, radyasyon süresi, havalandırma ve ilk amonyak değeri konsantrasyonlarının amonyum azotu giderimindeki etkileri incelenmiştir. En iyi giderimin 3. dakikada pH 11’de elde edilmiştir. Havalandırma ile ilk amonyak konsantrasyonu az etki göstermiştir. Termal ve termal olmayan etkilerin ikisi de giderimde etkili olmuştur. Termal etki asıl etkiyi verirken, termal olmayan etki giderime bir dereceye kadar etki etmiştir. Mikrodalga gücü 750 Watt, atıksu hacmi 100 mL ve pH 11 iken 10 dakikalık mikrodalga radyasyonu amonyum azotu konsantrasyonunu 5000 mg/l’den 350 mg/l’ye düşürebileceği ön görülmüştür.

Sun ve arkadaşlarının (2008) yaptığı çalışmada, KOİ’nin tek başına mikrodalgayla, katalizörlerle beraber mikrodalga yöntemlerinde ve diğer kombine mikrodalga prosesleri ile giderilebildiği görülmüştür. Buna örnek aşağıdaki Çizelge 2.1.’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Petrol Rafineri Atıksuyunda Katalizör ve Mikrodalga'nın Birlikte Kullanımı (Sun ve ark. 2008)

Kirletici	Mikrodalga Dakikası ve Gücü	Katalizör, oksidan isimleri ve dozajları	Diğer Bilgiler	Koi Giderimi % si ve kW/saat başına giderilen Koi miktarı
Petrol Rafineri AtıkSuyu	30 DK 660Watt	GAC (C)-50 o2 was supplied with 0.8 Mpa	Koi = 5500 mg/L Atıksu Hacmi = 150 mL Sıcaklık = 150 C	Giderim %91.0 Verimlilik: 2275 mg Koi/kW/saat

Li ve arkadaşlarının (2009) çalışmasında atıksuların arıtılması için yeni bir yöntem olan mikrodalga ile kimyasal indirgeme işlemi geliştirilmiştir. Tasarlanan bu sistemde % 80 üzerinde nitrit ve yaklaşık % 20 oranında KOİ giderimi elde edilmiştir.

Lin ve arkadaşlarının (2009) yaptığı çalışmaya göre, optimum şartlarda mikrodalga yöntemiyle atıksudaki amonyak tümüyle giderilmiştir. Böylece yalnız mikrodalga kullanıldığında amonyak gideriminde verim elde edildiği tespit edilmiştir. Verimin % 80 olduğu belirlenmiştir. Verimin mikrodalga'nın su moleküllerini harekete geçirmesi ile ısıtma niteliğine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Amonyak giderim veriminde azalış, çalışma miktarının ve kirleticilerin fazlalığından ve başka kirleticilerin oluşmasından ötürü olduğu tespit edilmiştir.

Lin ve arkadaşlarının (2009) yaptığı diğer çalışmada laboratuvar ölçeğinde bir reaktörde optimum koşullarda amonyak nitrojeni giderimi amaçlanmıştır. Mikrodalganın sadece amonyak gideriminde faydalı bir arıtım yöntemi olduğu bulunmuştur. Mikrodalganın ürettiği ısı ve moleküler hareket amonyak giderimi için önemli bir paya sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Yukarıda belirtilen Lin ve arkadaşlarının (2009) laboratuvar ölçeği ve pilot ölçekli arıtma sistemlerini içeren çalışmalarındaki deneysel koşulları aşağıdaki Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Pilot Ölçekli Arıtma Sistemlerinin Deneysel Koşulları (Lin ve ark. 2009)

Mikrodalga ile amonyağın optimum işletme koşulları ve giderim verimleri		
Reaktör no	1	2
Reaktör türü	Laboratuvar ölçekli reaktör	Pilot ölçekli reaktör
İlk Konsantrasyon (mg/L)	500	2400-11,000
Atıksu hacmi	100 mL	28 L
pH	11	12
Mikrodalga gücü	750 Watt	4.8 kW
Arıtma süresi (min.)	3	60
Giderim verimi (%)	100	80
Uyarılar	Polar bileşiklerin dipolar polarizasyonuna bağlı termal etkiler (H ₂ O ve NH ₃) giderim verimliliğinde artışa neden olmuştur.	

Yang ve arkadaşlarının (2009) yaptığı çalışmaya göre, mikrodalgayla güçlendirilmiş fenton ve fenton benzeri proste, geleneksel fenton tepkimeleriyle, geliştirilmiş olan yöntem karşılaştırılmış ve geliştirilen yöntem daha iyi çıkmıştır. Mikrodalga yöntemi atıksuyun biyobozunurluluğuna olumlu etki yapmıştır. Mikrodalgayla güçlendirilmiş fenton ve fenton benzeri oluşturulan proste KOİ ve UV₂₅₄ giderimleri incelendiğinde, KOİ gideriminin %57.53 ve UV₂₅₄ (sudaki organiklerin absorbe ettiği ışık miktarı) gideriminin %55.06 olduğu gözlenmiştir. Ayrıca BOİ₅/KOİ önceki 0,165 değerinden 0,470 değerine çıkmıştır.

Remya ve Lin'in (2010) çalışmasında atıksu arıtımda mikrodalga uygulaması incelenmiştir. Çalışmada mikrodalğanın avantajları şöyle sıralanmıştır; reaksiyon süresini azaltır, aktivasyon enerjisini azaltır, reaksiyon seçiciliğini azaltır, reaksiyon hızını artırır, ekipman ebadı ve atığı azaltır, kontrol kolaylığı sağlar, ürün verimliliği sağlar, saflığı artırır. Özellikle mikrodalga ve UV bileşiminden oluşan sistemin basit, verimli ve ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Katalizörlü veya katalizör kullanılmayan mikrodalga sistemlerinin çeşitli substratların bozunmasında verimli olduğu gözlemlenmiştir.

Saha ve arkadaşlarının (2011) çalışmasında, mikrodalga, ultrason ve mikro çamur yöntemleriyle atıksu ön arıtıma tabi tutulmuştur. KOİ giderimi % 5-43 aralığında bulunmuştur. Mikrodalga yönteminin biyolojik bozunma oranı/kapsam geliştirme açısından en etkili yöntem olduğu gözlemlenmiştir.

Zalat ve Elsayed'in (2013) çalışmasında atıksudan piridin mikrodalga ile giderimi incelenmiştir. En iyi giderim 20 ppm'lik başlangıç konsantrasyonuyla 5. dakikada, 750 Watt mikrodalga gücünde, pH 9 değerinde elde edilmiştir. Piridin 20 ppm'den 0,5 ppm'e düşmüştür. pH ve radyasyon süresinin giderim için önemli olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak mikrodalğanın kısa bir süre içinde yüksek piridin giderimi sağladığı tespit edilmiştir.

Zhang ve arkadaşlarının (2014) yaptığı çalışmada kanalizasyon çamurunun mikrodalga kaynaklı pirolizi yapılırken nitrojen dönüşümünün karakterizasyonu incelenmiştir. Kanalizasyon suyunun termal ayrışmasının diğer pirolizlere göre mikrodalga pirolizinde daha hızlı olduğu tespit edilmiştir. Ve yine kütle kaybının da mikrodalga pirolizinde daha hızlı olduğu ve iki ayrışma aşaması olduğu keşfedilmiştir. Kömür, katran ve gaz ürünleri mikrodalga piroliziyle azota dönüşürken piroliz sıcaklığının önemli olduğu tespit edilmiştir.

Passos ve arkadaşlarının (2013) çalışmasında yüksek oranlı alg havuzunda yetiştirilen mikroalglerin, bakteriyel biyokütlenin çözünmesi ve anaerobik sindirimi üzerinde mikrodalga ön işleminin etkileri incelenmiştir. Araştırmanın sonucunda mikrodalga ışınlarının mikroalglerin oluşumunu arttırdığı, anaerobik sindirimi arttırdığı gözlemlenmiştir.

Ngadi ve arkadaşlarının (2013) çalışmasında kitosan aşılınmış tekstil atıksuyu mikrodalga yöntemiyle arıtılmıştır. Flokülant dozajı, pH ve çökeltme süresi performansı etkilemiştir. Tekstil atıksuyunun arıtılması için en uygun koşul 0,2 g flokülant, pH 4 ve mikrodalgada 90 dakikalık bekleme süresi olduğu gözlemlenmiştir.

Younis ve arkadaşları (2014) çalışmalarında petrol atıksuyunun arıtılması aşamasında farklı fenol konsantrasyonlarının giderilebilmesi için mikrodalga ışınlarının etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, mikrodalga çıkış gücünün ve ışın süresinin fenolün giderim verimliliği üzerinde önemli pozitif bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kinetik reaksiyonun, mikrodalganın ilk çıkış gücü ve başlangıç fenol konsantrasyonları tarafından belirgin bir şekilde etkilendiği görülmüştür.

Alagöz ve arkadaşlarının (2015) çalışmasında atıksu ve zeytin posası farklı kombinasyonlarla mikrodalga ve ultrasonik ön arıtıma tabi tutulmuş ve metan üretimi incelenmiştir. En yüksek biyogaz ve metan veriminin zeytin posası ve atıksuyun mikrodalgada 30 dakika ön arıtıma tabi tutulmasıyla gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Wang ve Wang'ın (2015) çalışmasında organik atıksuların arıtılmasında mikrodalganın etkisi incelenmiştir. Bazı kimyasal reaksiyonların ve organik atıksu arıtımının mikrodalga ışımada kolayca gerçekleştiği tespit edilmiştir. Mikrodalga tek başına kullanıldığında uçucu ya da yarı uçucu organiklerin buharlaşmasını sağlayarak bu kirleticileri içeren atıksuların arıtılmasını sağladığı tespit edilmiştir.

Özgen'in (2016) yaptığı çalışmaya göre; "fiziksel dezentegrasyon yöntemlerinin çamur üzerindeki etkisini incelemek amacıyla mikrodalga irradiasyonu kullanılmıştır. Mikrodalga irradiasyonunun organik madde çözünürlüğü üzerindeki etkisini inceleyebilmek açısından uygulanan iki önemli parametre mevcuttur. Bunlar uygulanan sıcaklık ve uygulama süresidir." Çalışmanın ilk denemelerinde değişik sıcaklık ile zaman parametreleri kullanılmıştır. İkinci denemelerinde ise ilk denemelerin sonuçlarına dayanarak optimum sıcaklık ve zaman (175 °C ve 10 dakika) kullanılarak mikrodalga dezentegrasyon metodu incelenmiştir.

Özgen'in (2016) çalışmasının verdiği sonuçlar şunlardır: Sıcaklık artışı toplam katı madde ağırlığı mikrodalga ön işleminde dezenteğrasyon seviyesini arttırmıştır, sabit sıcaklıkta değişik toplam katı madde konsantrasyonlarında atık aktif çamurun mikrodalgayla ısıtılması hemen hemen aynı dezenteğrasyon derecesi sağlamıştır. Optimum sıcaklığın arttırılmasıyla da mikrodalga irradyasyon verimliliğindeki artış azalmıştır. Zaman parametresi arttırıldığında çözünürleşme derecesinde büyük bir farklılık görülmemiştir. Çalışmada çamurdaki toplam katı madde ve toplam KOİ'de, ayrıca ultrasonikasyon ile mikrodalga irradiasyonunda azalış olduğu sonucuna varılmıştır. Çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacının artması ile toplam kimyasal oksijen ihtiyacının azalması çamurların arıtılmasında önem arz ettiği tespit edilmiştir. Yapılan 2 dezenteğrasyon işleminin pozitif sonucu olduğunu görülmüştür.

Şahin'nin (2017) yaptığı çalışmada, paladyum parçacıklarının mikrodalga destekli poliol yöntemiyle sentezi sonucu paladyum katalizörlerinin formik asit elektrooksidasyon tepkimesindeki aktifliği araştırılmıştır. Araştırma sonucunda 30 saniye ile 130 °C sıcaklıklardaki katalizör aktivitesi, diğer sıcaklık ve sürelerdeki katalizörlerden fazla çıkmıştır. Tepkime zamanının ve sıcaklığının parçacığın ebatlarını büyüttüğü bulunmuştur.

Lo ve arkadaşlarının (2018) çalışmasında belediye atıksu çamurları tasarlanan mikrodalga/H₂O₂ ileri oksidasyon prosesinde işleme tabi tutulmuştur. Tasarlanan bu sistemde çamurun bozulmasında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Çamurlarda fiziksel değişimin yanı sıra belirli derecede katı parçalanması ve fosfor giderimi elde edilmiştir. Arıtılmış ikincil çamurda çözünür kimyasal oksijen ihtiyacı % 62 ve toplam katı madde indirgemesi %75 değerlerinde elde edilmiştir.

E. Çilingir'in (2018) yaptığı çalışmada, tavuk gübresinin mikrodalga ile ön işleme tabi tutulmasıyla çözünür kimyasal oksijen ihtiyacının alkali şartlarda arttığı gözlenmiştir, asidik şartlarda da sinerjistik etki yaparak çözünür kimyasal oksijen ihtiyacı az da olsa artış göstermiştir.

Falciglia ve arkadaşlarının (2018) çalışmasında sürdürülebilir olan mikrodalga ısıtma yönteminin çevresel iyileştirme ve detoksifikasyon uygulamaları incelenmiştir. Deneysel veriler sonucunda mikrodalga ile ısıtmanın, doğal ya da gelişmiş yüksek dielektrik özellik gösteren topraklarda ve kirli toprakların işlenmesinde, klasik fiziksel-kimyasal veya ısınma yöntemlerine göre tercih edilebilecek bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.



3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Materyal

Bursa, Türkiye'nin dördüncü kalabalık ili olması, sanayi anlamında çok güçlü bir şehir olması, giderek büyümesi gibi özellikleri ile göze çarpmaktadır. Bu özellikler her ilçe, il hatta ülkede olduğu gibi, kirliliğin giderek artması dolayısı ile arıtma ihtiyacının artmasına sebep olmaktadır.

Su hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Doğal güzellikleri korumak, temiz tutmak hepimizin görevidir. Özellikle doğal kaynakları bakımından düşünecek olursak Bursa ili zengin kaynaklara sahiptir. Su kaynakları çok zengin olan il sanayi ve yerleşimin artmasıyla birlikte kirlilikle karşı karşıya kalmaktadır.

Bursa'yı baştan sona çevreleyen Nilüfer Çayı ile ona bağlı kolları Bursa ilinin en temel menba ve mansabını oluşturmaktadır. Gerek endüstri gerekse kentleşmeden kaynaklanan kirlilik Nilüfer Çayı'nı oldukça kirletmektedir. (Yalılı ve Solmaz 2004)

Bursa ilinin son yıllarda maalesef kirliliği de giderek artmış ve bunu önlemek amacı ile arıtma tesisleri kurulmuştur. Çünkü su kirliliği su kaynaklarını, su kaynaklarının kirliliği ise tüm ekosistemin kirliliğine sebep olmaktadır.

Bu çalışmada Bursa Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisi atıksuyu kullanılmıştır. Atıksuyun alındığı tesise dair bilgiler aşağıda verilmiştir.

Bursa Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisi 1998 senesinde max. debisi 48.000 m³/gün olacak şekilde faaliyete başlamıştır. 2005 yılında firma artışı sebebiyle debi artışından dolayı max. debisi 48.000 m³/gün olan ikinci bir tesis eklenmiştir. Tüm arıtma tesisi 220 firmanın suyunu arıtmaktadır. (http://www.bosb.org.tr/bosb-sayfa-40-atiksu_isleri.html 2018)

Tesisin prosesleri aşağıdaki gibidir:

Fiziksel arıtım:

- Kaba Izgara
- İnce Izgara

- Kum ve Yağ Tutucu
- Dengeleme ve Terfi

Kimyasal Arıtım

- Hızlı Karıştırma (Koagülasyon)
- Yavaş Karıştırma (Flokülasyon)
- Ön Çökeltme

Biyolojik Arıtma:

- Havalandırma
- Son Çökeltme

Çamur Arıtımı:




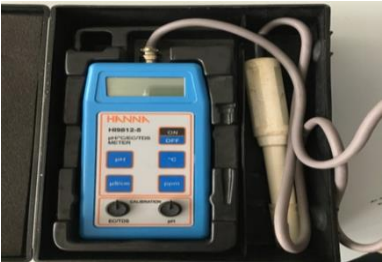
- Çamur Homojenizasyonu
- Çamur Yoğunlaştırma
- Mekanik Susuzlaştırma (Dekantör)
- Çamur Kurutma

Firmaların oluşturduğu atıksular yukarıda sıralanan proseslerden geçirilip alıcı ortama deşarj edilir. Deşarjda Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 19 göz önüne almak temel esastır. (http://www.bosb.org.tr/bosb-sayfa-40-atiksu_isleri.html 2018)

Çizelge 3.1. Karışık Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 saatlik	Kompozit Numune 24 saatlik
KOİ	mg/L	400	300
AKM	mg/L	200	100
Yağ ve gres	mg/L	20	10
Toplam fosfor	mg/L	2	1
Toplam krom	mg/L	2	1
Krom (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.5	0.5
Kurşun (Pb)	mg/L	2	-
Toplam siyanür (CN ⁻)	mg/L	1	-
Kadmiyum (Cd)	mg/L	0.1	-
Demir (Fe)	mg/L	10	-
Florür (F ⁻)	mg/L	15	-
Bakır (Cu)	mg/L	3	-
Çinko (Zn)	mg/L	5	-
Civa (Hg)	mg/L	-	0.05
Sülfat (SO ⁴)	mg/L	1500	1500
Toplam kjeldahl azotu	mg/L	20	15
pH	mg/L	6 ve 9 arası	6 ve 9 arası

Çizelge 3.2. Kullanılan Ekipmanlar Ve Özellikleri

Kullanılan Ekipmanlar	Özellikleri
 Mikrodalga Fırın	Mikrodalga gücü 900 W Güç seviyesi 900 W, 600W, 360W, 180W, 90W Pişirme programı sayısı 3 adet Paslanmaz çelik iç hacmi 25 Lt
 Isıtıcı-Karıştırıcı	Güç kaynağı 50-60 Hertz Stabilizasyon süresi 3 saniye Tekrarlanabilirlik 0,0001 g Çalıştığı ortam sıcaklığı 10-30 °C
 Hassas Terazi	Kimyasal madde korozyonuna dayanıklı metal tabanı bulunmaktadır. Okunabilirliği 1 mg-0,1 g Tartım kapasitesi 6200 grama kadar
 Hassas Kabinli Terazi	Maksimum tartım kapasitesi 210 g Okuma hassaslığı 0,0001 g Tekrarlanabilirlik 0,0001 g Doğrusallık ± 0.3 mg Levha ölçüleri $\varnothing 9$ cm, paslanmaz çelikten
 Sıcaklık-pH Ölçer	pH ölçüm aralığı 0-14 Çözünürlük 10 μ S Doğruluk 0,1 \pm İletkenlik 0-1990 μ S Maksimum çalışma sıcaklığı +50 °C

Çizelge 3.2. Kullanılan Ekipmanlar Ve Özellikleri (Devamı)

	<p>Dalga boyu aralığı 190-1100 nm Çözünürlüğü 0,1 nm Tarama hızı 1 nm aralıklarla 1 dakika içerisinde 1 komple tarama Spektral bant genişliği 2 nm Çoğalabilirliği < 0.5 nm Kaçak ışın < % 0.05 Fotometrik doğruluk 0.0-0.5 Abs'de 5mAbs;0.5-2.0 Abs'de%1</p>
Spektrofotometre	
	<p>Jeneratör gücü %10 - %100 Kimyasal aktarımı Yüksek hassasiyetli pompalar ile yapılır Sodyum hidroksit ilavesi ve destilasyon süresi programlanabilir Teknopolimer sıçrama engelleyici Var Kimyasallara dayanıklı teknopolimer dış yüzey Var</p>
Kjeldahl destilasyon ünitesi	
	<p>Nominal gerilim (AC) 220 Volt Nominal akım 10(85)A Minimum akım 0.25 A Başlangıç akımı 40 mA Nominal frekans 50 Hertz \pm %2 Sayaç sabiti 1000imp/kWh</p>
Elektrik Sayacı	

3.2.Yöntem

3.2.1.Atıksudan Mikrodalga Yöntemiyle KOİ Giderimi Deneyi

Suyun içindeki yükseltgenen maddeleri kimyasal yöntemlerle oksitleyebilmek için ihtiyaç duyulan oksijen miktarına kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) denir. Atıksuyun kirlenme seviyesini belirleyebilmede kullanılabilen önemli bir parametredir. (Peker 2007, Samsunlu 2005)

Redoks tepkimeleriyle oksitlendiğinden biyolojik oksijen ihtiyacından (BOİ) farklıdır. Tepkime sırasında karbon içeren organikler CO₂ ile H₂O'ya dönüşürken, azot içeren organikler de NH₃'e dönüşürler. Elektron alışverişi yoksa kimyasal oksijen ihtiyacı da yoktur. Kimyasal oksijen ihtiyacı üç saat gibi kısa bir zamanda gerçekleşirken, biyolojik oksijen ihtiyacı da en azından beş gün gibi uzun bir sürede gerçekleşir.

KOİ biyolojik yolla ayrışamayanları da kapsadığından BOİ'den hep büyük bulunur. KOİ alıcı ortamların (göl, nehir, dere...) ve endüstriyel atıksuların araştırılmasında hem büyük öneme sahip, hem de hızlı sonuç verebilmektedir. Eğer atıksuda toksik madde yoksa ve kolay ayrışan organikler bulunduyorsa KOİ neredeyse nihai BOİ'ye eşittir.

Kimyasal tepkime sonucu oksijen çıktığından bu yönüyle BOİ'den farklıdır. Tepkime hem kuvvetli hem de yükseltgenebilen bileşikleri, asidik halde, organik maddenin CO₂ ve H₂O'ya dönüştürülmesi esasına dayanır. Yaygın olarak kullanılan yükseltgen ise K₂Cr₂O₇'dir. (Peker 2007, Samsunlu 2005)

Kimyasal oksijen ihtiyacı testi, sudaki organik bileşiklerin miktarını dolaylı olarak ölçmek için yaygın olarak kullanılır. Kimyasal oksijen ihtiyacının ölçülmesi yöntemi, yüzeysel sularda (örneğin; göl ve nehirlerde) bulunan organik kirleticilerin miktarını belirlemekte ve su kalitesini ölçmekte sıklıkla kullanılır. Çözelti litresi başına tüketilen oksijen kütlesini belirten, litre başına miligram (mg / L) cinsinden ifade edilir.

Standart metotlara göre KOİ giderimi metodu: Numuneden 2,5 mL alınmıştır ve 1,5 mL parçalama çözeltisiyle birlikte bir tüpe dökülmüştür. Ardından üzerine sülfürik asit ilave edilmiştir. Tüplerin ağzı kapatılarak tersyüz şeklinde karıştırılmıştır. Sonra tüpler parçalayıcıda iki saat bekletilmiştir ve oda koşullarına gelene kadar soğutulmuştur. Uygun sıcaklığa gelen örneklere 1 veya 2 damla fenolfitalein ilave edilmiştir. Ardından 0,1 M standart DAS ile renk mavi-yeşilden kırmızıya dönene kadar titre edilmiştir. Hazırlanan örnekler dışında 20 mL saf su ile şahit numune hazır edilmiştir ve aynı işlemler ona da uygulanmıştır. Demir amonyum sülfat ayarı için, erlenmayere 10 mL standart bikromat ile saf su kullanılarak 100 mL'ye kadar seyreltme yapılmıştır. Erlendeki çözelti sürekli çalkalanmıştır bu sırada üzerine 30 mL derişik H₂SO₄ ilave edilmiştir ve soğumaya bırakılmıştır. (<http://cevre.beun.edu.tr/dersnotu/cevrekimyasi2/koitayini.pdf> 2018)

Ferroine karşılık standart demir amonyum sülfat titre edilmiştir.

Molarite (M) = mL M $K_2Cr_2O_7$ miktarı/DAS sarfiyatı mL*0,1

Hesaplama;

KOİ (mg l)=(A-B)*M*8000/ Vörnek

Burada,

A: Şahit DAS sarfiyatı (ml)

B:Numune DAS sarfiyatı (ml) N: DAS normalitesi

Yapılan deneyde; KOİ giderimi incelenmesi toplamda 3 şekilde gerçekleşmiştir. Bunlar ölçümler şunlardır; ham atıksu önce filtresiz ölçülmüştür, sonra kaba filtre kağıdından geçirilip ölçülmüştür, daha sonra 0.45 mikronluk filtre kağıdından geçirilip ölçülmüştür.

Örnek hacimleri 100 ml olacak şekilde ayarlanmıştır. Her örneğe, giderim veriminin optimum olduğu süreyi belirlemek amacı ile 30, 60, 90, 120 ve 150 saniye süreler ile 900 Watt'ta mikrodalga tutulmuştur.

Örneklerin tek tek;

- Son hacimleri,
- Son sıcaklıkları,
- Son yoğunlukları,
- pH'ları,
- KOİ içerikleri hesaplanmıştır.

*Hacimler mezür ile ölçülmüştür.

*Sıcaklıkları, pH'ları, iletkenlikleri, pH ölçer aletiyle ile ölçülmüştür.

*Yoğunluklar hassas teraziler yardımı ile ağırlıklar ölçülerek hesaplama ile ölçülmüştür.

*KOİ içerikleri ise deneysel yöntemler ile ölçülmüştür.

KOİ deney aşaması:

1) Örneklerden 10'ar mL alınıp üzerine saf su eklenip 100 mL'ye tamamlanmıştır.

2) Seyreltilmiş örneklerden tek tek 2,5 mL alınarak deney tüplerine konulur, bu tüplerin içine

*1,5 mL K_2CrO_4 (Potasyum Kromat)

*3,5 mL H_2SO_4 (Sülfürik Asit) (İçeriğinde 5,5 gr Ag_2SO_4 / 1kg H_2SO_4 oranında gümüş sülfat vardır) eklenmiştir.

3) Isıtıcıda (150 °C) 2 saat ısıtılmıştır.

4) 2 saat sonunda tüpler ısıtıcıdan alınır ve oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. (30 dk).

5) Soğuyan tüpteki karışım erlenlere alınmıştır ve üzerine 2 damla ferroin damlatılmıştır.

6) Erlendeki karışım, DAS ile titre edilmiştir. (Kırmızı kiremit rengi alana kadar).

7) Sarfiyatlar kaydedilmiştir.

8) KOİ hesabı için "Sabit Numune" hazırlanmıştır. Sabit numune için 2,5 mL saf su üzerine 1,5 mL K_2CrO_4 (Potasyum Kromat) ve 3,5 mL H_2SO_4 (Sülfürik Asit) (içeriğinde 5,5 gr Ag_2SO_4 / 1KG H_2SO_4 oranında gümüş sülfat vardır) eklenmiştir.

9) KOİ miktarı: $\frac{((\text{Sabit numune sarfiyatı}) - (\text{Numune Sarfiyatı})) \times N \times 8000}{\text{mL numune}}$ formülü ile hesaplanmıştır. N değeri, DAS'ın normalitesidir.

3.2.2. Atıksudan Mikrodalga Yöntemiyle Renk Giderimi Deneyi

Evsel ve endüstriyel atıksularda rengin giderilmesi için yapılan birden fazla çalışma mevcuttur. Renk giderimi için fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler mevcuttur. Fiziksel arıtımda, adsorbsiyon, iyon değiştirme ve membran filtrasyonu yöntemleri; kimyasal arıtımda, oksidasyon, flokleştirme ve çöktürme yöntemleri; biyolojik arıtımda, biyosorbsiyon, anaerobik ve aerobik yöntemler bulunmaktadır. (Kocaer ve Alkan 2002) Yapılan çalışmalarda genellikle adsorbsiyon, kimyasal oksidasyon ve çöktürme üzerine çalışmalar yapılmıştır. (Ölmez 1999)

Elektrokimyasal yöntemler ve ileri oksidasyon yöntemleri renk giderimi için yaygındır. Bu yöntemler çamur yönetimi açısından sorun yaratır ve pahalıdır. Adsorbsiyon proseslerinde gerek kullanılan absorbant madde pahalılığı, gerekse yenilenme ihtiyacı sebebiyle kullanılmamaktadır. (Kaykıoğlu 2006) Adsorbsiyon aşaması; sıcaklık, pH, süre ile yardımcı kimyasal ve benzerinin etkisindedir. (Kocaer ve ark. 2002) İyon değişimi ve membran filtrasyonu da düşük maliyetli olmasına karşın kullanışsızdır. Fakat bazı araştırmalarda ekonomik olan adsorbantlar kullanılabilir.

Atıksularda renk genellikle, atık suyun elde edildiği proseslerden kaynaklanır. Renk görsel olarak kötü olmasından ve bazı durumlarda toksisite göstergesi olduğundan istenmez. Ancak rengin her zaman toksik olduğu algısı doğru değildir.

“Boyalar bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir”. (Kocaer ve Alkan 2002) Özellikle tekstil atıksularından renk giderimi bu kapsamda ekolojik yaşam için önemlidir. Ancak rengin her zaman toksik olduğu algısı doğru değildir.

Özellikle tekstil endüstrisinde su kullanımı ve kimyasal madde çok fazladır. Proseslerinden ileri gelen renkli atıksuların da karakteristiği, çok değişken olduğundan belirlemek oldukça zordur. Renkli sularda inorganik ve organik madde çeşitliliği yüksek olduğundan atıksuyun özellikleri de farklıdır. (Kocaer ve Alkan 2002)

“Alıcı sulara verilen renkli atıksular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler”. (Kocaer ve Alkan 2002)

Renk içeren maddeler çoğunlukla iki bileşenden oluşur; fonksiyonel grup ile kromofor (renge veren).

Atık sularda renk oluşumuna sebep olan içerikler kısaca:

*Tanin - Hüyük asitler

*Lignin - Demir ve Mangan

*Sert sularda bulunan kolloidal - CaCO₃

*Killer ve volkanik küller - Askıdaki algler ve pigmentli bakteriler vb. olarak belirtilebilir. (Kocaer ve Alkan 2002)

Mikroalga ile renk giderim prosesi, mikroalgalın sudaki renk yaratan maddeleri okside etme temeline dayanmaktadır. Dolayısı ile yukarıda belirtilen bazı yöntemler, mikroalga etkisi ile daha verimli hale getirilebilir.

Standart metotlara göre renk giderimi metodu: Suların doğal rengi sarı-kahverengidir. Rengi tayin edebilmek için K_2PtCl_6 'dan standart çözelti hazırlanmıştır. Kullanılan çözeltinin içinde bir miktar da $CoCl_2$ vardır. Önce stok çözelti yani K_2PtCl_6 için 500 mg/l Pt kullanılmıştır. Hazırlanan stok çözeltideki rengin konsantrasyon birimi 100'dür. Hazırlanan çözelti sayesinde karşılaştırma çözeltisi yapılmıştır. Bu çözeltiden de 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 mL alınıp 250 mL'lik tüplere konulmuştur, üzeri saf su ile tamamlanmıştır. Renk okuması numuneden yapılmıştır ve hazırlanan standart çözeltiyle karşılaştırılmıştır. Ölçümü yapabilmek için askıda katı maddeleri giderildiğinden emin olunması gereklidir. Bunun için numune santrifüjlenmiştir. (<http://www.yesilaski.com/?s=renk+tayini> 2018)

Karşılaştırma çözeltisi hazırlanırken renk birimlerinin 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 ile 70 olması sağlanmıştır. Yetmiş birim aşılsa düşürmek için saf suyla seyreltme yapılabilir. Tüm numunelerde pH ölçümüne de ayrıca dikkat edilmiştir. (<http://www.yesilaski.com/?s=renk+tayini> 2018)

Hesaplama:

$$\text{Renk birimi} = (A \times 50)/(B)$$

Burada;

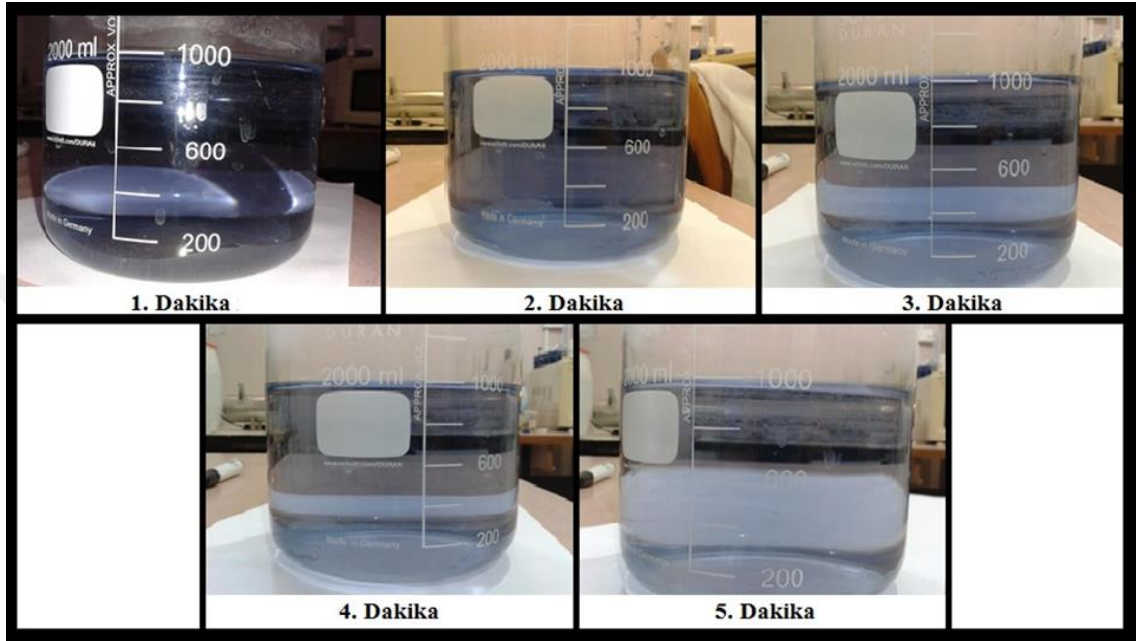
A: Seyreltilme yapılan çözelti rengi.

B: Seyreltme için alınan numune miktarı

Yapılan deneyde; temel olarak renk giderimi incelenmesi için, atıksuyun mikrodalgaya konulmadan önce ve sonra spektrofotometre ile renk okuması yapılmıştır. Renk giderimi incelenmesi için, 1 litrelik örnek alınmıştır, 1 er dakika aralıklar ile 900 Watt güç ile mikrodalga enerjisi uygulanmıştır ve ham örnek dahil olmak üzere, örneğin, her seferinde mikrodalgadan önce ve sonra olmak üzere tartımı ve renk okuması yapılmıştır. Sonra, başka hacimlerde numuneler ile de çalışılmış ve sonuçların tutarlılığı kontrol edilmiştir. Örnek mümkün olan en homojen kısımdan alınmıştır, 1 litrelik kaba alındıktan sonra tartımı yapılmıştır. Daha sonra içinden spektrofotometreye konulacak örnek alınmıştır, spektrofotometrede 500 nm de renk okuması yapılmıştır. Numune 1 litrelik ölçek ile alınmıştır. Bunun sebebi, daha düşük hacimlerde buharlaşmanın fazla olmasından dolayı sonuçların tutarsız çıkmasıdır. 1 litrelik örnek daha tutarlı sonuçlar verdiği için, 1 litrelik kap ile çalışılmıştır.

Spektrofotometrenin çalışma prensibi: Genelde UV spektrofotometre hem birleşik hem de görünür bir durumdadır. 100-800 nm dalga boylarında değişiklik gösteren ışınların taraması suretiyle çalışır. Hem görünür hem de UV ışıklar benzer sistemlerde kullanılabilir. Kaynaktan çıkan ışık ilk olarak slit'ten geçer ve ışık bölücünün olduğu yere gelir. Ardından ışığın 2 parçaya ayrılmasıyla küvete değişik zamanlarda ulaşması sağlanır. Oluşan ışın demeti küvetten çıkarak detektörlere gelir ve burada ışığın şiddeti ölçülür. Daha sonraki alınan veriler dalga boyuna karşılık absorbans grafiğine geçer. Işığın çözeltide ilerlediği yol ile konsantrasyon değeri, çözeltinin geçirdiği ışığın miktarıyla ters orantılıdır. Yine çözeltinin geçirdiği ışık, ışığın emilme miktarıyla doğru orantılıdır. UV ışınlar, içinde organik molekül bulunan çözeltilerden geçtiğinde, ışının birazı çözelti tarafından soğurulur (absorbsiyon); ya da direkt geçirilir veya soğurulur (transmisyon). Küvetteki renkli çözeltinin çıkardığı ışık şiddetinin, çözeltiye ekleneninkinden (I_0) daha küçük olduğu söylenebilir. (<https://prosafety.com.tr/spektrofotometre-nedir-calisma-prensibi-nasildir/> 2018)

Abed ve arkadaşlarının (2015) yaptığı çalışmada Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi, zaman periyodu arttıkça renk giderimi de artmıştır. Bunun sebebinin ise, sıcaklık artışı ile buharlaşmanın meydana gelmesinden ve mikrodalga radyasyonunun biyolojik bozunmayı etkilemesinden dolayı meydana geldiği düşünülmektedir. Bizim çalışmamızın sonuçlarında da en iyi renk gideriminin 8. dakikada olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.1. Renk Giderimi Deney Görselleri (Abed ve ark. 2015)

3.2.3. Atıksudan Mikrodalga Yöntemiyle Amonyum Nitrat Giderimi Deneyi

İnsan faaliyetlerinin hızla gelişmesi dünya çapında bir sorun olan göller, akarsular ve kıyı sularında azot ve fosfor artışına bu da ötrifikasyon ve alg patlamalarına neden olmaktadır.

Deşarj edilen atıksulardaki amonyum azotu konsantrasyonu en önemli faktörlerden biridir. Amonyumun giderilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemler arasında amonyak sıyırma, magnezyum amonyum fosfat ile kimyasal çöktürme, biyolojik denitrifikasyon, elektrokimyasal dönüşüm vb. bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanı biyolojik denitrifikasyondur. Fakat bu proses düşük amonyak konsantrasyonları için uygun C/N oranı gerektirir.

Azot, amino asitlerle beraber amin, nitro ve amid bileşikleri gibi organiklerin yapısına girer. İçme suyunda amonyak bulunması suyun kirlendiği yani suya kanalizasyon suyu karıştığına göstergesidir.

Azot döngüsünde zamanla amonyak azotu azalır ve onun yerine nitrit ve nitrat oluşmaya başlar.

Amonyak sıyırma çok fazla enerji tüketir. Kimyasal çöktürme suya yeni kirleticiler getirebilecek reaktifler gerektirebilir. Elektrokimyasal yöntem ise pahalı metaller ve yüksek enerji gerektirir. Atıksudan amonyak azotunun uzaklaştırılması için son yıllarda mikrodalga radyasyonu moleküler seviyede ısıtma yaptığı için dikkat edilmesi gereken homojen ve hızlı termal reaksiyonlar oluşturduğu için yeni araştırmalara konu olmuştur. Yayın sayısı yüksek olmasına rağmen ne malzeme ile mikrodalga'nın etkileşiminin kimyasal mekanizması ne mikrobiyolojik sistemlerde mikrodalga'nın tahrip mekanizması tam olarak anlaşılammıştır. Mikrodalga'nın termal ve termal olmayan etkilerinden dolayı çelişkili sonuçlar elde edilmiştir.

Bilindiği üzere mikrodalga ile amonyak azotu giderimi üzerine kesin raporlar yoktur. Bu nedenle bu çalışmamızda Bursa'da bulunan bir OSB(Organize Sanayi Bölgesi)'den alınan numunede amonyak azotu giderimi incelenmiştir.

Standart metotlara göre amonyum nitrat giderimi metotları: TS 5874 Potansiyometrik metot, TS 5868 Destilasyondan sonra titrimetrik metot, TS 7159 Spektrofotometrik metot

Standart metotlara göre spektrofotometrik metotla amonyum nitrat giderim metodu: 50 ml berrak numuneye (filtreli ve filtresiz numuneler) 1 ml HCl çözeltisi eklenmiş ve iyice karıştırılmıştır. Orta-nitrat çözeltisinden 0-7 mg NO₃-N içeren kalibrasyon standart çözeltisi hazırlanmıştır. Orta-nitrat çözeltisinden 0, 1, 2, 4, 7, ...35 ml hacimlerde alınmıştır ve 50 ml'ye seyreltilerek kalibrasyon için standartlar hazırlanmıştır. Numuneye uygulanan işlemlerin aynısı standartlara da uygulanmıştır. Distile su, şahit numuneye göre ayarlanmıştır. UV spektrofotometre 0 absorbans değerine veya %100 geçirgenliğe ayarlanmıştır. 220 nm dalga boyunda nitrat standartları okunmuştur ve kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır. Kalibrasyon eğrisi ile numunenin nitrat konsantrasyonu bulunmuştur. (http://www.yildiz.edu.tr/~filhan/Nitrit_ve_Nitrat.pdf 2018)

3.2.4. Atıksudan Mikrodalgayla Fosfat Giderimi Deneyi

Atıksuyun içinde bulunan büyük miktarlarda fosfat, ötrofikasyonun başlıca sebeplerinden biridir ve hem doğal hem de tatlı suyu olumsuz etkilemektedir. Su arıtma tesislerinin çevreye deşarj edilmeden önce atık sudan fosforu atması istenir.

Çoğu ülkede fosforun tamamı ya da önemli bir kısmını gidermesi zorunludur. Bunun için metal çökeltme, inşa edilmiş sulak alan sistemleri, serbest veya polisakkarit jellerinde hareketsiz kılınmış çeşitli mikroorganizmalar tarafından adsorpsiyon veya aktif çamur sistemleri yaygın kullanılan fosfor giderim sistemleridir. Mikrodalga yöntemi belediye atıklarından fosforun geri kazanımı ve suyun arıtılması için devam eden bir çalışma olarak, kanalizasyon çamurlarından fosfat salınımında hızlı ve verimli bir işlem olduğu sağlanmıştır.

Mikrodalga işlemi sadece 5 dakika süre uygulanarak çamurdaki toplam fosfatın %76'sına kadarını giderebildiği gözlenmiştir. Ayrıca mikrodalga sırasında herhangi bir kimyasal katkı maddesine gerek duyulmamıştır. Ayrıca kanalizasyon çamuru, 100°C sıcaklıkta mikrodalga işlemi gördükten bir süre sonra hiçbir mikrobiyal aktivite gözlemlenmemiştir.

Mikrodalga işlemi sıvı çamurun stabilizasyonu için de kullanılabilir. Son yıllarda kanalizasyon çamuru içerdiği için mikrodalgayla atıksudan fosfor geri kazanımı çalışmaları artmıştır. (Ray ve ark. 1990, Mavinic ve ark. 1995-1998, Liao ve ark. 2003)

Atıksudan kristalizasyon işlemleriyle fosfor geri kazanımı Japonya'da geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Arıtma çamurundan fosforu kristalleştirme yoluyla geri kazanmak için, bir fosfor çözündürme işlemi gerçekleştirmek gereklidir. Birçok fosfor çözündürme prosesi geliştirilmiştir, fakat ya kimyasalların eklenmesi ya da reaksiyonun tamamlanması gereklidir bunların reaksiyonları başlatması için de uzun bir süre gereklidir. Bu hızlı ve verimli olduğu için mikrodalgayla keşif deneyleri yapılmıştır.

Mikrodalga ile çamur ısıtma anlık kontrol edilebildiği için avantajlıdır. Ayrıca mikrodalga ışınları içindeki malzeme için uniformdur.

Bu çalışmanın amacı arıtma çamuruna uygulanan bu yöntemin atıksu üzerindeki etkilerini incelemektir.

Standart metotlara göre fosfat giderimi metodu: Karmaşık polifosfatları kararlaştırmak için suyun içerisine derişik H_2SO_4 ilave edilmiş ve kaynatılmış, böylece ortofosfata dönüştürülmüştür. Polifosfatı elde etmek için toplam anorganik fosfor ile ortofosfatın farkı alınmıştır. (<https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/KLMJMW86-fosfor-2013.pdf> 2018)

Standart çözeltilerin hazırlanması: Alınan stok çözelti 1, 2, 4, 8, 10 mg/l'lik ölçülerle alınmış fosforla birlikte 10 mL'lik tüplere seyreltilmiş ve renk geliştirici 2 mL ilave edilmiştir. Ardından distile suyla tamamlanmıştır. (<https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/KLMJMW86-fosfor-2013.pdf> 2018)

Ortofosfat tayininde $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} farklı metotlarla ölçülür. (kolorimetrik, volumetrik, gravimetrik). Volumetrik, fosfat 50 mg/l'den fazla olduğunda uygulanır. Ama çok sık görülmez. Bu yöntem çok zaman aldığından onun yerine kolorimetrik yapılabilir. Kolorimetriğin üç çeşidi vardır. Gravimetrik yöntem ise fosfor çok yüksek değerlerde olduğunda kullanılır. (<https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/KLMJMW86-fosfor-2013.pdf> 2018)

Polifosfat tayininde önce numuneler derişik H_2SO_4 eklenerek doksan dakika kaynatılır. Böylece poli-fosfatlar orto-fosfata dönüşür. Çözelti önce amonyum molibdat ile nötrleştirilir. Herhangi bir metotla orto-fosfat bulunabilir. (<https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/KLMJMW86-fosfor-2013.pdf> 2018)

Hesaplama:

Toplam anorganik fosfat - Orto-fosfat = Poli-fosfat

Organik fosfor tayini: Fosfat iyonu organik maddenin parçalanması sonucu ortaya çıkar. Organikler "parçalanma" işlemini standart metoda uygun olarak geçirir. Oksitleyen maddeler persülfat, perklorik asit ya da sülfürik-nitrik asit karışımından biri olabilmektedir. Parçalamanın ardından orto-fosfatlara uygulanan rastgele bir metot ile fosfor ölçülür. (<https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/KLMJMW86-fosfor-2013.pdf> 2018)

Hesaplama:

Toplam fosfor - Anorganik fosfor = Organik fosfor

3.2.5. Atıksuda Mikrodalga Yöntemiyle Yapılan Deneylerde Kullanılan Enerjinin Tespiti Deneyi

Kullanılan elektrik sayacının özellikleri: Kullanılan elektrik sayacı bir fazlı ve iki tellidir. Bir fazlı aktif sayaç indüksiyon motoruna benzemektedir. Sayaçta; gerilim ve akım bobini, sayıcı eleman, disk ile daimi mıknatıs vardır. Gerilim bobininden düşen gerilim ile akım bobininden geçen akım manyetik alanı oluşturur ve bu alan da alüminyum diskte dönme momenti oluşturur. Bu olay döngüsüne göre sayaç çalışır. Elektromekanik olanlarında ise, bir dişliyle dönme sağlanır (dönme hızı devrenin aldığı güçle doğru orantıdadır) ve numaratóre iletilir, burada toplam harcanmış enerjinin miktarı ölçülür. (https://ekblc.files.wordpress.com/2014/10/89085_pp7.pdf 2018)

Yapılan deneyler esnasında, enerji verimliliği hakkında fikir sahibi olmak adına, 900 Watt mikrodalga enerjisi uygulanmıştır. 1 dakika süre içerisinde ne kadar enerji tükettiği teorik hesap ile hesaplanmıştır, ama daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak maksadı ile mikrodalga fırın bir elektrik sayacına bağlanmış ve 1 dakikalık 900 Wattlık mikrodalga enerjisi uygulanarak ne kadar enerji tükettiği ölçülmüştür.

Teorik hesap ile 900 Watt / saat'lik cihaz 1 dakika çalıştırılırsa tüketeceği enerji miktarı; $900/60 = 15$ Watt/dk'dır.

Yani cihaz 1 dakikalık periyotta çalıştırıldığında 15 Watt enerji tüketmektedir.

Gerçek hayattaki kayıplar vb. farklı olabileceğinden, sayaç ile ölçüm yapılması gereği duyulmuştur. Ölçümler esnasında 100 mL örnek kullanılmıştır.

Çizelge 3.3.'den yapılan hesap ile 1 mL atıksuya 1 dk süresinde uygulanan enerji

(20.5 Watt (100 mL için) ise $20.5/100 = 0.205$ Watt olarak hesaplanmıştır.

100 mL suyun 900 Watt ayarında 1 dk. ısıtılması için: 20,5 Watt

1 mL suyun 900 Watt ayarında 1 dk. ısıtılması için: 0,205 Watt enerji gerektiği hesaplanmıştır.

Göründüğü üzere, teorik değer 15 Watt mertebesinde iken, gerçek değer 20,5 Watt mertebelerinde bulunmuştur.

Çizelge 3.3. Elektrik Sayacı Ölçümleri

Elektrik Sayacı İle Yapılan Ölçümler

Süre	Başlangıç(0)	30 Sn.	30 Sn.	30 Sn.	30 Sn.	30 Sn.	1 Dk.
Okunan Değer	29.444 kW	29.454 kW	29.465 kW	29.475 kW	29.485 kW	29.496 kW	29.517 kW
Tüketim (kW)	0 kW	0.009 kW	0.011 kW	0.010 kW	0.010 kW	0.010 kW	0.021 kW
Tüketim (W)	0 Watt	9 Watt	11 Watt	10 Watt	10 Watt	10 Watt	21 Watt
30 Sn. İçin Ort. Tüketim :	10.14 Watt						
1 Dk. İçin Tüketim :	20.5 Watt						

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Muler ve arkadaşlarına (2003) göre, mikrodalğanın tek başına organik içerikteki kimyasal bağların kopması için yeterli olmadığı düşünülmüştür.

Bu düşünceye karşılık olarak çalışmamızda tek başına mikrodalga radyasyonunun atıksu üstündeki etkisi incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ise tek başına mikrodalga yönteminin kullanılmasının yeterli olduğu ve verim sağladığı gözlemlenmiştir.

Wang ve Wang'a (2015) göre mikrodalga tek başına kullanıldığında uçucu ya da yarı uçucu organiklerin buharlaşmasını sağlayarak bu kirleticileri içeren atıksuların arıtılmasını sağladığı tespit edilmiştir.

Bu düşünceye dayanarak çalışmamızda uçucu ya da yarı uçucu organiklerin buharlaşmasıyla deney sonuçlarımızın etkilendiği düşünülmektedir.

Zhang ve arkadaşlarına (2014) göre atıksu mikrodalga ile piroliz edildiğinde diğer piroliz yöntemlerine göre daha etkili olduğu ve kütle kaybının daha hızlı olduğu düşünülmüştür. Ayrıca Saha ve arkadaşlarına (2011) göre mikrodalga yönteminin biyolojik bozunma oranı/kapsam geliştirme açısından en etkili yöntem olduğu gözlemlenmiştir.

Bu düşüncelere istinaden çalışmamızda, mikrodalğanın atıksu arıtımında diğer yöntemlere göre verimli bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

Nuchter ve arkadaşlarına (2003) göre, çoğu zaman mikrodalğanın yarattığı etkinin, konvansiyonel ısıtıcılar vasıtası ile yapılamadığı düşünülmektedir. Bu düşünce çalışmamızla desteklenmiştir.

4.1.KOİ Deneyi Bulguları

Deneyler esnasında mikrodalga fırın 900 Watt gücünde ve döner tabak açık olacak şekilde kullanılmıştır.

Saha ve arkadaşlarına (2011) göre, mikrodalga yönteminin biyolojik bozunma oranı/kapsam geliştirme açısından atıksu arıtmada en etkili yöntem olduğu düşünülmüştür.

Remya ve Lin'e (2010) göre, mikrodalğanın çeşitli substratların bozulmasını sağladığı düşünülmüştür.

Wang ve Wang'a (2015) göre mikrodalga tek başına kullanıldığında uçucu ya da yarı uçucu organiklerin buharlaşmasını sağlayarak atıksudaki kirleticilerin artılmasını sağladığı düşünülmüştür.

Önceki araştırmalara istinaden; mikrodalga ile ön arıtımda sıcaklık artışı olduğu zaman, substratların bozulduğu dolayısıyla biyobozunurluğun artış gösterdiği ve uçucu veya yarı uçucu organiklerin buharlaşmasının artış gösterdiği düşünülmektedir. Grafiklerdeki artış ve azalışın bu sebeplere bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir.

1) 100 mL Filtrenmemiş Atıksu

100 mL filtrenmemiş atıksu değerleri çizelgesinden de (Çizelge 4.1.) okunabileceği gibi, deney sonuçlarında en iyi giderimin 120 saniyelik mikrodalga radyasyonuna maruz kalma süresinde olduğu tespit edilmiştir.

Filtrenmemiş atıksu için deney 100 mL hacminde yürütülmüştür.

Enerji sarfiyatı deneyinden yola çıkarak 120 saniyelik periyotta;

$20,5 \text{ Watt} \times 2 = 41 \text{ Watt}$ lık enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Özetle 1 mL filtrenmemiş atıksuda %31'lik KOİ giderimi için 0,41 Watt enerji harcanmıştır.

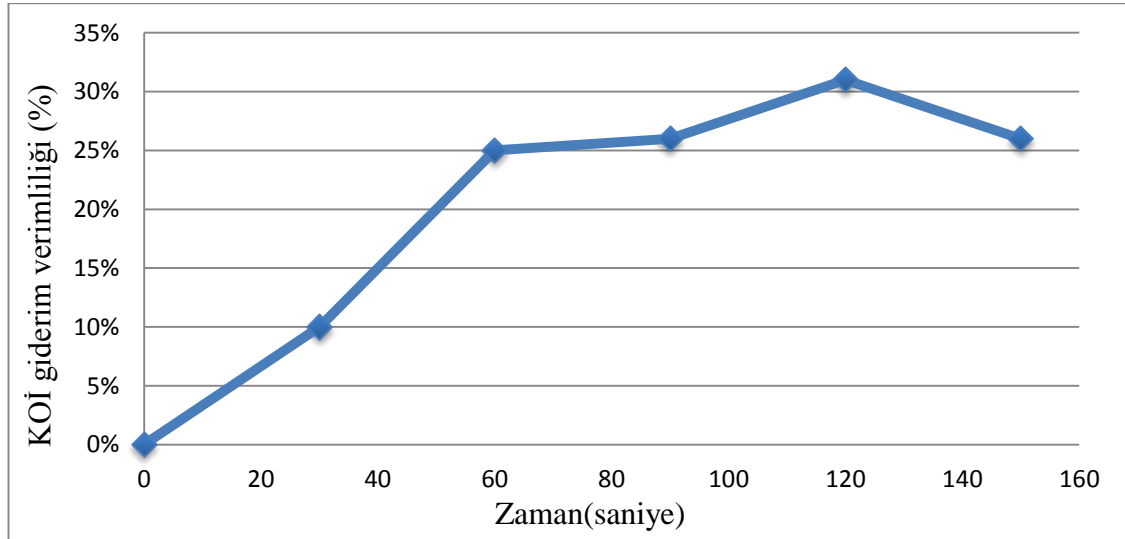
Şahin'e (2006) göre, H₂O₂ ile UV-C prosesi ile düşük KOİ giderimi elde edilmiştir. Ayrıca KOİ ve renk giderimi, hız sabitinin düşük olması sebebiyle gerekli reaksiyon süresinin ve harcanan enerjinin artmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple pratikte uygulanabilirliğinin olmadığı düşünülmüştür.

Bu düşünceye karşılık olarak çalışmamızda mikrodalga tek başına atıksuya uygulanmış ve çok yüksek KOİ giderimi elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. 100 mL Filtrelenmemiş Atıksu Değerleri

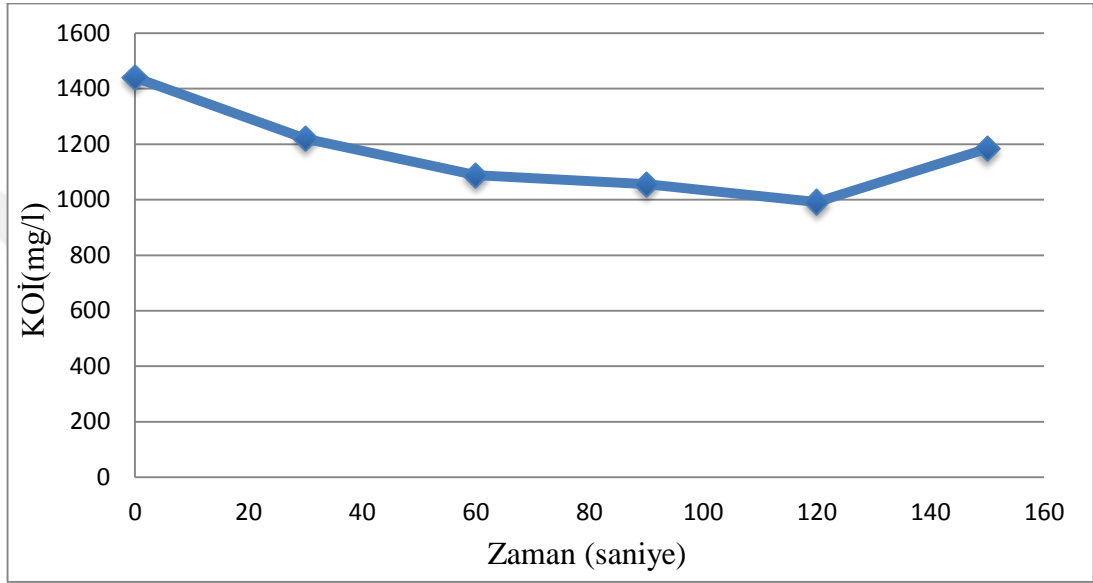
Zaman	PH	C ₀	Hacim (ml)	KOİ (mg/l)	KOİ (mg)	Enerji (Watt)	KOİ (mg/l)/ Watt	KOİ Giderme Verimliliği (%)
0	8,5	16	100	1440	144	-	1440	0
30	8,5	30	100	1220	122	10,14	120,31	10 %
60	8	49	99,5	1088	108,2	20,5	53,07	25 %
90	7,9	63	98	1056	103,4	30,75	34,34	26 %
120	7,7	75	96	992	95,2	41	24,19	31 %
150	7,8	80	93	1184	110,1	51,25	23,10	26 %

Çizelge 4.2. KOİ Giderim Verimliliği (%) Grafiği



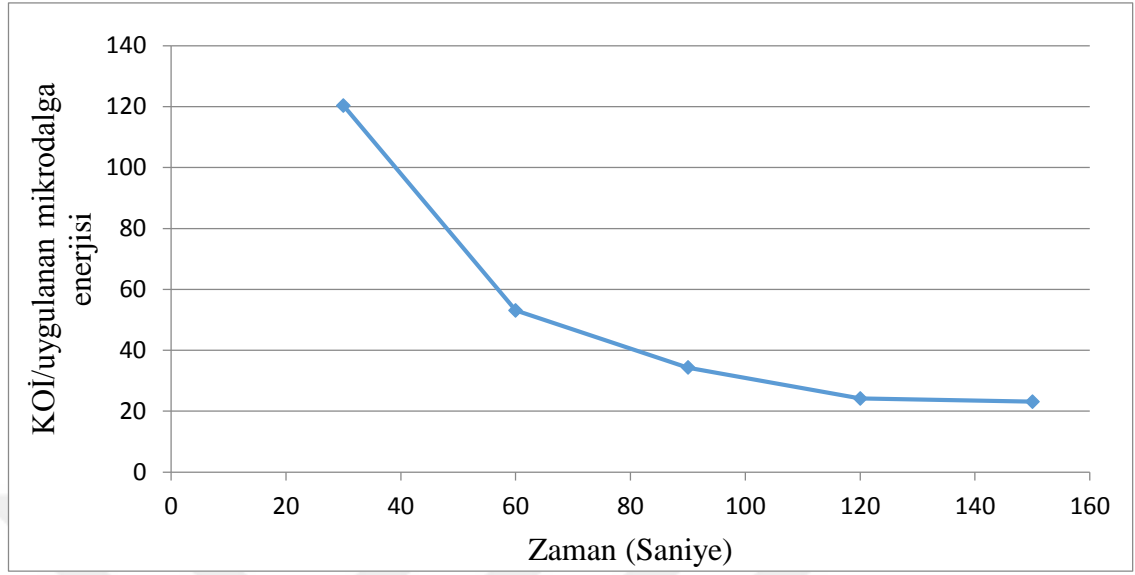
Çizelge 4.2.'de zaman periyodu arttıkça KOİ giderim yüzdesinin arttığı gözlemlenmiştir. 60. saniyeden sonra azalış-artış şeklinde değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Pik noktasının 120. saniye olduğu gözlemlenmiştir. Artışın temel sebebinin biyobozunurluğun artması olduğu düşünülmüştür. Buharlaştırmanın artmasının da 120. saniyeden sonraki azalışın nedeni olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 4.3. KOİ Değişimi Grafiği



Çizelge 4.3.'de zaman periyodu arttıkça KOİ değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. 60. saniyeden sonra azalış-artış şeklinde değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. En düşük değerinin 120. saniye olduğu gözlemlenmiştir. KOİ değerinin 120. Saniyeden sonra yeniden artışının temel sebebinin, buharlaşma olduğu düşünülmüştür. 120. saniyenin en düşük KOİ seviyesi olmasının temel sebebinin de, süre artışıyla sıcaklığın atıksuda daha etkili olması ve biyobozunurluğu artırması olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 4.4. KOİ/Uygulanan Mikrodalga Enerjisi Grafiği



Çizelge 4.4’de zaman periyodu arttıkça KOİ/uygulanan mikrodalga enerjisi oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Grafiğin devamlı azalış gösterdiği gözlemlenmiştir. En iyi verimin 120. saniyede olduğu tespit edilmiştir. 120.saniyede 41 Watt mikrodalga enerjisi uygulandığında % 31’lik KOİ giderim verimi elde edilmiştir. 120. saniyede en iyi verimin elde edilmesinin temel sebebinin, uçucu veya uçucu olmayan organiklerin buharlaşması olduğu düşünülmüştür.

2) 100 mL Kaba Filtreden Geçirilmiş Atıksu

100 mL kaba filtreden geçirilmiş atıksu değerleri tablosundan da okunabileceği gibi, deney sonuçlarında en iyi giderimin 60 saniyelik mikrodalgama süresinde olduğu tespit edilmiştir. Kaba filtreden geçirilmiş atıksu için deney 100 mL hacminde yürütülmüştür.

Enerji sarfiyatı deneyinden yola çıkarak 60 saniyelik periyotta;

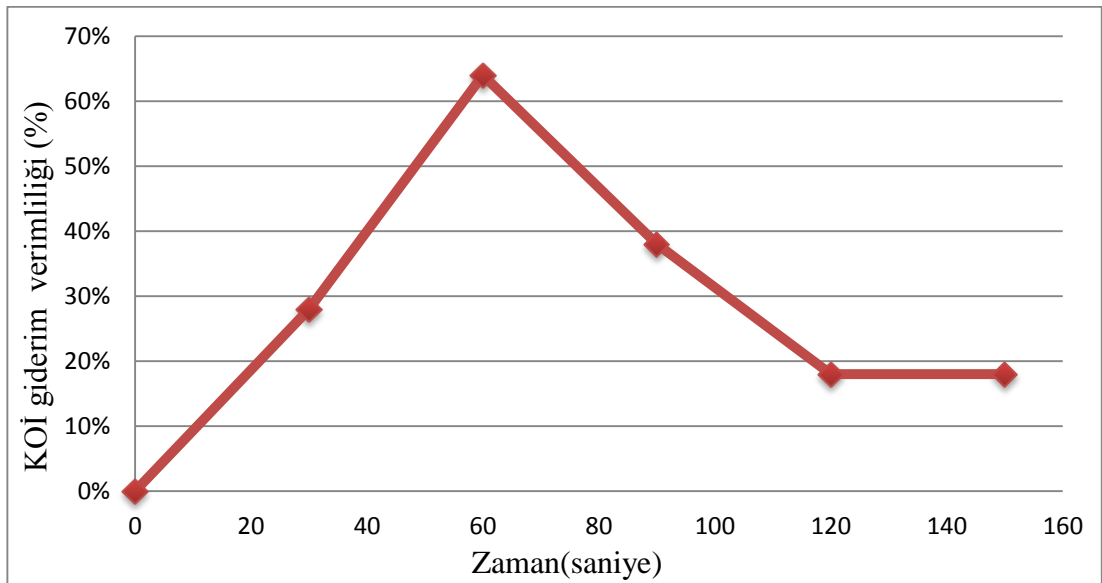
$$20,5 \text{ Watt} \times 1 = 20,5 \text{ Watt lık enerji tüketimi oluşu hesaplanmıştır.}$$

Özetle 1 mL kaba filtreden geçirilmiş atıksuda %64’lük KOİ giderimi için 0,205 Watt enerji harcanmıştır.

Çizelge 4.5. 100 mL Kaba Filtreden Geçirilmiş Atıksu Değerleri Tablosu

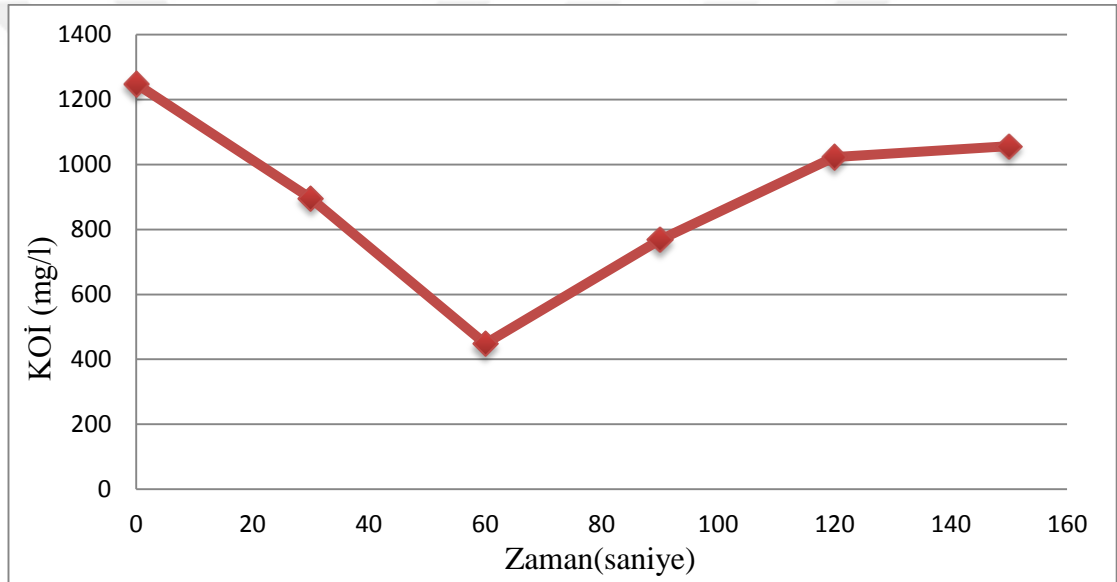
Zaman	PH	C ₀	Hacim (ml)	KOİ (mg/l)	KOİ (mg)	Enerji (Watt)	KOİ (mg/l)/ Watt	KOİ Giderme Verimliliği (%)
0	8,6	17	100	1248	124,8	-	1248	0
30	8,4	31	100	896	89,6	10,14	88,36	28%
60	8	51	99,5	448	44,5	20,5	21,85	64%
90	7,8	62	98	768	75,2	30,75	24,97	38%
120	7,7	75	97,8	1023	100	41	24,95	18%
150	7,7	80	93,5	1056	98,7	51,25	20,60	18%

Çizelge 4.6. KOİ Giderim Verimliliği (%) Grafiği



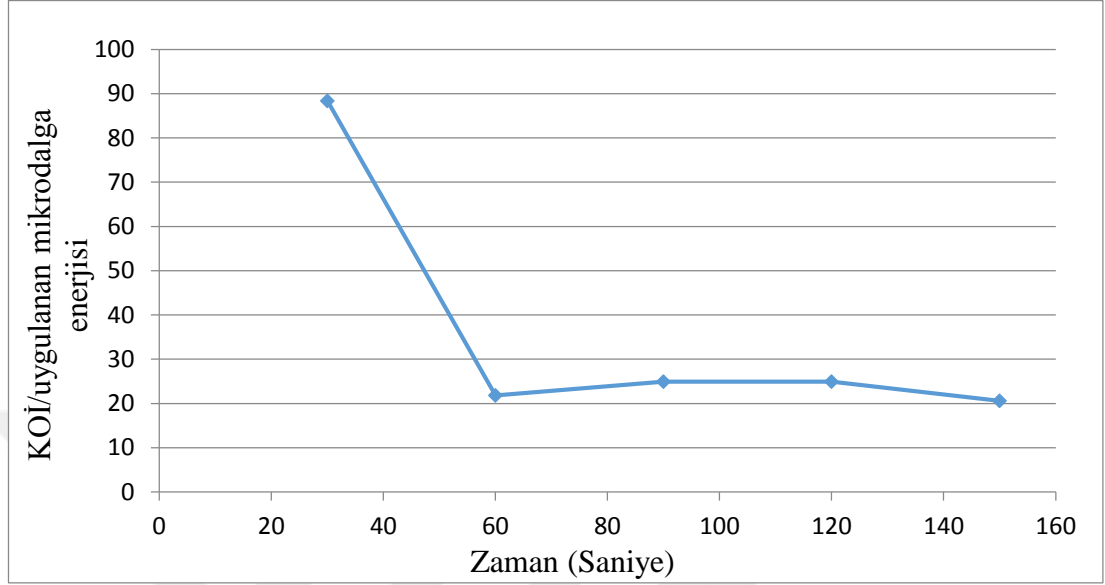
Çizelge 4.6.'da zaman periyodu arttıkça KOİ giderim yüzdesinin keskin bir şekilde artıp azaldığı gözlemlenmiştir. 60. saniyeden sonra azalış şeklinde değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. 120. saniyeden sonra grafiğin sabit ilerlediği gözlemlenmiştir. Pik noktasının 60. saniye olduğu gözlemlenmiştir. 60. saniyeden sonra azalış olmasının temel sebebinin, buharlaşma olduğu düşünülmüştür. Verimin filtresiz verimdeki 120'den 60. saniyeye gelmesinin sebebinin de atıksuyun 100 mL'lik kaba filtreden geçirilmesiyle kirletici miktarının azalması olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 4.7. KOİ Değişimi Grafiği



Çizelge 4.7'de zaman periyodu arttıkça KOİ değerinin keskin bir şekilde azalıp arttığı gözlemlenmiştir. 60. saniyeden sonra artış gösterdiği gözlemlenmiştir. 120. saniyeden sonra grafiğin sabit ilerlediği gözlemlenmiştir. En düşük seviyesinin 60. saniye olduğu gözlemlenmiştir. KOİ değerinin 60. saniyeden sonra yeniden artışının temel sebebinin, buharlaşma olduğu düşünülmektedir. 60. saniyenin en düşük KOİ seviyesi olmasının temel sebebinin de, süre artışıyla sıcaklığın atıksuda daha etkili olması ve biyobozunurluğu arttırması olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.8. KOİ/Uygulanan Mikrodalga Enerjisi Grafiği



Çizelge 4.4’de zaman periyodu arttıkça KOİ/uygulanan mikrodalga enerjisi oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Grafiğin 60. saniyeden sonra artış ve ardından azalış gösterdiği gözlemlenmiştir. En iyi verimin 60. saniyede olduğu tespit edilmiştir. 60.saniyede 20,5 Watt mikrodalga enerjisi uygulandığında % 64’lük KOİ giderim verimi elde edilmiştir. 60. saniyede en iyi verimin elde edilmesinin temel sebebinin, uçucu veya uçucu olmayan organiklerin buharlaşması olduğu düşünülmüştür.

3) 100 mL, 0.45 µm Filtre İle Filtrelenmiş Atıksu

100 mL 0,45 µm filtre ile filtrelenmiş atıksu değerleri tablosundan da okunabileceği gibi, deney sonuçlarında en iyi giderimin 90 saniyelik mikrodalgama süresinde olduğu tespit edilmiştir.

0,45 µm filtre ile filtrelenmiş atıksu için deney 100 mL hacminde yürütülmüştür.

Enerji sarfiyatı deneyinden yola çıkarak 90 saniyelik periyotta;

$20,5 \text{ Watt} \times 1,5 = 30,8 \text{ Watt}$ lık enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Özetle 1 mL 0,45 µm filtre ile filtrelenmiş atıksuda %79’luk KOİ giderimi için 0,308 Watt enerji harcanmıştır.

Homojenlik anlamında, en iyi numunenin bu olduğu düşünülmektedir. Gelen atıksu %100 homojen bir içerik göstermediğinden dolayı, filtrelenmiş atıksuyun daha stabil bir karakteristik sergilediği düşünülmektedir.

Optimum giderim veriminin 90 saniyelik mikrodalga radyasyonuna maruz kalma süresi sonunda olduğu deney sonuçları ile tesit edilmiştir.

Deney sonucunda 90 saniyelik periyot sonucunda %79'luk giderim verimi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9. 100 mL 0.45 µm Filtre İle Filtrelenmiş Atıksu Değerleri Tablosu

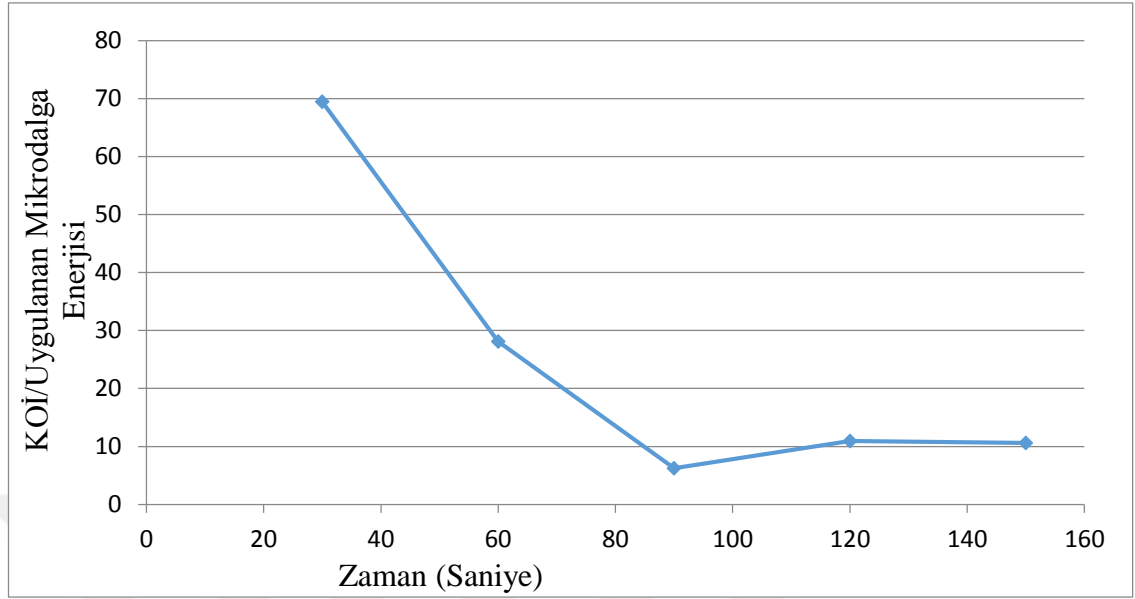
Zaman	PH	C ₀	Hacim (ml)	KOİ (mg/l)	KOİ (mg)	Enerji (Watt)	KOİ (mg/l)/ Watt	KOİ Giderme Verimliliği (%)
0	8,5	16	100	928	92,8	-	928	0%
30	8,5	30	99,98	704	70,4	10,14	69,43	24%
60	8	49	99,91	576	57,5	20,5	28,09	38%
90	7,9	63	99,51	192	19,1	30,75	6,24	79%
120	7,7	75	97,33	448	43,6	41	10,93	52%
150	7,8	80	94,50	460	43,4	51,25	10,60	50%

Çizelge 4.10. KOİ Giderim Verimliliği (%) Grafiği



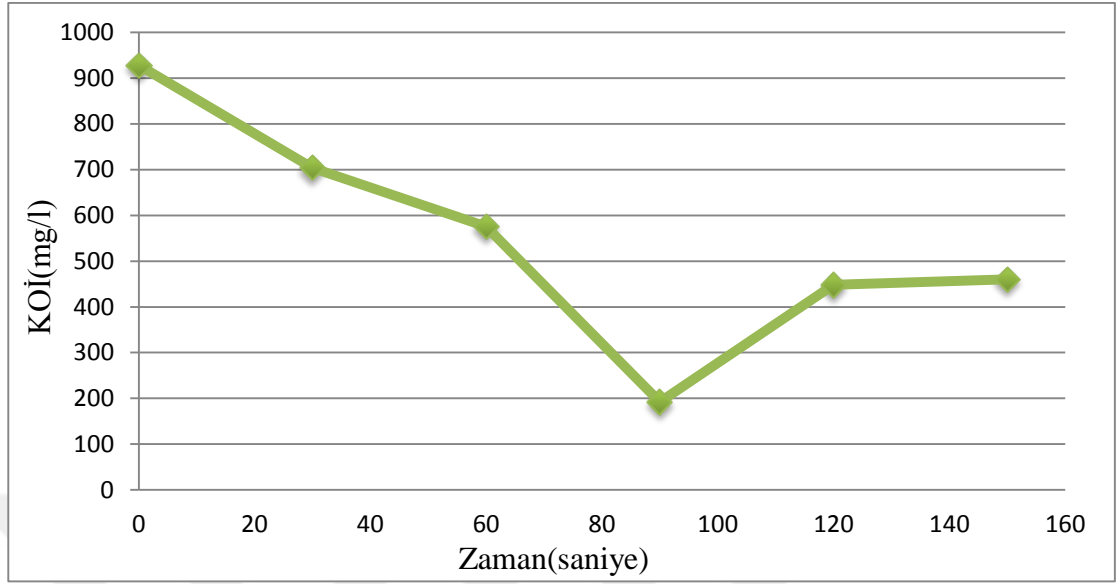
Çizelge 4.10'da zaman periyodu arttıkça KOİ giderim verimliliği yüzdesinin arttığı gözlemlenmiştir. 90. saniyeden sonra azalış gösterdiği gözlemlenmiştir. 120. saniyeden sonra grafiğin sabit ilerlediği gözlemlenmiştir. Pik noktasının 90. saniye olduğu gözlemlenmiştir. 90. saniyeden sonra azalış olmasının temel sebebinin, buharlaşma olduğu düşünülmüştür. Verimin 100 mL kaba filtreli verimdeki 60'den 90. saniyeye gelmesinin sebebinin de atıksuyun 100 mL'de 0.45 µm filtreden geçirilmesiyle kirletici miktarının azalması olduğu düşünülmüştür. En iyi KOİ verimi filtreden geçirilmiş atıksularda olmuştur. Filtreden en iyi verimi veren de 0.45 µm filtre olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.11. KOİ/Uygulanan Mikrodalga Enerjisi Grafiği



Çizelge 4.4’de zaman periyodu arttıkça KOİ/uygulanan mikrodalga enerjisi oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Grafiğin 90.saniyeden sonra artış ve ardından azalış gösterdiği gözlemlenmiştir. En iyi verimin 90. saniyede olduğu tespit edilmiştir. 90.saniyede 30,75 Watt mikrodalga enerjisi uygulandığında %79’luk KOİ giderim verimi elde edilmiştir. 90. saniyede en iyi verimin elde edilmesinin temel sebebinin, uçucu veya uçucu olmayan organiklerin buharlaşması olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 4.12. KOİ Değişimi Grafiği



Çizelge 4.12.'de zaman periyodu arttıkça KOİ değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. 90. saniyeden sonra artış gösterdiği gözlemlenmiştir. 120. saniyeden sonra grafiğin sabit ilerlediği gözlemlenmiştir. En düşük noktasının 90. saniye olduğu gözlemlenmiştir. KOİ değerinin 90. saniyeden sonra yeniden artışının temel sebebinin, buharlaşma olduğu düşünülmektedir. 90. saniyenin en düşük KOİ seviyesi olmasının temel sebebinin de, süre artışıyla sıcaklığın atıksuda daha etkili olması ve biyobozunurluğu artırması olduğu düşünülmektedir.

4.2.Renk Deneyi Bulguları

Renk giderimi incelenmesi için, 1 litrelik örnek alınmış, 1'er dakika aralıklar ile 900 Watt mikrodalga enerjisine maruz bırakılmıştır. Ham örnek dahil olmak üzere tüm numunelerin (her seferinde mikrodalgadan önce ve sonra olmak üzere) tartımı ve renk okuması yapılmıştır.

Saha ve arkadaşlarına (2011) göre, mikrodalga yönteminin biyolojik bozunma oranı/kapsam geliştirme açısından atıksu arıtmada en etkili yöntem olduğu düşünülmüştür.

Remya ve Lin'e (2010) göre, mikrodalganın çeşitli substratların bozulmasını ve aktivasyon enerjisinin azalmasını sağladığı düşünülmüştür.

Yang ve arkadaşların (2009) göre, mikrodalga yönteminin atıksuyun biyobozunurluluğuna olumlu etki yapmıştır

Önceki araştırmalara istinaden; mikrodalga ile ön arıtımda sıcaklık artışı olduğu zaman, substratların bozulduğu dolayısıyla biyobozunurluğun artış gösterdiği ve gösterdiği düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda renk gideriminin pH değerine bağlı olduğu ve en iyi giderimlerin yüksek pH değerlerinde olduğu bulunmuştur. Ayrıca molekülleri birbirine bağlayan bağların arıtma sırasında birleşerek flok oluşturduğu bulunmuştur. Grafiklerdeki artış ve azalışın bu sebeplere bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir.

Aşağıdaki çizelgelerden (Çizelge 4.13. ve Çizelge 4.14.) okunabildiği üzere, renk gideriminin en iyi olduğu süre 8. dakikada olduğu tespit edilmiştir.

Yalnız çizelgelerde dikkat çeken bir diğeri nokta, giderim veriminin ufak bir süreliğine yön değiştirdiği nokta 5.dakika olarak görülmektedir. Bu durumu buharlaşma ile alakası olduğu düşünülmektedir.

8. dakika sonunda 1 litrelik örneğin rengini %23.55 oranında gidermek için;

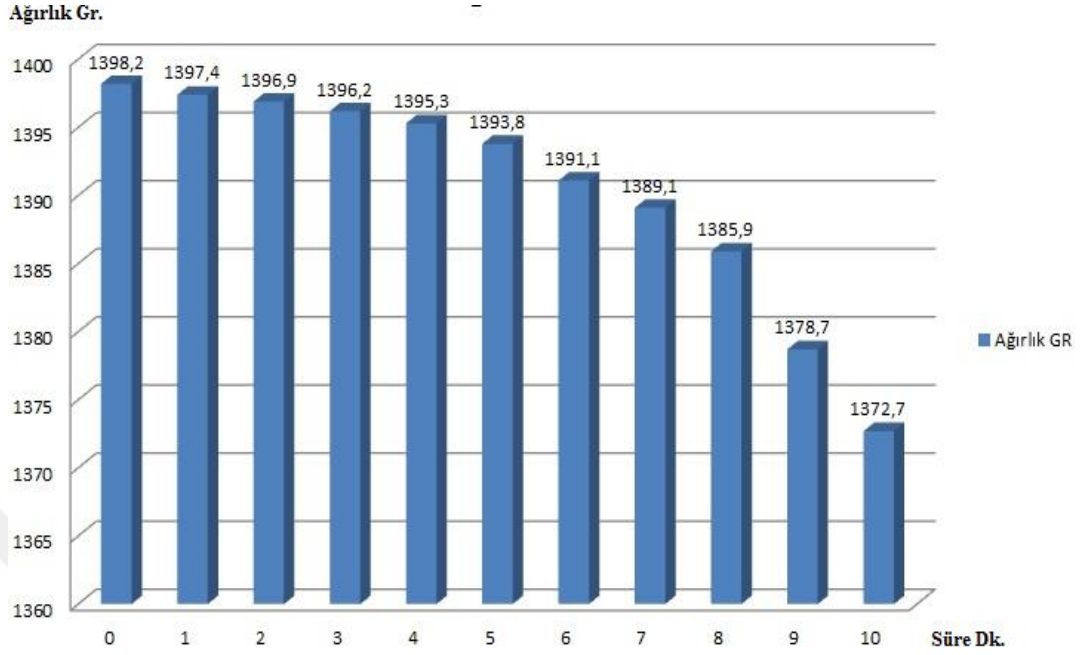
20,5 Watt x 8 = 164 Watt enerji gerekmiştir.

Yani 1 mL atıksuyun rengini %23.55 oranında gidermek için 0,164 Watt enerji gerektiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.13. Renk Giderimi Tablosu

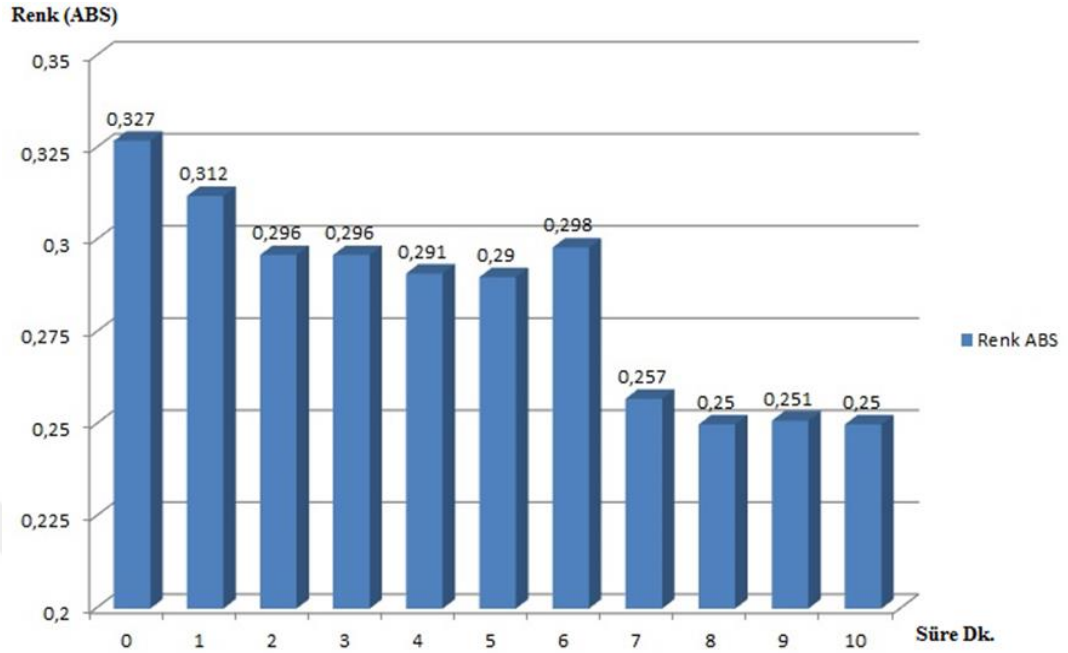
Süre (dk)	0	1	2	3	4	5
Renk (ABS)	0.327	0.312	0.296	0.296	0.291	0.29
Ağırlık (gr)	1398.2	1397.4	1396.9	1396.2	1395.3	1393.8
Süre (dk)	6	7	8	9	10	-
Renk (ABS)	0.298	0.257	0.25	0.251	0.25	-
Ağırlık (gr)	1391.1	1389.1	1385.9	1378.7	1372.7	-

Çizelge 4.14. Ağırlık/Zaman Grafiği



Çizelge 4.14.'de zaman periyodu arttıkça ağırlığın da giderek azaldığı gözlemlenmiştir. Ağırlığın zamanla azalmasının temel sebebinin, molekülleri birbirine bağlayan bağların arıtma sırasında birleşip flok oluşturarak sudan uzaklaştırılması sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca giderim veriminin ufak bir süreliğine yön değiştirdiği nokta 5. dakika olarak görülmektedir ve bu durumda buharlaşmanın etkisi olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.15. Renk ABS/Zaman Grafığı



Çizelge 4.15.'te zaman periyodu arttıkça ABS değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. En iyi renk gideriminin 8. dakikada olduğu gözlemlenmiştir. Ağırlığın zamanla azalmasının temel sebebinin, buharlaşma ve molekülleri birbirine bağlayan bağların arıtma sırasında birleşip flok oluşturarak sudan uzaklaştırılması sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca giderim veriminin ufak bir süreliğine yön değiştirdiği nokta 5. dakika olarak görülmektedir ve bu durumda yine buharlaşmanın etkisi olduğu düşünülmektedir.

Y. Yang ve diğerlerinin (2009) yaptığı çalışmaya göre, mikrodalga ile güçlendirilmiş Fenton veya Fenton benzeri proses, tek Fenton reaksiyonundan ziyade sulu ve kirli kirleticilerin işlenmesi için daha iyi bir verimlilik sergilemiş olduğunu belirtmiştir.

Bu temelden yola çıkılarak çalışmamızda tek başına mikrodalga'nın renk giderimine etkisi incelenmek istenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, mikrodalga ile renk gideriminin mümkün olduğu gözlemlenmiştir.

4.3.Amonyum Nitrat Deneyi Bulguları

Yapılan deneylerin sonucunda amonyumun büyük ölçüde giderildiği görülmüştür. Ayrıca nitrat değerleri her seferinde 0 mg/l çıkmıştır.

Lin ve arkadaşlarına (2008) göre, atıksudan amonyum azotunun mikrodalga radyasyonu ile giderilirken pH ve radyasyon süresinin oldukça etkili olduğu düşünülmüştür.

Lin ve arkadaşlarına (2009) göre, yalnız mikrodalga kullanıldığında su moleküllerini harekete geçirdiği ve ısıtma niteliğine bağlı olduğu düşünülmüştür.

Önceki araştırmalara istinaden; mikrodalga ile ön arıtımda sıcaklık artışı olduğu zaman, su moleküllerinin harekete geçtiği ve substratların bozulduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda amonyak azotunun gideriminde pH değeri ve radyasyon süresinin etkili olduğu bulunmuştur. Bu yüzden 240. saniyede en iyi verim sağladığı düşünülmektedir. Grafiklerdeki artış ve azalışın bu sebeplere bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir.

100 mL filtrelenmemiş atıksu değerleri çizelgeden de (Çizelge 4.15.) okunabileceği gibi, deney sonuçlarında en iyi giderimin 240 saniyelik mikrodalga radyasyonuna maruz kalma süresinde olduğu görülmektedir. 240. saniye sonrasında verimin düşmesinin sebebinin buharlaşma ile alakalı olduğu düşünülmektedir.

Filtrelenmemiş atıksu için deney 100 mL hacminde yürütülmüştür.

Enerji sarfiyatı deneyinden yola çıkarak 240 saniyelik periyotta;

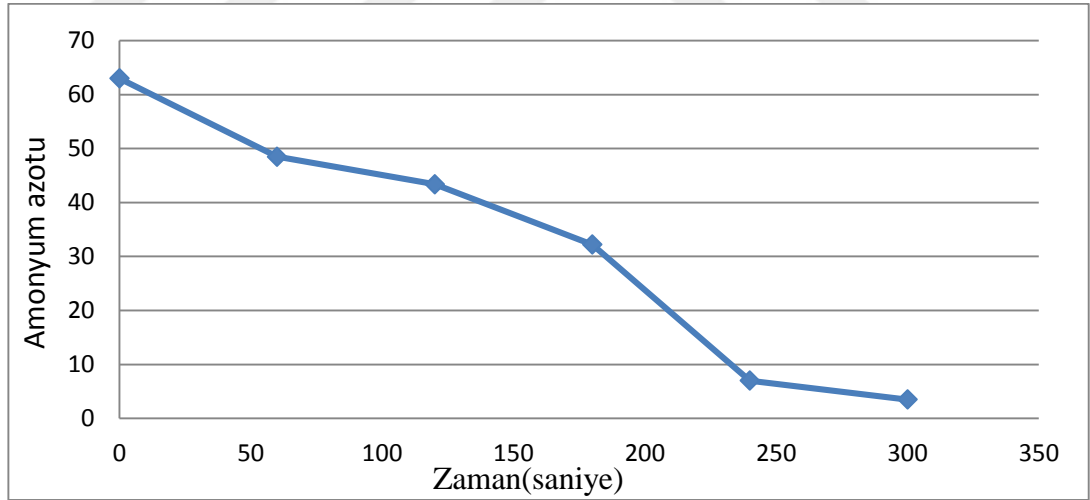
$20,5 \text{ Watt} \times 4 = 82 \text{ Watt}$ lık enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Özetle 1 mL filtrelenmemiş atıksuda %88'lik Amonyum giderimi için 0,82 Watt enerji harcanmıştır.

Çizelge 4.16. Amonyum Nitrat Deneyi Bulguları

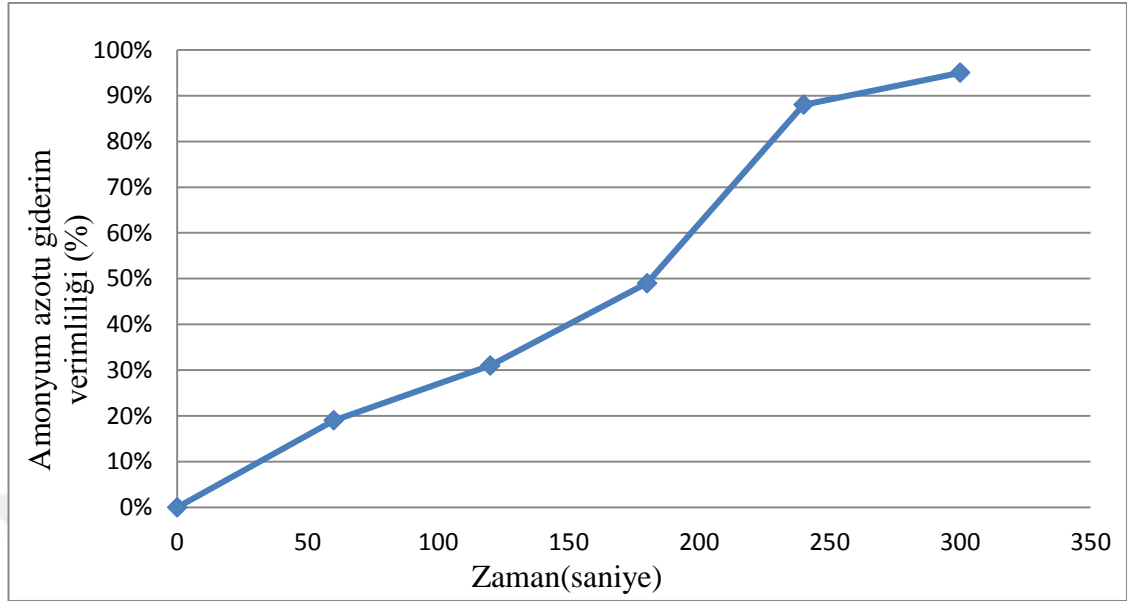
Zaman (Saniye)	Amonyum Nitrat Konsantrasyonu	Amonyum Nitrat Giderim Verimliliği (%)
0	63	0%
60	48,5	19%
120	43,4	31%
180	32,2	49%
240	7	88%
300	3,5	95%

Çizelge 4.17. Amonyum Azotu Değişimi Grafiği



Çizelge 4.17.'de zaman periyodunun artmasıyla amonyum azotu değerinin zamanla azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun temel sebebinin radyasyon süresi ve sıcaklık artışıyla su moleküllerinin harekete geçmesinden ve dolayısıyla buharlaşmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Bu yüzden 240. saniyede en iyi verim sağladığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.18. Amonyum Azotu Giderim Verimliliği (%) Grafiği



Çizelge 4.18.'de zaman periyodunun artmasıyla amonyum azotu giderim verimliliğinin zamanla arttığı gözlemlenmiştir. En giderim veriminin 240. saniyede olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun temel sebebinin radyasyon süresi ve sıcaklık artışıyla su moleküllerinin harekete geçmesinden ve dolayısıyla buharlaşmasından dolayı olduğu düşünülmektedir.

Lin ve arkadaşlarına (2009) göre mikrodalganın sadece amonyak gideriminde faydalı bir arıtım yöntemi olduğu bulunmuştur.

Bu düşünceye karşılık olarak çalışmamızda, mikrodalganın sadece amonyak değil başka parametreleri de giderdiği tespit edilmiş ve kanıtlanmıştır

4.4.Fosfat Deneyi Bulguları

Örnek hacimleri 100 mL olacak şekilde ayarlanmıştır. Her örneğe, giderim veriminin optimum olduğu süreyi belirlemek amacı ile 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 360 ve 420 saniye süreler ile 900 watt'lık mikrodalga uygulanmıştır.

Saha ve arkadaşlarına (2011) göre, mikrodalga yönteminin biyolojik bozunma oranı/kapsam geliştirme açısından atıksu arıtmada en etkili yöntem olduğu düşünülmüştür.

Remya ve Lin'e (2010) göre, mikrodalganın çeşitli substratların bozulmasını sağladığı düşünülmüştür.

Wang ve Wang'a (2015) göre mikrodalga tek başına kullanıldığında uçucu ya da yarı uçucu organiklerin buharlaşmasını sağlayarak atıksudaki kirleticilerin arıtılmasını sağladığı düşünülmüştür.

Önceki araştırmalara istinaden; mikrodalga ile ön arıtımda sıcaklık artışı olduğu zaman, substratların bozulduğu dolayısıyla biyobozunurluğun artış gösterdiği ve uçucu veya yarı uçucu organiklerin buharlaşmasının artış gösterdiği düşünülmektedir. Grafiklerdeki artış ve azalışın bu sebeplere bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir.

Grafiklerden okunabildiği üzere, fosfat gideriminin en iyi olduğu süre 6. dakika olduğu tespit edilmiştir.

7. dakika sonunda 100 mL örneğin rengini %65 oranında gidermek için;

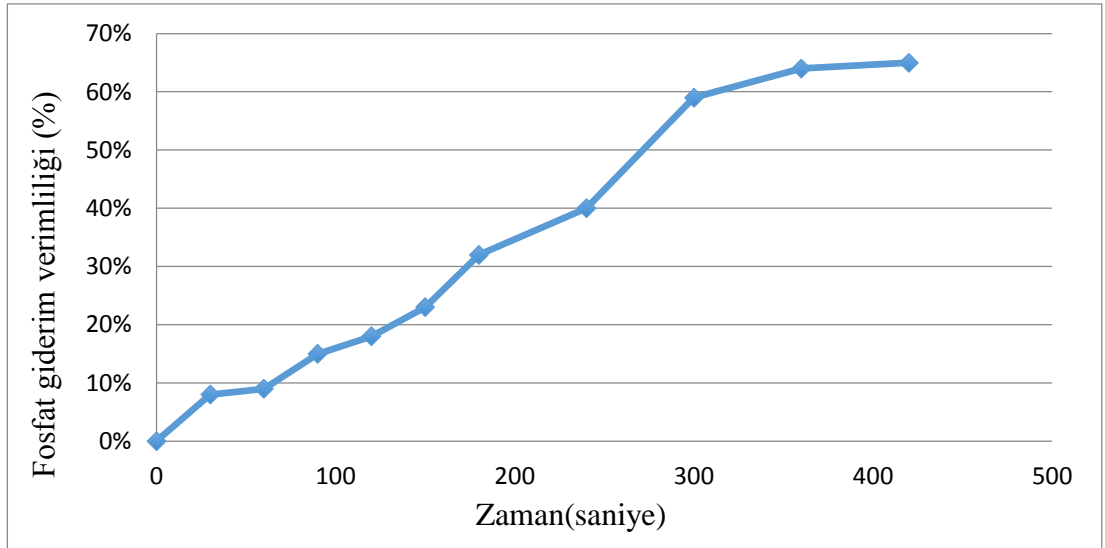
$20,5 \text{ Watt} \times 7 = 143,5 \text{ Watt}$ enerji gerektirdiği hesaplanmıştır.

Yani 1 mL atıksuyun rengini % 65 oranında gidermek için 0,143 Watt enerji gerekmektedir.

Çizelge 4.19. Fosfat Giderimi Tablosu

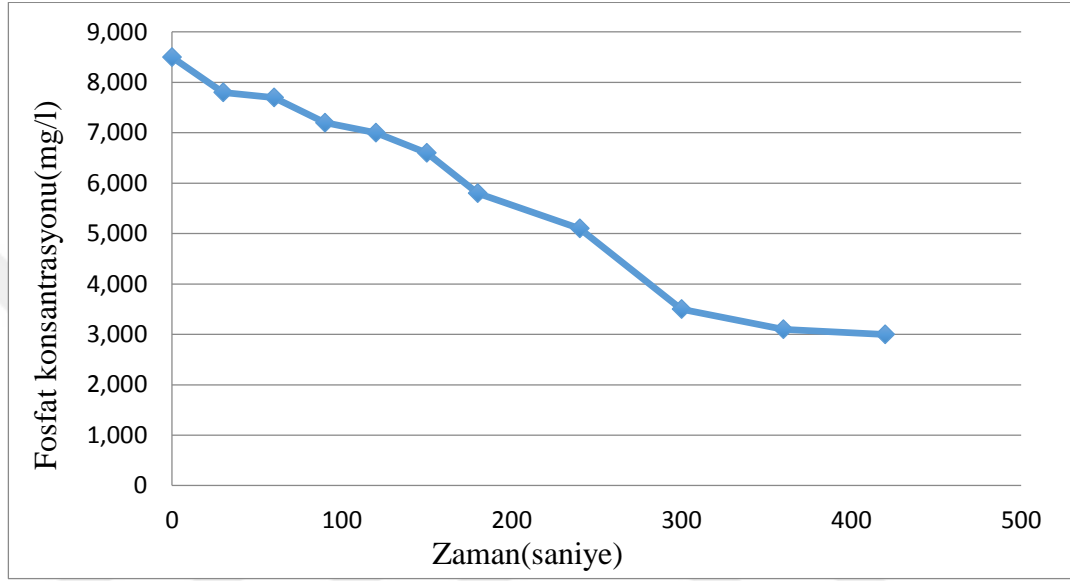
Zaman (Saniye)	Fosfat Konsantrasyonu (mg/l)	Fosfat Giderim Verimliliği (%)
0	8.5	0%
30	7.8	8%
60	7.7	9%
90	7.2	15%
120	7.0	18%
150	6.6	23%
180	5.8	32%
240	5.1	40%
300	3.5	59%
360	3.1	64%
420	3.0	65%

Çizelge 4.20. Fosfat Giderim Verimliliği (%) Grafiği



Çizelge 4.20.'de zaman periyodu arttıkça fosfat giderim verimliliği yüzdesinin giderek arttığı gözlemlenmiştir. En iyi giderimin 360. saniye olduğu gözlemlenmiştir. Artışın temel sebebinin, radyasyon süresi ve sıcaklık artışıyla su moleküllerinin harekete geçmesiyle buharlaşmasından ile biyobozunurluğun artmasından olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 4.21. Fosfat Değişimi Grafiği



Çizelge 4.21'de zaman periyodu arttıkça fosfat değerinin değişiminin giderek arttığı gözlemlenmiştir. Azalışın temel sebebinin, radyasyon süresi ve sıcaklık artışıyla su moleküllerinin harekete geçmesiyle buharlaşmasından ile biyobozunurluğun artmasından olduğu düşünülmüştür.

5.SONUÇ

Atıksuda bulunan zehirli ve zararlı maddeler besin zincirine ve dolayısıyla insana ulaşır. Atıksuyun yüzeysel sulara deşarjı ile sudaki çözünmüş oksijen oranı azalır ve alıcı ortamın ekolojik, fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliğinin değışmesine yol açar. Bu sebeplerden dolayı atıksuyun alıcı ortama deşarj edilmesi önlenmelidir.

Mikrodalga sistemiyle ısıtmak, maddenin içine direkt işlediğinden diğerklasik ısıtma sistemlerinden farklıdır. (Jones ve ark. 2002, Toraman 2007)

Mikrodalga birçok uygulamada (atık, toprak, su, çökelti) hızlı ve enerji tasarruflu oluşu sebebiyle çevre dostu ve sürdürülebilir bir teknolojidir. (Falciglia ve ark. 2018)

Bu çalışmada, mikrodalga yönteminin Bursa Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinin giriş suyundan alınmış numunelerin mikrodalgaya farklı koşul ve sürelerde maruz bırakılması sonucu atıksu içeriğindeki KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), renk, amonyum nitrat ve fosfatın giderimi gözlemlenmiştir. Giderim sırasında mikrodalga

Lin ve arkadaşlarının (2009) ile Sun ve arkadaşlarının (2008) yaptığı deneylerde de görüldüğü gibi, mikrodalga ile KOİ ve amonyum nitrat giderimi yapmak mümkündür.

Mikrodalgayı birçok oksitleyici ve katalizör ile kombine etmek mümkün olsa da, yapılan çalışmalar tek başına mikrodalga ile de KOİ ve amonyum nitrat gideriminin mümkün olduğunu göstermektedir.

Tek başına mikrodalga ile KOİ gideriminin, mikrodalğanın organik maddeleri parçalarına ayırmasına dayandığı düşünülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda, filtrelenmiş (homojen) atıksuyun KOİ'sinde giderim için tek başına mikrodalga tekniğinin 900 Watt'ta 90 sn'lik periyot sonucunda % 79'luk bir giderim sağladığı görülmüştür.

KOİ deneyleri sonucunda, mikrodalga radyasyonuna maruz bırakılan atıksuyun filtrelenmediğinde 120.saniyede, kaba filtreden geçirildiğinde 60.saniyede, 0,45 µm filtreden geçirildiğinde ise 90.saniyede en iyi verimi elde ettiği tespit edilmiştir.

Enerji sarfiyatı anlamında; 1 mL filtrelenmemiş atıksuda % 79'luk KOİ giderimi için 0.308 Watt enerji harcanmıştır.

Lin ve arkadaşlarına (2008) göre atıksudan amonyum azotu mikrodalga radyasyonu ile giderildiğinde pH, radyasyon süresi oldukça büyük etki gösterirken, havalandırma ve ilk amonyak değeri konsantrasyonu az etki göstermiştir.

Tek başına mikrodalga ile amonyum nitrat gideriminde yaklaşık olarak % 95'lik bir giderim sağlanmıştır. Ayrıca çalışmamızda yapılan deneyler sonucunda nitrat hep "0" mg çıkmıştır.

Amonyum nitrat deneyleri sonucunda, 240.saniye en iyi verimin elde ettiği tespit edilmiştir.

Enerji sarfiyatı anlamında; 1 mL filtrelenmemiş atıksuda %95'lik amonyum nitrat giderimi için 0,1025 Watt enerji harcanmıştır.

8 dakika sonunda 1 litrelik örneğin rengini %23.55 oranında gidermek için 164 Watt enerji gerekmiştir.

Fosfat deneyleri sonucunda, 360.saniye en iyi verimin elde ettiği tespit edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda mikrodalga ile fosfat giderim prosesinin 7. dakika sonunda % 65'lik bir giderim sağladığı görülmüştür. Bu da tek başına mikrodalga'nın fosfat giderimi için mümkün olabileceğini ama diğer kimyasal maddelerle kombine etmenin biraz daha iyi olabileceğini göstermiştir.

Nihayetinde, mikrodalga'nın, diğer prosesler ve kimyasallar ile birlikte kombine halde kullanılabilmesi gibi, tek başına da atıksu arıtımında amonyum nitrat ve fosfat giderimi maksadı ile kullanılabilmesi görülmüştür.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında atıksu mikrodalga radyasyonuna farklı mikrodalga gücü değerlerinde maruz bırakılacaktır. Atıksu mikrodalga radyasyonuna daha uzun süre maruz bırakılacaktır. Atıksu daha farklı filtrelerden geçirilecektir. Atıksudaki başka parametreler incelenecektir.

KAYNAKLAR

- Abed M-R-A., Bayram M-S., Mouaquet A., 2015.** Water Treatment By Microwaves. Aleppo Universty, Technical Engineering Faculty Environment Department.
- Akagün H-Y., 2006.** Mikrodalga Isıtma Sistemlerinde Yarık Anten Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri, Elektronik Ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Alagöz B-A., Yenigün O., Erdinçler A., 2015.** Enhancement Of Anaerobic Digestion Efficiency Of Wastewater Sludge And Olive Waste: Synergistic Effect Of Co-Digestion And Ultrasonic/Microwave Sludge Pre-Treatment. *Waste Manage*, 46:182-8.
- Anonim, 2016.** Aile Ve Tüketici Bilimleri Atık Sular Kurs Programı. Milli Eğitim Bakanlığı, Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2011.** Aile Ve Tüketici Hizmetleri Atık Sular 850ck0103. Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Aydın İ., 1999.** İçme Sularında Koagülasyon İle Organik Madde Giderimi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Ayvaz Z., 2000.** Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi. *ÇEVKOR*, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 9: 3-12.
- Azbar N., Yonar T., Kestioğlu K., 2004.** Comparison Of Various Advanced Oxidation Processes And Chemical Treatment Methods For Cod And Color Removal From A Polyester And Acetate fiber Dyeing Effluent. *Chemosphere*, 55: 35–43.
- Baburşah S., 2004.** Tekstil Endüstrisi Atıksularının Gerikazanımı Ve Yeniden Kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Büyükoyuncu D., 2012.** Mikrodalganın Hacim İçerisinde Dağılımının Sıcaklık Profiline Etkisinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Cravotto G., Binello A., Di Carlo S., Orio L., Wu Z., Ondruschka B., 2010.** Oxidative Degradation Of Chlorophenol Derivatives Promoted By Microwaves Or Power Ultrasound: A Mechanism Investigation. *Environmental Science And Pollution Research*, 17: 674-687.
- Çalışkan M-K., 2002.** Mikrodalga Enerjisi İle Kurutma, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik H., Koyuncu İ., Karakılıçık A-Z., Gönel A., Musa D., 2016,** Radyasyonlu Ortamlarda Çalışan İnsanlarda İyonize Ve Non-İyonize Radyasyonun Oksidatif Stres Ve Antioksidan Seviye Üzerindeki Etkileri. *Bezmialem Science*, 3: 106-9.
- Çilingir E., 2018.** Effect Of Microwave Asisted Acid&Alkali Pretreatment On Biogas Production From Poultry Manure. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Demiray D., 2001, Aktif Çamur Sistemlerinde Üretilen Çamurun İnorganik Fraksiyonlarının Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ekin S., 2013. Mikrodalga-Fan Destekli Konveksiyon Isıtma İle Kurutma. *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Denizli.

Engin T-S., 2007. Kömürlerin Mikrodalga Enerji İle Sıvılaştırılmasına O-Metilleme Önışleminin Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Eskicioğlu Ç., Audrey P., Juan M., 2008, Synergetic Pretreatment Of Sewage Sludge By Microwave Irradiation İn Presence Of H₂O₂ For Enhanced Anaerobic Digestion, *Water Research*, 42: 4674–4682.

Falciglia P-P., Roccaro P., Bonanno L., Guidi G-D., Vagliasindi F-G-A., Romano S., 2018. A Review On The Microwave Heating As A Sustainable Technique For Environmental Remediation/Detoxification Applications. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 95: 147-170.

Genç N., 2007. Atıksu Ve Arıtma Çamurlarının Biyolojik Parçalanabilirliğinin Geliştirilmesinde Ön Arıtımın Önemi, *Trakya Üniversitesi Journal Science*, 9: 15–24, ISSN 1305–6468.

Houtmeyers S., Appels L., Daled M., Impe J-V., Dewil R., 2012. Effects Of Microwave Pre-Treatment On The Sludge Characteristics And Anaerobic Digestion. Chemical And Biochemical Process Technology And Control Section, Department Of Chemical Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Willem De Croylaan 46, 3001 Heverlee, Belgium.

Karabacak Ç., Tilki T., Cengiz M., 2010. Heterojen Katalizörlerin Kullanılmasıyla 7-Hidroksi-4-Metil Kumarinin Mikrodalga Yöntemiyle Sentezi. *24. Ulusal Kimya Kongresi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 29 Haziran-2 Temmuz 2010, Zonguldak. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Isparta.

Kaykioğlu G., Debik E., 2006. Color Removal From Textile Wastewater With Anaerobic Treatment Processes. *Derleme Makalesi, Journal Of Engineering And Natural Sciences*, Sigma, 2006/4.

Kim S., Santamarina J-C., 2016. Rock Crushing Using Microwave Pre-Treatment. [Http://Www.Academia.Edu/37649328/Rock_Crushing_Using_Microwave_Pre-Treatment](http://Www.Academia.Edu/37649328/Rock_Crushing_Using_Microwave_Pre-Treatment): (Erişim Tarihi: Eylül 2018).

Koban B., 2006, Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Yüzey Aktif Maddelerin H₂O₂/Uv-C Prosesi İle Kimyasal Ve Biyolojik Arıtılabilirliği. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kocaer F., Alkan U., 2002. Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1, Bursa.

Kuşlu S., Bayramoğlu M., 2002. Mikrodalgalar İle Materyaller Arasındaki Termal Olan Ve Olmayan Etkileşimlerin İncelenmesi Ve Mikrodalga Kimyası. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8: 395-405.

Lee C-L., Jou C-J. G., 2014. Using Low Energy-Consuming Microwave Technology To Regenerate High Carbon-Containing Pt Catalyst. *Environment And Pollution*, ISSN 1927-0909 E-ISSN 1927-0917.

Lin L., Yuan S., Chen J., Xu Z., Lu X., 2008. Removal Of Ammonia Nitrogen İn Wastewater By Microwave Radiation. *Journal Of Hazardous Materials*, 161: 1063–1068

Lin L., Yuan S., Chen J., Xu Z., Lu X., 2009. Removal Of Ammonia Nitrogen İn Wastewater By Microwave Radiation. *Journal Of Hazardous Materials*, 161: 1063–1068.

Lin L., Chen J., Xu Z., Yuan S., Cao M., Liu H., Lu X., 2009. Removal Of Ammonia Nitrogen İn Wastewater By Microwave Radiation: A Pilot-Scale Study. *Journal Of Hazardous Materials*, 168: 862–867.

Lo K-V., Tan H., Tunile I., Burton T., Kang T., Srinivasan A., Liao P-H., 2018, Microwave Enhanced Advanced Oxidation Treatment Of Municipal Wastewater Sludge. *Chemical Engineering And Processing-Process Intensification*, 128: 143-148.

Meral R., Cavadzade F., 2013. Atıksu Arıtma Tesislerinin İşletilmesi. [Http://Www.Keremcevre.Com/İmg/Mevzuat/Aat_Tesislerinin_İsletilmesi.Pdf](http://www.keremcevre.com/img/mevzuat/aat_tesislerinin_isletilmesi.pdf);(Erişim Tarihi: Kasım 2018).

Muler P., Klan P., Cirkva V., 2003. The Electrodeless Discharge Lamp: A Prospective Tool For Photochemistry Part 4: Temperature- And Envelope Materialdependent Emission Characteristics, *Journal Of Photochemistry And Photobiology A: Chemistry*, 158: 1-5.

Ngadi N., Arsad N-J., Roslan N-A., 2013. Treatment Of Textile Wastewater Using Chitosan Grafted Arcylamide By Microwave Synthesis. *Jurnal Teknologi*, Faculty Of Chemical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Johor Bahru, Johor, Malaysia.

Nuchter M., Muller U., Ondruschka B., Tied A., Lautenschlager W., 2003. Microwave-Assisted Chemical Reactions. *Chemical Engineering & Technology*, 10: 1207-1216.

O'connor K., Thermatron T., Ky L., Hokanson J., 2011. Feasibility Of Using Microwave Radiation To Facilitate The Dewatering, Anaerobic Digestion And Disinfection Of Wastewater Treatment Plant Sludge. *New York State Energy Research And Development Authority, NYSEERDA 10881, USA.*

Omran M., Fabritius T., Elmahdy A-M., Abdel-Khalek N., Gornostayev S., 2015. Improvement Of Phosphorus Removal From Iron Ore Using Combined Microwave Pretreatment And Ultrasonic Treatment. *Separation And Purification Technology*, 156: 724–737.

Ölmez T., 1999. Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boya Banyolarında Ozon İle Renk Giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özgen A., 2016. Effect Of Ultrasonic And Microwave Disintegration On Physico-Chemical And Biodegradation Characteristics Of Waste Activated Sludge. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Passos F., Sole M., Garcia J., Ferrer I., 2013. Biogas Production From Microalgae Grown In Wastewater: Effect Of Microwave Pre-Treatment. *Applied Energy*, 108: 168-175.

Remya N., Jihgaw L., 2011. Current Status Of Microwave Application İn Wastewater Treatment. *Chemical Engineering Journal*, 166: 797–813.

Saha M., Eskicioğlu Ç., Marin J., 2011. Microwave, Ultrasonic And Chemo-Mechanical Pre-Treatments For Enhancing Methane Potential Of Pulp Mill Wastewater Treatment Sludge. *Bioresource Technology*, 102: 7815-7826.

Sun Y., Zhang Y. B., Quan X., 2008. Treatment Of Petroleum Refinery Wastewater By Microwave- Assisted Catalytic Wet Air Oxidation Under Low Temperature And Low Pressure. *Separation And Purification Technology*, 62: 565-570.

Şahin Y., 2006. Asit Boya Banyosu Atıksularının Kimyasal Prosesler İle Ön Arıtılabilirliğinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Şahin Ö., 2017. Pd/C Catalysts Synthesized By Microwave Assisted Polyol Method For Formic Acid Electro-Oxidation. *S.Ü. Mühendislik Bilim Ve Teknik Dergisi*, Cilt 5, Sayı 3, Selçuk Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Konya.

Şahinkaya S., 2013. Cod And Color Removal From Synthetic Textile Wastewater By Ultrasound Assisted Electro-Fenton Oxidation Process. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry*, 19: 601–605.

Toraman Ö., Depçi T., 2007. Kömürde Mikrodalga İle Önışlem Uygulamaları, *Madencilik*, 46: 43-53.

Türkoğlu S., 2010. Sudaki Fenolik Kirleticilerin Farklı Adsorplayıcılara Adsorpsiyonu Ve Katının Mikrodalga Rejenerasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Ünalın F., 2002. Mikrodalga Ve Ultraviyole'nin Sterilizasyondaki Etkinliği. Sterilizasyon Dezenfeksiyon Ve Hastane İnfeksiyonları, İstanbul Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi, Total Parsiyel Protezler Anabilim Dalı, 17: 31 Sayfa 1-8, İstanbul.

Wang N., Wang P., 2016. Study And Application Status Of Microwave İn Organic Wastewater Treatment. *Chemical Engineering Journal*, 283: 193-214.

Wong T. W., Iskhandar A., Kamal M., Jumi S.-J., Kamarudin N.-H., Mohamad Zin N.-Z., Mohd Salleh N.-H., 2009. Effects Of Microwave On Water And Its Influence On Durug Dissolution. *Progress In Electromagnetics Research*, 11: 121–136.

Yalılı M., Solmaz S., 2004. Su Temini Tesislerinin Tarihsel Gelişimi Sürecinde Bursa İli, Bursa. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 1, Bursa.

Yang Y., Wang P., Shi S., Liu Y., 2009. Microwave Enhanced Fenton-Like Process For The Treatment Of High Concentration Pharmaceutical Wastewater. *Journal Of Hazardous Materials*, 168: 238-245.

Yarmuhammet G., 2012. Tekstil Atıksularının Membran Prosesleri İle Geri Kazanımında Ön Arıtmanın Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Yeneneh A-M., Sen T-K., Chong S., Ang H., Kayaalp A., 2013. Effect Of Combined Microwave-Ultrasonic Pretreatment On Anaerobic Biodegradability Of Primary Excess Activated And Mixed Sludge. *Computational Water, Energy, And Environmental Engineering*, 2013, 2, 7-11.

Yılmaz S., 2016. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Mikrobiyal Yapısı Ve İşletme Performansının Beklenen Tasarım Kabulleri İle Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul.

Younis S-A., El-Azab W., El-Gendy N., Aziz S-Q., Moustafa Y-M., H-A. Aziz H-A., Amr S., 2014. Application Of Response Surface Methodology To Enhance Phenol Removal From Refinery Wastewater By Microwave Process. *International Journal Of Microwave Science And Technology*, Article ID 639457, 12 Sayfa.

Zalat O-A., Elsayed M-A., 2013. A Study On Microwave Removal Of Pyridine From Wastewater. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 1: 137-143.

Zengin H., 2013. Mikrodalga Yardımı İle Yeni Ftalosiyanın Sentezi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, İstanbul.

Zhang J, Tian Y., Zhu J., Zuo W, Yin L., 2014. Characterization Of Nitrogen Transformation During Microwave-Induced Pyrolysis Of Sewage Sludge. *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, 105: 335-341.

Zhang L., Guo X., Yan F., Su M., Li Y., 2007. Study Of The Degradation Behavior Of Dimethoate Under Microwave Irradiation, . *Journal Of Hazardous Materials*, 149: 675–679.

URL: <http://www.yesilaski.com/?s=renk+tayini>: (Erişim tarihi: Kasım 2018).

URL: <https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/klmjmw86-fosfor-2013.pdf>: (Erişim Tarihi: Kasım 2018).

URL: <https://isgfrm.com/threads/oksidan-kimyasallar.10368/>: (Erişim tarihi: Ekim 2018).

URL: https://ekblc.files.wordpress.com/2014/10/89085_pp7.pdf (Erişim tarihi: Ekim 2018).

URL: <https://prosafety.com.tr/spektrofotometre-nedir-calisma-prensibi-nasildir/> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: <https://gidabilinci.com/mikrodalga-nedir-nasil-calisir-calisma-prensibi>: (Erişim tarihi: Ekim 2018).

URL: <http://cevre.beun.edu.tr/dersnotu/cevrekimyasi2/koitayini.pdf>: (Erişim tarihi: Kasım 2018).

URL: <http://mayhiensong.com/ohauspa214-can-dien-tu-phan-tich-ohaus-pa214-210g-0-0001g-mayhiensong-1472/pr.html> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: <https://tetrtek.com.tr/tr/udk-129-kjeldahl-azot-protein-tayin-cihaz/> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: <https://www.hepsiburada.com/siemens-hf24m561-iq300-25-lt-900-w-paslanmaz-celik-ankastre-mikrodalga-firin-pm-mtsiehf24m561> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: <https://pl.rs-online.com/web/p/pehametry/6496053> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7d16d00201083a2_ek.pdf (Erişim tarihi: Kasım 2018).

URL: <http://www.mevzuat.gov.tr/> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: <http://www.lunatr.com/tek-fazli-sayaclar/#lun1> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: <http://www.titas.com.tr/sf/DR5000.pdf> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: <https://www.mt.com/tr/tr/home.html> (Erişim tarihi: Kasım 2018).

URL: <https://www.elektrikport.com/> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: <https://tr.wikipedia.org> (Erişim tarihi: Eylül 2018).

URL: <http://www.zamandayolculuk.com/html-3/magnetron.html> (Erişim tarihi: Kasım 2018).

URL: http://www.yildiz.edu.tr/~filhan/Nitrit_ve_Nitrat.pdf (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: <http://www.lordiz.com/savastan-cikan-icat-mikrodalga-firin.html> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

URL: <https://isgfrm.com/threads/su-ve-atiksu-aritimi.2217/> (Erişim tarihi: Aralık 2018).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve AHMAD

Doğum Yeri ve Tarihi : Kamışlı SURIYE, 26/01/1985

Yabancı Dil : Arapça, İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Suriye Kadisyne Lisesi

Lisans : Halep Üniversitesi, Çevre Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Türk Kızılayı

İletişim (e-posta) : merve.tekince@hotmail.com

Yayınlar : **Amin Z.,Salihoğlu N-K.,Ahmad M.,2018.** Study of the Efect of Microwave and Energy Efficiency on Industrial Wastewater Remediation ,JWE-1806-1060(R).

Salihoğlu N-K.,Ahmad M.,Amin Z.,2017. Deniz deşajı Öncesi Endüstriyel Atıksuların Arıtımına bir Alternatif Mikrodalga ile Arıtım.Ulusal Çevre ve Kıyı Kirliliği Sempozyumu, Gemlik.

Amin Z., Ahmad M., Salihoğlu G., Salihoğlu N-K., 2018. Treatment of Wastewater from Organized Industrial District by Using Microwave Radiation, Uluslararası Su ve Çevre Kongresi,Bursa (poster)