T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GAZ AKIMINDAKİ UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN OZON KULLANILARAK GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Coşkun AYVAZ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Burcu ONAT

II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2020

Bu çalışma 21.08.2020 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Burcu ONAT
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Atakan ÖNGEN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Selami DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 33302 numaralı projesi ile desteklenmiştir..

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanması sürecinde yardımlarını ve tavsiyelerini esirgemeyen değerli hocalarım, Prof. Dr. Burcu ONAT ve Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN'e en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım. Ozon Jenratörü temininde ve endüstriyel uygulama örneklerini incelememize verdiği katkılarından dolayı, PCS Elektronik LTD. ŞTİ.'ne teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında laboratuvardaki katkılarıyla yanımda olan Yük. Müh. Burcu UZUN'a, tavsiyeleri için Doç. Dr. Selami DEMİR'e, analiz sürecinde yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Yetkin DUMANOĞLU'na, İ.Ü.C. Çevre Mühendisliği Bölümüne, Y.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümüne ve her zaman destekleriyle yanımda olmuş aileme teşekkür ederim.

Ağustos 2020 Coşkun AYVAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xi**
SUMMARY ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLER (UOB) 3
2.2. ÖNEMLİ UOB TÜRLERİ 7
2.2.1. Tolüen 7
2.2.2. Stiren 8
2.3. UOB'LERİN SAĞLIK ETKİLERİ VE SINIR DEĞERLERİ 9
2.4. UOB'LERİN GİDERİM YÖNTEMLERİ 12
2.4.1. Proses ve Ekipman Düzenlemesi 12
2.4.2. Adsorpsiyon 13
2.4.3. Absorpsiyon 15
2.4.4. Biyofiltrasyon 16
2.4.5. Yoğuşturma 18
2.4.6. Membran Ayırma 19
2.4.7. Oksidasyon 19
2.4.7.1. Termal Oksidasyon *19*
2.4.7.2. Katalitik Oksidasyon *21*
2.4.7.3. Kimyasal Oksidasyon *22*
2.5. OZON İLE OKSİDASYON 22
2.5.1. Ozon Gazının Genel Tanımı 22
2.5.2. Ozonun Oksidasyonda Kullanımı 25
2.5.3. Literatür Özeti 25
3. MALZEME VE YÖNTEM **30**

3.1. DENEY DÜZENEĞİ 30
3.1.1. Buharlaşma ile UOB oluşumu Deney Düzeneği 30
3.1.2. Şırınga ile UOB Dozlama Deney Düzeneği 32
3.2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZ VE MALZEMELER 34
3.2.1. Hava Motoru 34
3.2.2. Ozon Üretim Cihazı 35
3.2.3. Elektronik Şırınga Pompası 36
3.2.4. MultiRAE UOB ölçüm Cihazı 37
3.2.5. Deneylerde Kullanılan Cam Malzemeler. 38
3.2.6. Deneylerde Kullanılan Kimyasallar 38
4. BULGULAR 40
4.1. DENEY DÜZENEKLERİNDE UOB OLUŞUMUNUN İNCELENMESİ 40
4.2. DÜĞME ÜRETİM TESİSİ HAMMADDESİNE OZON UYGULANMASININ İNCELENMESİ 43
4.3. TOLÜEN VE STİREN KULLNILARAK YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI 49
4.3.1. GIC-FID Analizi Sonuçları 50
4.3.2. Sensör ve GC-FID Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması 52
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 55
KAYNAKLAR 58
ÖZGEÇMİŞ 69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Dünyada UOB'lerin kaynakları ve dönüşümü (Williams ve diğ., 2007) 4

Şekil 2.2: Tolüenin yapısı (URL2).....7

Şekil 2.3: Stirenin yapısı (URL 2) 9

Şekil 2.4: Adsorpsiyon sistemi.....15

Şekil 2.5: Absorpsiyon sistemi.....16

Şekil 2.6: Biyofiltrasyon sistemi.....17

Şekil 2.7: Yoğuşturma ile UOB giderimi.....18

Şekil 2.8: Termal oksidasyon sistemi.....20

Şekil 2.9: Katalitik oksidasyon sistemi. 22

Şekil 2.10: Farklı UOB kaynaklarının ozon oksidasyonu ile konsantrasyonlarının değişimi (Kara ve diğ., 2018). 28

Şekil 3.1: Düğme üretimi hammaddesiyle (stiren) yapılan deney sistemin şematik gösterimi. 31

Şekil 3.2: Şırınga ile UOB'nin dozlandığı deney sistemi. 33

Şekil 3.3: Deneyler sırasında kullanılan hava motoru…….. 35

Şekil 3.4: PCS elektronik Ozonmatik Portomatik Multi cihazı. ……..36

Şekil 3.5: 3 boyutlu yazıcı ile yapılmış elektronik şırınga pompa. ……...37

Şekil 3.6: UOB ölçümü amacıyla kullanılan cihaz. ……..38

Şekil 3.7: Deneylerde kullanılan cam malzemeler. ……...38

Şekil 3.8: Deneylerde kullanılan kimyasallar. ……..39

Şekil 4.1: Akış debisine göre l/dk (a.), 3 l/dk (b.) ve 6 l/dk (c.) UOB oluşum hızları. ……41

Şekil 4.2: 3B baskı şırınga pompa kullanımıyla 0.3 ml/saat dozlama ile oluşan Tolüen (a.) ve Stiren (b.) konsantrasyonları…….. 43

Şekil 4.3: 1 l/dk hava akış debisinde 1 dk ozon verilerek (a.) ve 30 sn ozon verilerek (b.) yapılan deneyler ve giderim verimleri. ……..44

Şekil 4.4: 3 l/dk hava akış debisinde 1 dk ozon verilerek (a.) ve 30 sn ozon verilerek (b.) yapılan deneyler ve giderim verimleri. ……...45

Şekil 4.5: 6 l/dk hava akış debisinde 1 dk ozon verilerek (a.) ve 30 sn ozon verilerek (b.) yapılan deneyler ve giderim verimleri. ……..46

Şekil 4.6: UOB-ozon temas sürelerine göre reaktöre giriş ve çıkış konsantrasyonları ve giderim verimlerinin sensör ölçüm sonuçları. ……...50

Şekil 4.7: Tolüen (a.) ve stiren (b.) solventlerinin, UOB-ozon temas sürelerine reaktöre giriş, reaktörden çıkış konsantrasyonları ve giderim verimlerinin GC-FID ölçüm sonuçları.51

Şekil 4.8: Stiren deneylerinde GC-FID analizlerinde görülen UOB türleri. ……..52

Şekil 4.9: Ölçüm yöntemine göre tolüen ve strien giderim verimleri ……....53

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Bazı UOB türlerinin sağlık etkileri iç ortam sınır değerleri. 10

Tablo 2.2: Bazı UOB türleri için emisyon sınır değerleri (SKHKKY, 2009). 12

Tablo 2.3: Adsorban türüne göre adsorpsiyon prosesleri (Schnelle ve diğ., 2015). 14

Tablo 2.4: UOB tür ve konsantrasyonlarına göre biyofiltre giderim verimleri (Witherspoon ve diğ., 2003). 17

Tablo 2.5: UOB türlerinin birbirlerine göre yanma ile parçalanabilirlikleri (Schenelle ve diğ., 2015). 21

Tablo 3.1: UOB türüne göre aktif karbon tüplerine alınan örnekler. 34

Tablo 4.1: Düğme üretim tesisi hammaddesiyle yapılan deneyler ve giderim verimleri. 48

Tablo 4.2: Tolüen ve stirenin ozon ile giderimi ile ilgili bazı çalışmalar. 54

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

λ : Işık Dalga Boyu

Kısaltmalar **Açıklama**

EPA : United States Environmental Protection Agency-Amerika Çevre Koruma Ajansı

UOB : Uçucu Organik Bileşikler

GC-FID : Gas Chromatography – Flame Ionization Detector - Gaz Kromatografisi-Alev İyonlaşma Dedektörü

PID : Photo ionization detector – Foto iyonizasyon detektörü

ppm : parts per million

ppb : parts per billion

N : Normal

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GAZ AKIMINDAKİ UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN OZON KULLANILARAK GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Coşkun AYVAZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Burcu ONAT

II. Danışman : Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

Bu çalışmada, bazı Uçucu Organik Bileşen (UOB) türlerinin oluşturduğu emisyon konsantrasyonlarının ozon ile oksidasyon yöntemiyle giderim verimleri deneysel çalışmalarla araştırılmıştır. Bir düğme üretim tesisinden alınan hammaddenin oluşturduğu UOB'ye 1 l/dk, 3 l/dk ve 6 l/dk hava akış debilerinde 1 dk ve 30 sn süreyle ozon verilmiştir. UOB öçlçümleri PID sensör yardımıyla anlık takip edilmiştir. Buna göre en yüksek giderim verimleri ozonun 1 dk süreyle verildiği ve UOB konsantrasyonlarının 40 ppm ve altı olduğu değerlerde gerçekleşmiştir. Aynı şartlarda giriş konsantrasyonlarının yükselmesiyle giderim verimi düşüş göstermiştir. Ancak, hava akış debisinin artmasıyla giderim verimi artmıştır. Ozon verilme süresi, giderim verimleri üzerinde belirgin bir fark yaratmamıştır. 6 sn, 20 sn ve 30 sn ozon temas sürelerinin uygulandığı tolüen ve stiren sıvıları ile yapılan giderim deneylerinde, GC-FID analizi ve eş zamanlı olarak sensörle ölçüm alınmıştır. Stiren giderim verimleri, sensör ölçümünde %89, GC-FID analizlerinde ortalama %98 seviyesindedir. Tolüen giderim verimleri ise ortalama olarak sensör ölçümlerinde %40, GC-FID analizlerinde %61 seviyesindedir. Ozon-UOB temas süresine göre giderim verimlerinde önemli bir fark görülmemiştir.

Ağustos 2020, 83. sayfa.

Anahtar kelimeler: Uçucu organik bileşikler (UOB), Ozon, Oksidasyon.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS REMOVAL IN THE GAS STREAM USING OZONE

Coşkun AYVAZ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Burcu ONAT

Co-Supervisor : Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

In this study, the emission concentrations of some volatie organic compunds (VOC) types generated by ozone oxidation method were investigated by experimental studies. Ozone has been supplied to the UOB, which is formed by the raw material purchased from a button production facility, for 1 min and 30 sec at air flow rates of 1 l / min, 3 l / min and 6 l / min. VOC measurements were monitored with the PID sensor. Accordingly, the highest removal efficiencies were realized at values where ozone was given for 1 minute and concentrations were 40 ppm and below. Under the same conditions, removal efficiency decreased with the increase of inlet concentrations. However, with the increase of the air flow rate, the removal efficiency has increased. Ozone delivery time did not make a significant difference on removal efficiencies. In the removal experiments with toluene and styrene fluids, where 6 seconds, 20 seconds and 30 seconds ozone contact times are applied, GC-FID analysis and simultaneous measurement with sensor. Styrene removal efficiencies are 89% in sensor measurement and 98% in GC-FID analysis. On average, toluene removal efficiencies are 40% in sensor measurements and 61% in GC-FID analysis. There was no significant difference in removal efficiencies according to the ozone-VOC contact time.

August 2020, 83. pages.

Keywords: Volatile organic compounds (VOC), Ozone, Oxidation.

1. GİRİŞ

Türkiye'de endüstriyel üretim faaliyetlerinin artarak çeşitlenmesi ile beraber, bu faaliyetlerden kaynaklanan birçok türde emisyon oluşturan gazlar bulunmaktadır. Bu gazlar arasındaki en önemli gruplardan biri, uçucu organik bileşiklerdir (UOB). Doğal kaynakların yanında, insan aktivitesi kaynaklı, kentsel alanlarda UOB emisyonu; fosil yakıt kullanımı, restoran bacaları ve solvent kullanan sanayidir. Bu kaynakların UOB emisyonu, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliğine göre bireysel olarak aşılmamakta ancak, kümülatif olarak doğrudan koku ve UOB kirliliği ve dolaylı olarak da smog ve atmosferik ozon üretiminde artışa neden olmaktadır.

UOB'ler, hava kirletici türler arasında önemli bir yere sahiptir ve insan ve çevre sağlını etkilemektedir. Üretim odaklı sanayinin büyük bir bölümünde UOB emisyonu oluşmaktadır. Plastik endüstrisi, boya endüstrisi ve yapışkan bant üretim endüstrisi gibi büyük sanayi kollarının bacalından UOB salınmaktadır. Bu oluşan emisyonları gidermek amacıyla, adsorpsiyon, absorpsiyon, yoğuşturma ve oksidasyon gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Yöntemlerden her birinin, giderilmek istenen UOB türüne göre, konsantrasyon miktarına göre, tekrar kullanılıp kullanılamayacağına göre ve istenen giderim verimine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu hususta, uygun yöntemin seçilerek uygulanması önemlidir.

UOB oksidasyonunun ozon ile gerçekleştirilmesi, son yıllarda ülkemizde hızlı ve ucuz olması münasebetiyle tercih edilmektedir. Ancak, bu durum, kontrolsüz bir şekilde uygulamayı da beraberinde getirmiştir. Ozon-UOB reaksiyonunun incelenmesi, oluşacak UOB alt türleri ve oksidasyon verimi konusunda ülkemizde çalışma eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Farklı UOB türleri içeren gaz akımlarına ozon ile oksidasyon uygulayarak giderim verimlerini incelemektir. Ozonun güçlü bir oksitleyci olduğu bilinmektedir. Ancak, ozon uygulamasının UOB türlerinin gideriminde, başka faktörlerin etkisinin incelenmesi ve ozonlama ile oluşacak UOB türlerinin tayin edilmesi gerekmektedir.

UOB giderim yöntemleri arasında, bu tez kapsamında dikkate alınan sektör dalı; üretim sürecinde solvent kullanan tesislerdir. Plastik üretim endüstrisinde, polyester inceltici olarak stiren kullanımı veya yapışkan bant üretim tesisinde tolüen kullanımı örnek olarak verilebilir. Bu tesislerin proses bacaları göz önüne alınarak, bir deney düzeneği oluşturulmuş ve bu sistem

yardımıyla oksidasyonun çalışılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, düğme üretim tesisi hammaddesi, tolüen ve stiren solventleri kullanılarak, 20-25^{0}C sıcaklık şartlarında ozon ile etkileşimi araştırılmıştır. Böylece, ozonun UOB gideriminde bir yöntem olarak kullanılmasının avantaj ve dezavantajları ortaya konulup, ayrıca UOB türlerine nasıl etki ettiği incelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Sanayi Devriminin 18. yüzyılda başlaması ve buna bağlı olarak teknolojinin gelişmesiyle, dünyada insan nüfusunun artışı hiç olmadığı kadar hızlanmıştır. Artan dünya nüfusuna bağlı olarak, üretim de artmış ve gelişen çeşitli ihtiyaçlara cevap verecek endüstrilerin oluşmasına neden olmuştur. Böylece, endüstri faaliyetleri kaynaklı; gürültü kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği ve hava kirliliği meydana gelmiştir. Tüm bu kirlilikle mücadele etmek üzere, yıllardan beri çeşitli yöntemler geliştirilmiştir ve halen geliştirilmektedir.

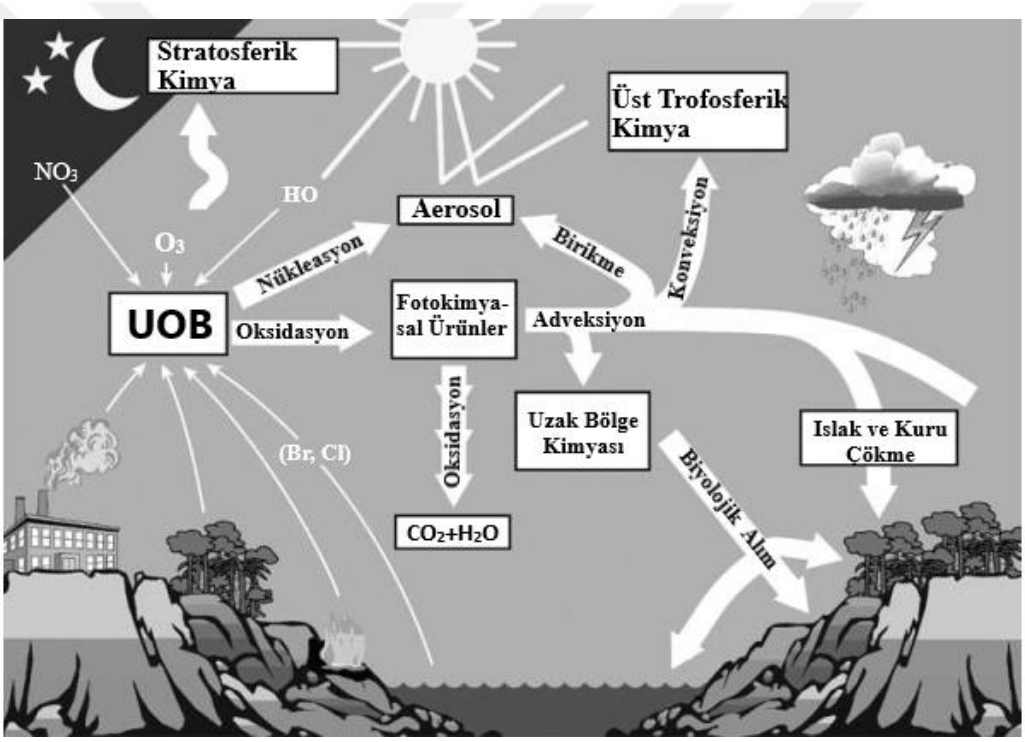
Hava kirliliği kaynakları, genel olarak doğal ve antropojenik kaynaklar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğal kaynaklar, antropojenik kaynaklara göre çok daha yüksek oranda atmosfere kirletici vermesine karşın, antropojenik kaynakların sebep olduğu kirlilik daha ciddi boyutlardadır. Çünkü doğal kaynaklar, mekânsal olarak global ölçekte yayılmıştır ve zamansal olarak uzun sürelidir. Bu nedenle; yağış-yaş birikim, okyanuslar ve toprak tarafından yapılan absorbsiyon/adsorsiyon gibi doğal temizleme mekanizmaları, etkin bir şekilde doğal hava kirliliğinin giderimini yapmaktadır. Antropojenik kaynaklı hava kirliliği ise, şehir ve sanayi alanı gibi dar yerlerde, zamansal olarak da kısa sürelidir. Günümüzde yerleşim merkezlerinin, sanayi tesislerine yakın olması nedeniyle, endüstri kaynaklı hava kirliliği, insan yaşamını etkilemektedir.

Hava kirleticilerini; uçucu kül, toz, mist, duman ve aerosoller gibi partikül maddeler ve azotoksitler (NO), kükürtdioksitler (SO_2), karbonmonoksitler (CO) ve hidrokarbonlar (HC) gibi gaz kirleticilerin oluşturduğu birincil kirleticiler adı verilen grup ile, fotokimyasal oksidantların (Ozon, PAN vb.) oluşturduğu ikincil kirleticiler adı verilen grup oluşturmaktadır. Birincil kirleticilerin kaynakları doğal ve antropojenik faaliyetler olmakla beraber ikincil kirleticilerin kaynakları ise, birincil kirleticilerin atmosferde reaksiyonudur.

2.1. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLER (UOB)

Uçucu organik bileşikler (UOB), endüstriyel ve kentsel alanlarda yer seviyesinde atmosferde yaygın olarak bulunan önemli bir kirletici gaz grubudur. UOB olarak nitelendirilen yüzlerce bileşik vardır. Ancak tanım olarak; atmosferik basınç ve sıcaklığın normal koşullarda olduğu durumda buharlaşmaları mümkün olan organik bileşiklerdir (URL1). Daha geniş bir tanım olarak ise elemental karbon, karbon monoksit ve karbon dioksit hariç atmosferde bulunan

herhangi bir karbon içeren bileşik olarak da nitelendirilebilir (Derwent ve diğ, 1995). Antropojenik ve doğal kaynaklar altında, birincil kirleticilerden olup, ikincil kirleticilerin oluşmasına da neden olurlar. Günlük hayatta UOB'ler, motorlu taşıt egzozlarından, solvent kullanımından, endüstriyel proseslerden, katı atık alanlarından, yemek ve tarım endüstrisinden yayılabilmektedir. Özellikle şehirlerde yüksek oranda insan aktivitesi kaynaklı UOB oluşmaktadır (Demir, 2011). Doğal olarak ise, bitkilerden, orman yangınlarından, hayvanlardan kaynaklanabilmektedir. Şekil 2.1'de Dünyada UOB'lerin kaynakları ve dönüşümü gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Dünyada UOB'lerin kaynakları ve dönüşümü (Williams ve diğ., 2007)

UOB'ler genel olarak, karbon (C) ve hidrojen (H) atomlarından oluşsa da bunların sayısı, aralarında yaptıkları bağ ve başka atomlarla birleşmeleri gibi özelliklerine göre farklı alt gruplara ayrılmışlardır. Bu gruplar, kaynama noktasına göre, molekül yapısına göre veya polarlığına göre olabilir (Zhu ve diğ., 2020). Genel olarak molekül yapısına göre önemli grupları ise, halojenli hidrokarbonlar, aromatikler, alkoller, ketonlar, alkanlar, alkenler, aldehitler ve polisiklik aromatik hidrokarbonlardır (PAH).

Halojenli hidrokarbonlar; içerisinde halojen grubundan (Flor, klor ve brom) atom içeren organik bileşiklerdir. Kloroform, tetrakloroetan, bromidiklorometan, klorobenzen, kloroflorokarbonlar gibi türleri bulunmaktadır. Bir yakıt rafinerisinde, koku oluşturan UOB'lerin yaklaşık %74'ü halojenli bileşikler olabilmektir (Han ve diğ., 2018). Aliağa'da bir petrokimya tesisi çevresinde yapılan bir ölçüm çalışmasında da, halojenli UOB'lerin toplam UOB'ler içerisindeki oranı %21,84'e kadar çıkmaktadır (Dumanoğlu ve diğ., 2008). Bunun yanında, kapalı yüzme havuzlarında yapılan bir çalışmada, dezenfeksiyon amacıyla kullanılan klorun, kloroform halinde, havuzu kullanan insanlar tarafından solunduğu ve insan sayısı arttıkça ortam havasındaki kloroform miktarının arttığı tespit edilmiştir (Chen ve diğ, 2011). Ülkemizde yapılan bir çalışmada da farklı iç ortamlarda yapılan UOB ölçümlerinde, özellikle temizlik malzemelerinin yoğun kullanıldığı alanlarda halojenli UOB'lere rastlanmıştır (Menteşe ve diğ., 2009).

Aromatikler, en az bir benzen halkasına sahip olan organik bileşikler olarak gruplandırılmışlardır. Temel olarak benzenin ve türevlerinin oluşturmasıyla beraber, tolüen, stiren ve ksilen gibi UOB türleri de aromatiktir. Petrol ve ürünleri kaynaklıdır. Türleri sanayide solvent olarak geniş bir alanda kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak, iç ve dış ortamda tespiti ve farklı yöntemlerle giderimi amacıyla yoğun olarak çalışılmaktadır. Bu tez kapsamında, tek benzen halkasına sahip iki tür UOB'nin ozon ile oksidasyonu incelenmiştir.

Alkoller, bir veya daha fazla hidroksil (-OH) grubunun, alifatik karbon atomuna bağlı olduğu organik bileşiklerdir. Metanol, Etonol ve İzopropanol gibi türleri dezenfeksiyon amacıyla kullanılır. Genellikle hastane iç ortamındaki konsantrasyonları diğer ortamlara göre yüksektir (Ruitiainen ve diğ., 2019; Baures ve diğ., 2018). Bunun yanında izopropil alkolün, bir baskı atölyesinde temizlik amacıyla kullanılması neticesinde oluşan emisyonları incelenmiştir. Buna göre, doğrudan baskı makinesi üzerine yerleştiren havalandırma fanlarının içerideki havayı dışarı atmasıyla izopropil alkol konsantrasyonu azalmıştır (Kiurski ve diğ., 2016).

Alkanlar, sadece karbon ve hidrojen atomlarından oluşarak aralarında tekli bağ yaptıkları bileşiklerdir. İçerdikleri karbon sayısına göre isimlendirilirler. Genellikle gaz halinde metan, etan, propan ve bütan gibi türleri mevcuttur. Enerji üretiminde kullanılırlar. Petrol ve gaz endüstrisi kaynaklıdır ve literatürde etan ve propan gibi türlerinin, bu endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan emisyonlar arasında yer alırlar (Wang ve diğ., 2019). Ancak şehir alanında yapılan bir çalışmada, atmosferdeki UOB türlerinin %34'ünü en büyük UOB grubu olarak

alkanlar oluşturmuş ve araç hareketi kaynaklı olabileceği belirtilmiştir (Yurdakul ve diğ., 2018).

Alkenler, alkanlardan farklı olarak içerisindeki karbon atomlarının çift bağ içerdiği organik bileşiklerdir. Alkanlarda olduğu gibi içerdikleri karbon sayısına göre isimlendirilirler. Eten, etilen, büten gibi yaygın kullanımdaki türleri vardır. Alkenler, alkanlarda olduğu gibi egzoz emisyonu kaynaklı olarak atmosfere yayılabilmektedir. Şehir atmosferinde, alkanlardan sonraki en büyük egzoz emisyonu kaynaklı UOB grubudur (Yurdakul ve diğ., 2018). Bunun yanında yakıt türlerine karşılık UOB emisyonları incelendiğinde, alkanlardan sonra LPG yakıtı emisyonlarında diğer yakıt türlerine karşılık %34,2 ile en büyük UOB grubudur (Hong ve diğ., 2017).

Ketonlar, bir karbonil grubuna bağlı olan iki adet karbon atomundan oluşmaktadır. En yaygın iki türü aseton ve metil etil ketondur. Aseton, endüstride yaygın olarak kullanılan bir solvent olmakla beraber kloroform, asetik asit eldesinde kullanılır. Bunun yanında metil etil keton sentetik reçine üretiminde kullanıldığından yaygın olarak üretim süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu duruma bağlı üretilen ürünler özellikle iç ortam hava keton konsantrasyonları açısından etkilemektedir. Bu nedenle özellikle yılın sıcak aylarında iç ortamdaki keton konsantrasyonları soğuk aylara göre yüksektir (Li ve diğ, 2019).

Aldehitler, ketonlardaki gibi bir karbonil grubuna bir karbon ve bir hidrojenin bağlanmasıyla oluşur. Dünya Sağlık Örgütü tarafından kansere neden olan kimyasal bileşikler arasında gösterilmiştir. Özellikle iç ortam hava kalitesi ölçüm çalışmalarında formaldehit konsantrasyonları önemli bir yer tutmaktadır. Buna bağlı olarak formaldehitin iç ortam havasında tespiti amcıyla literatürde yapılan birçok çalışma mevcuttur (Rovira ve diğ., 2019; Nielsen ve diğ., 2017; Dehghani ve diğ., 2019; Cong ve diğ, 2019).

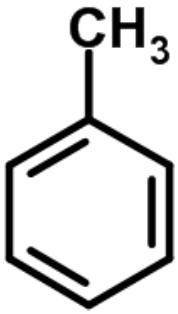
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), organik yakıtların yakılması sonucu oluşan yan ürünlerdir. Toplamda yüzden fazla olmakla beraber; naftalin, floren, asenaftalen ve piren gibi öncelikli kirletici olarak belirtilen on altı türü bulunmaktadır (Alver ve diğ., 2012). Genel olarak bu bileşiklerin geniş bir kullanım alanı yoktur. Bu nedenle endüstriyel proses kaynaklı emisyonları çok azdır. Kütahya'da yapılan bir çalışmada ölçülen PAH konsantrasyonlarının %48,9'u termik santral ve evsel ısınma kaynaklı, %47,3'ü egzoz emisyonlarıdır (Dumanoğlu ve diğ., 2017). Atmosferdeki PAH konsantrasyonlarını etkileyen en önemli faktörlerden biri

ısınma amacıyla yakıt kullanımıdır. Buna göre kış mevsiminde en yüksek PAH konsantrasyonları görülmektedir (Ma ve diğ., 2018). Egzoz emisyonu kaynaklı PAH konsantrasyonları incelendiğinde yakıt olarak dizel kullanımının benzin kullanımına göre daha çok emisyon oluşturduğu ve eski nesil dizel motorların; geliştirilen Avrupa normlarına göre yapılmış yeni nesil olanlarına göre daha fazla PAH emisyonu oluşturduğu söylenebilmektedir (Perrone ve diğ., 2014).

2.2. ÖNEMLİ UOB TÜRLERİ

2.2.1. Tolüen

Tolüen, çoğunlukla petrol kaynaklı ve insan yapımı aromatik bir hidrokarbondur. Formülü C_7H_8 olup benzen halkasına metil grubun eklenmesiyle oluşur (Şekil 2.2.) benzene benzer ağır bir kokuya sahiptir. Boya ve kaplama endüstrisinde, yapıştırıcı endüstrisinde ve ilaç endüstrisinde kullanılır. Uçucu olmasının yanında sıvı haldeyken renksizdir. Ayrıca yanıcı ve havada patlayıcıdır. Seyreltik asitler veya bazlarla reaksiyon oluşturmamaktadır ve aşındırıcı değildir. Tolüen, hidroksil radikalleri, atomik oksijen ve ozon ile tepkimeye girebilir. Saflaştırılmış hali %0,01'den az benzen içerirken, endüstriyel sınıf tolüen %25 oranına kadar benzen içerebilmektedir (Bauregard ve diğ., 1993).



Şekil 2.2: Tolüenin yapısı (URL2).

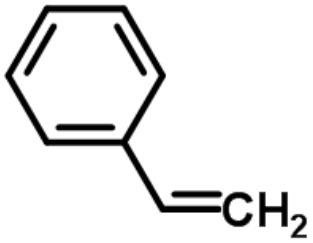
Tolüenin insan sağlığı üzerine etkileri incelendiğinde, beyin ve sinir sistemi üzerine etkileri olduğu söylenebilir. Tolüene maruz kalındığında baş ağrısı, baş dönmesi ve koordinasyon bozukluğu gerçekleşebilir. Uzun süreli maruziyet, kalıcı hasar oluşturabilmektedir. Hamilelik sırasında maruz kalınması durumunda, fetüs üzerinde gelişim geriliği gibi etkileri

oluşabilmektedir. Böbrek ve karaciğer üzerinde olumsuz etkileri de olabilmektedir. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansına (IARC) göre, toluenin insanlar üzerindeki kanserojen etkisinin sınıflandırılamaz olduğu belirtilmiştir (URL3).

Tolüenin kentsel alanlardaki en önemli kaynağı, trafik ve ısınmadır. Bunun yanında, endüstriyel faaliyetler de tolüen emisyonuna neden olmaktadır. Türkiye'nin birçok kentinde atmosferik UOB konsantrasyonları belirlenmiştir. Tolüenin kentsel dış ortam ortalama konsantrasyonu, İstanbul'da trafiğin yoğun olduğu alanda 2,27 ppb (Thera ve diğ., 2019), konutlaşma ve endüstrinin iç içe olduğu alanlarda ise 30,8 $\mu g/m^3$ (Demir ve diğ., 2011) olarak ölçülmüştür. Atmosferik tolüen ortalamaları İzmir'de kış aylarında 13,5 $\mu g/m^3$, yaz aylarında 15,39 $\mu g/m^3$ (Elbir ve diğ. 2007), Ankara'da 7,89 (Yurdakul ve diğ., 2013), Bursa'da 12,54-13,47 $\mu g/m^3$ (Civan ve diğ. 2011) olarak ölçülmüştür. Endüstriyel alanlarda ise Yalova'da ortalama 37,02 $\mu g/m^3$ (Tecer ve diğ, 2017) ve Kocaeli'de 35,51 $\mu g/m^3$ (Pekey ve diğ., 2011) olarak ölçülmüştür.

2.2.2. Stiren

Stiren, polistiren, akrilonitril - bütadien - stiren (ABS), stiren - izopren - stiren ve stiren - bütadien lateks ve kauçuklar gibi ticari olarak önemli birçok ürünün üretiminde hammadde olarak kullanılan en önemli aromatik kimyasallardan biridir (Fallah ve diğ., 2010). Formülü C_8H_8 olup, yoğun ve ağır bir kokuya sahiptir. Temel olarak benzen halkasına sahiptir (Şekil 2.3.). Yanıcılığı ve kolay polimerleşebilmesi nedeniyle soğuk olarak depolanmalıdır. Geniş bir kullanım alanı olduğundan, hammadde olarak kullanımından bertaraf edilmesine kadar, tüm süreçlerinde emisyonu oluşabilmektedir. Havada reaktifliği yüksek olduğundan, hidroksil radikalleri ve ozonla hemen tepkimeye girer. Stiren, ozon tarafından kolayca oksidasyona uğrayarak formaldehit, benzaldehit, benzoik asit ve formik asite dönüşür (Safriet ve diğ., 1993).



Şekil 2.3: Stirenin yapısı (URL 2).

Uzun süre stiren maruziyeti sonucu, solunum yollarında ve gözde tahriş olabilir. Bunun yanında baş ağrısı ve sinir sistemi etkileri yönüyle tolüenle benzerdir. Ancak kanser riski olarak, IARC tarafından insanlar için muhtemel kanser yapıcı madde olarak sınıflandırılmıştır (URL4)

Kentsel alanlarda atmosferik UOB ölçümlerinde stiren de bir parametre olarak ölçümekte ancak kosantrasyonları BTEX grubu UOB'lere göre düşük kalmaktadır. Stirenin ortalama kentsel konsantrasyonları İstanbul'da 1,5 μg/m^3 (Demir ve diğ., 2011), İzmir'de 0,63-7,33 μg/m^3 (Civan ve diğ, 2015), Ankara'da 0,41 μg/m^3 (Yurdakul ve diğ., 2012) ve Bursa'da 0,82-1,49 μg/m^3 (Civan ve diğ., 2011) olarak ölçülmüştür.

2.3. UOB'LERİN SAĞLIK ETKİLERİ VE SINIR DEĞERLERİ

Emisyon kaynaklarının oluşturduğu yer seviyesindeki UOB konsantrasyonlarının yükselmesi, insan sağlığını etkilemektedir. UOB'lerin birçok türü toksik ve uzun vadede kanserojendir. Yüksek konsantrasyonlarda kısa süre maruz kalındığında, gözlerde yanma, solunum zorluğu, baş ağrısı, baş dönmesi, uyuşukluk, tansiyon problemi; uzun sürelerde maruz kalındığında, üreme ve doğum problemleri, astım, anemi, bağışıklık sistemi bozulması, kanser ve ölüme varan etkilere neden olabilmektedir (Soni ve diğ., 2018). UOB'lerin zararlı etkilerini önlemek amacıyla ülkemizde ve dünyada, çalışma ortamında ve iç ortamda sınır değerler belirlenmiştir. UOB'ye maruz kalma süresine göre sınır değerler değişmektedir. Buna göre Tablo 2.1'de UOB'lerin sağlık etkileri ve iç ortam sınır değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Bazı UOB türlerinin sağlık etkileri iç ortam sınır değerleri.

Türler	Kısa süreli maruziyet[f]	Uzun süreli maruziyet[f]	Türkiye[d]		OSHA PELs [a]
			TWA (8 saat) (ppm)	STEL (15 dak.) (ppm)	TWA (8 saat) (ppm)
Tolüen	Baş ağrısı Baş dönmesi Bilinç kaybı	İşitme ve görme kaybı Bilişsel bozukluk Koordinasyon bozukluğu Gebelik sırasında veya doğum sonrası etkiler (erken doğum, gelişim bozukluğu)	50	100	200
Benzen	Uyuşukluk Baş dönmesi Baş ağrısı Hızlı kalp atış hızı Titreme Göz ve cilte tahriş Bilinç Kaybı Ölüm (10.000-20.000 ppm)	Kan hücrelerinde doku hasarı (kemik iliği, kan üretiminin bozulması, anemi) Sinir sistemi etkileri (bilinçsizlik) Bağışıklık sistemi etkileri Lösemi Kanserojen	1 ppm[c]	-	10
Etil benzen	Göz ve boğazda tahriş Baş dönmesi	İşitme hasarı Böbrek hasarı Kanser	100	200	100[b]
Formaldehit	Göz, burun ve boğazda tahriş	Solunum sistemi üzerine etkiler (Astım) Üreme sistemi üzerine etkiler Kanserojen	-	-	0.75[e]
Stiren	Renk görme Yorgunluk Sarhoş hissetme, Yavaş reaksiyon süresi Konsantrasyon ve denge sorunları	Kanserojen	-	-	100

Ksilenler	Cilt, göz, burun ve boğazda tahriş Nefes almakta zorlanma Akciğerlerin işlev bozukluğu Görsel bir uyarana gecikmiş cevap Zayıf bellek Mide rahatsızlığı Karaciğer ve böbreklerde olası değişiklikler Sinir sistemi etkileri Ölüm (çok yüksek seviyelerde)	Sinir sistemi etkileri (baş ağrıları, kas koordinasyonu eksikliği, baş dönmesi, konfüzyon ve kişinin denge hissinde değişiklikler)	50	100	100[b]
Kloroform	Yorgunluk Baş dönmesi Baş ağrısı	Karaciğer ve böbrek etkileri Kanserojen	2	-	50[b]

[a]; Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Permissible Exposure Limits (PELS) from 29 CFR 1910.1000 Z-2 Table

[b]; Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Permissible Exposure Limits (PELS) from 29 CFR 1910.1000 Z-1 Table

[c]; KANSEROJEN VEYA MUTAJEN MADDELERLE ÇALIŞMALARDA SAĞLIK VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİ HAKKINDA YÖNETMELİK, 6 Ağustos 2013 SALI, Resmî Gazete, Sayı : 28730, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ek-2'de belirlenen referans zaman aralığındaki, zaman ağırlıklı ortalama konsantrasyonu

[d]; KİMYASAL MADDELERLE ÇALIŞMALARDA SAĞLIK VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİ HAKKINDA YÖNETMELİK, 12 Ağustos 2013, PAZARTESİ, Resmî Gazete Sayı : 28733

[e]; California Division of Occupational Safety and Health (Cal/OSHA) Permissible Exposure Limits (PELs) from Table AC-1

[f]; (ATSDR) U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry https://www.atsdr.cdc.gov

UOB'lerin zararlı etkilerini önlemek amacıyla ülkemizde ve dünyada, emisyonda ve dış ortamda sınır değerler belirlenmiştir. Ülkemizde, 2008 yılında yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğine (HKDYY) göre UOB türleri içinde sadece benzen için sınır değer tanımlanmış ve yıllık olarak 5 $\mu g/m^3$'tür (HKDYY, 2008). Bunun yanında, endüstrinin UOB emisyonunu düzenlemek amacıyla, 2009 yılında yayınlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine (SKHKKY) göre atık buhar ve gaz emisyonları için belli periyotlarda ölçüm zorunluluğu getirilerek, sınır değerler belirlenmiştir. Yönetmeliğe göre, üç ayrı organik bileşik sınıfı belirlenerek, her sınıf için emsiyon sınırları oluşturulmuştur. Buna göre, birinci sınıf organik bileşikler için (0,1 kg/saat ve üzerindeki emisyon debisi) 20 $\mu g/m^3$, ikinci sınıf için (3 kg/saat ve üzerindeki emisyon debisi) 100 $\mu g/m^3$ ve üçüncü sınıf için

(3 kg/saat ve üzerindeki emisyon debisi) 150 µg/m^3'tür (SKHKKY, 2009). Buna göre, bazı UOB türleri için emisyon sınır değerleri Tablo 2.2'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2: Bazı UOB türleri için emisyon sınır değerleri (SKHKKY, 2009).

Türler	Sınır Değerler
Benzen	5 µg/Nm³ (Tablo 7.3.1)
Formaldehit	20 µg/Nm³
Kloroform	20 µg/Nm³
Tolüen	100 µg/Nm³
Etil Benzen	100 µg/Nm³
Stiren	100 µg/Nm³
Ksilen	100 µg/Nm³

2.4. UOB'LERİN GİDERİM YÖNTEMLERİ

UOB konsantrasyonlarını kontrol altına alabilmek amacıyla, proses ve ekipman düzenlenmesi, kontrol teknikleri olarak iki temel yaklaşım uygulanabilir.

2.4.1. Proses ve Ekipman Düzenlemesi

UOB emisyonlarını azaltmak için en çok kullanılan yöntemlerden biri, proses ve ekipman düzenlemesidir. Prosese UOB girişini azaltmak amacıyla hammaddelerin depolama şeklinin düzenlenmesi, UOB'lerin oluşumunu ve uçuculuğunu düşürmek amacıyla çalışma koşullarında yapılacak değişiklikler ve UOB sızıntılarını önlemek amacıyla gerekli önlemlerin alınması gerekebilir. Örneğin, aktif karbon adsorpsiyonunda, rejenerasyon sırasında sıcaklığın ve nemin arttırılmasının, rejenarasyon verimine olumlu etki edip, aktif karbonun daha uzun süre kullanımını sağlamıştır (Shah ve diğ, 2014).

Prosesin tasarımından itibaren UOB'lerin nasıl kontrol edileceği göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle, öncelik tasarım sürecinde öngörülmelidir. Ancak daha sonrasında, tasarımda öngörülmeyen bir problemle karşılaşılırsa uygulamada düzenlemeye gidilmelidir. Bakım ve onarım programları da bu adımda önemlidir. Bu süreçlerden sonra, gerekliyse kontrol yöntemleri tercih edilmektedir. Amaç her zaman UOB'lerin salınımını önlemektir (Khan ve diğ., 2000).

UOB konsantrasyonları optimum proses değişiklikleri yapılsa dahi, birçok endüstride emisyon sınır değerinin üstünde atmosfere salınabilmektedir. Çoğunlukla yapıştırıcı, polyester işleme, tekstil vb. endüstrilerde kurutma, laminasyon vb proses işlemleri kaynaklı emisyon akımlarında yüksek UOB'ler oluşmaktadır. SKHKKY'ne göre (Bölüm 2.3, Tablo 2.2) 5 µg/Nm³ 'ün üstünde olan UOB emisyonları giderilmek zorundadır. Bazen de bu UOB konsantrasyonları, sınır değerleri aşmayıp çevresel sorunlara neden olması sebebi ile giderilmesi gerekliliği oluşabilir. Örneğin, bazı UOB türlerinin koku problemi oluşturması nedeni ile özellikle kentsel alan içinde kalan emisyon kaynaklarından giderimi, insan ve çevre sağlığı için kaçınılmazdır. Bilinen en temel giderim mekanizmaları: adsorpsiyon, absorpsiyon, biyofiltrasyon, yakma, oksidasyon, yoğuşturma ve membran ayrıştırmadır. Aşağıda bu temel giderim mekanizmalarının detaylı bilgisi verilmiştir.

2.4.2. Adsorpsiyon

Günümüzde, UOB gideriminde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri adsorpsiyondur. Eğer, atık gaz akımındaki UOB türünün konsantrasyonu yüksekse ve geri kazanımı ekonomikse tercih edilen bir yöntemdir. %99 mertebesinde giderim verimi sağlamaktadır. Adsorbanın belli bir ömrü vardır ve belli bir rejenerasyon sayısından sonra değişim gerektirir. Bu nedenle, işletme maliyeti yüksektir.

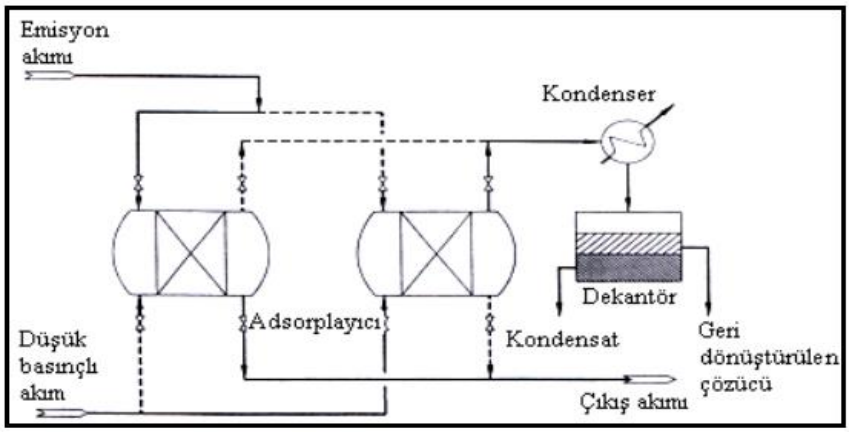
Adsorban olarak çoğunlukla karbon kullanılmakla beraber; silika jel, zeolit veya alüminyum oksit gibi materyaller kullanılabilmektedir. Tablo 2.3'de, UOB türlerine göre kullanılabilecek adsorban türleri verilmiştir. Çalışma prensibi olarak; UOB emisyonları, genellikle gözenekli aktif karbonla doldurulmuş bir adsorpsiyon kolonunun üstüne veya altına verilerek karbon yatağı boyunca dağıtılır. Çoğunlukla sabit yataklıdır. Geniş bir atık gaz akımı debisinde ve UOB konsantrasyon aralığında kullanılabilirler. Gaz akımı içerisindeki UOB konsantrasyonu değişimlerinden etkilenmesi sınırlıdır (Schnelle ve diğ., 2015). Şekil 2.4'de, adsorpsiyon sistemi görülmektedir.

Giderimi yapılacak UOB'lerin, türlerine göre adsorban seçiminin yanında seçilen türün de özellikleri önemlidir. Örneğin, diatomit, klinoptilolit ve paligorskit isimli üç mineral adsorbanın performanslarının denendiği bir çalışmada; poligorskit en yüksek adropsiyon kapasitesini göstermiştir. Bunun nedeni, spesifik yüzey alanı ve gözenek hacmi en büyük adsorban olmasıdır (Zhang ve diğ, 2019). Adsorbanda yapılacak modifikasyonlar da giderim

performansını etkilemektedir. Alkalilerle modifiye edilen granül aktif karbon sistemi asidik olanlara göre daha etklidir (Li ve diğ, 2011). Rejenerasyon şartlarının da performansa etki ettiği görülmüştür (Nahm ve diğ, 2012). Temel olarak adsorpsiyonu etkileyen faktörler: adsorban yüzey alanı, gözenek yapısı, adsorbanın fonksiyonel grubu, sıcaklık, nem ve akış hızı parametreleridir (Zhang ve diğ, 2017).

Tablo 2.3: Adsorban türüne göre adsorpsiyon prosesleri (Schnelle ve diğ., 2015).

	ADSORBAN			
	Aktif Karbon	**Alüminyum Oksit**	**Silika Jel**	**Moleküler Elek**
Koku	X			
Yağ	X	X	X	X
Hidrokarbonlar	X	X	X	
Florakarbonlar	X		X	
Klorlu hidrokarbonlar	X		X	
Organik Sülfür Bileşikleri	X	X		X
Solventler	X			
Nem	X	X	X	

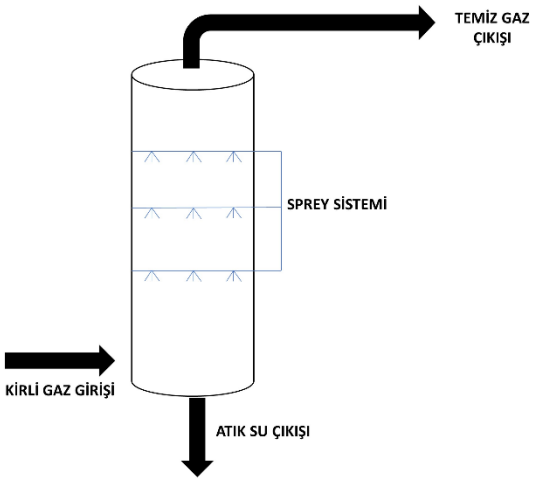


Şekil 2.4: Adsorpsiyon sistemi.

2.4.3. Absorpsiyon

Gaz halindeki UOB'nin, çözücü bir sıvı içerisinde çözünerek giderilmesi esasına dayanmaktadır. Atık gaz akımı bir kolana verilirken, aksi yönde spreyler ile damlacıklar halinde çözücü sıvı verilerek UOB absorblanır. UOB'li sıvı doygunluğa ulaşana kadar tekrar geri devredilebilir veya bertaraf edilebilir. Absorpsiyon sistemleri, yüksek verime sahip olup, geniş bir atık gaz debi ve UOB konsantrasyon aralığında kullanılabilir. Atık gazdaki nem muhtevasından etkilenmezler. Bunun yanında, atıksu oluşturma, giderim kolonunda kirlilik ve atık gazdaki bazı kimyasallarla reaksiyona girerek yeni kirleticiler oluşturabilme gibi dezavantajları vardır (Schenelle ve diğ., 2015). Şekil 2.5'de, sprey sistemli absorpsiyon sistemi verilmiştir.

Absorpsiyon prosesinde, seçilen absorbandın türü ile UOB'nin etkileşimi önemlidir. %5'lik bitkisel yağ (ayçekirdeği) su karışımından elde edilen absorbandın tolüen verimi %20-%50 arasındadır (Hariz ve diğ, 2017). Absorbandın yanında, yüzey alanını arttırabilmek amacıyla çeşitli yapılar da kullanılmaktadır. Silikon yağı-su karışımı absorbandında, rashing halkası yerine IMTP ve Flexipack gibi yapıların performansa daha olumlu etki ettiği görülmüştür (Guillerm ve diğ 2016). Ancak, tolüen gideriminde silikon yağını tek başına kullanmak da işletme maliyetlerini azaltmak amacıyla tercih edilebilir (Dumont ve diğ, 2011).



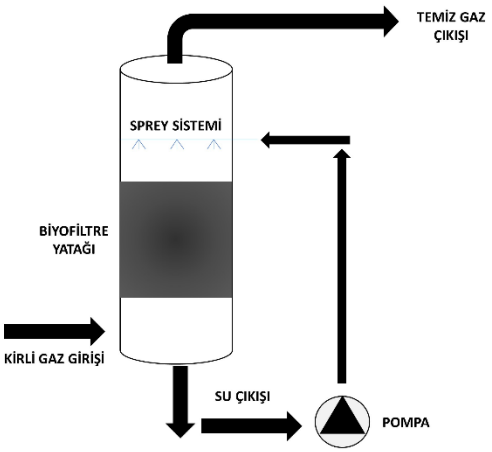
Şekil 2.5: Absorpsiyon sistemi.

2.4.4. Biyofiltrasyon

Genellikle kokulu UOB gideriminde kullanılırlar ve verimleri yüksektir. Ancak, çevre şartlarından etkilenme yönüyle hassastırlar. Sıcaklık, pH, besin yükü, atık gaz kirlilik yükü, nem miktarı ve oksijen seviyesi gibi parametrelerden etkilenmektedir (Tiwari ve diğ., 2019).

Fitrasyon işlemi iki ana prensibe dayanır. Kokulu gazlar, biyofiltre ortamının yüzeyine adsorbe olur ve biyofiltre parçacıkları üzerindeki nem filminde emilir. Filtrede yeterli bir biyolojik aktivite oranı göz önüne alındığında, emilen bileşikler daha sonra mikroorganizmalar tarafından bozunur (Malhatuier ve diğ., 2005). Hava kirleticilerinin tam biyooksidasyonundan elde edilen nihai ürünler CO_2, su, mineral tuzları ve mikrobiyal biyokütledir (Bajpai, 2018). Uzun ömürleri ve işletme maliyetinin nispeten düşük olmasıyla tercih edilebilirler. Özellikle, atıksu arıtım tesislerinde koku giderimi amacıyla yaygın olarak kullanılırlar (Witherspoon ve diğ., 2003). Tablo 2.4'de, Biyofiltrelerin UOB türlerine ve konsantrasyonlarına göre giderim verimleri gösterilmiştir. Şekil 2.6'da, biyofiltrasyon sistemi gösterilmiştir.

Biyolojik olarak kolayca parçalanabilen bileşenlere sahip düşük konsantrasyonlu atık gazlara uygulandığında, biyofiltreler, uygun bir yöntemdir. Ancak, halojenli hidrokarbonlarda kullanımı tavsiye edilmemektedir (Leson ve diğ., 2012)



Şekil 2.6: Biyofiltrasyon sistemi

Tablo 2.4: UOB tür ve konsantrasyonlarına göre biyofiltre giderim verimleri (Witherspoon ve diğ., 2003).

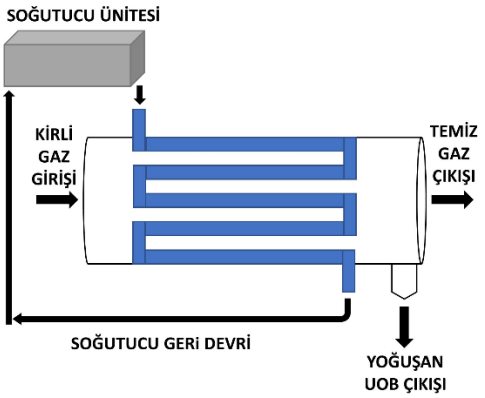
Kirletici	**Konsantrasyon (mg/m^3)**	**Giderim Verimi (%)**
Aseton	0.03-0.09	55
	0.01	78-90
	0.13	78-92
Benzen	0.01-0.24	25
	0.03	29-78
	3.0	83-95
	0.01	60-91
Toluen	0.07	82-95
	4.0	88-97
	0.1	90-98
Ksilen	0.15-0.71	0

0.4 (o-xylene)	88-91
1.1 (m.p. xylenes)	88-93
0.03 (o-xylene)	92-96

2.4.5. Yoğuşturma

Gaz akımı içerisinde UOB'lerin soğutularak sıvı faza geçirilmesi esasına dayanır. Daha sonra, sıvı fazdaki UOB sistemden toplanarak bertaraf edilir. Soğuk borular vasıtasıyla ısı transferi yapılarak gerçekleştirilir. Yüksek UOB konsantrasyonlu gaz akımlarında verimlidir. İşletmesi kolaydır. Elde edile solventin kullanılmasıyla, maliyet avantajı sağlayabilir. Şekil 2.7'de, bir yoğuşturma ünitesi şematik olarak gösterilmiştir.

Yoğuşturma sırasında, dolaşım maddesi olarak sıvı azot kullanılabilir. Kullanılan azotun ısısının düşürülmesi UOB giderim verimini arttırır. Ancak, yoğuşan UOB'nin donmamasına da dikkat edilmelidir (Gupta ve diğ., 2002). Düşük kaynama noktasına sahip bileşiklerde, hibrit sistem kullanılması gerekebilir (URL5). Bir yoğuşturma çalışmasında, UOB İçeren gazın sıcaklığı −90°C'ye düştüğünde, UOB emisyon konsantrasyonu, 45.17 mg/Nm^3 ve ek olarak, UOB geri kazanım oranı % 99,7 ve enerji tüketimi 35,67 kW'tır (Li ve diğ., 2020).



Şekil 2.7: Yoğuşturma ile UOB giderimi.

2.4.6. Membran Ayırma

UOB'nin geçmesini, ancak atık gaz içerisindeki temiz havanın geçmemesini sağlayan yarı geçirgen polimer yapı ile, UOB'den hava ayrılır. Ayırma işlemi membranın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Buna göre, büyük çaplı gözenekler seçiciliği azaltmaktadır (Aslan M., 2016). Yüksek basınç gereksinimi olabilir. Kirlilik yükü yüksek atık gazlar için uygulanır.

Membran yapısında klasik poliüretanın yanında nadir elementler kullanımı, membranın UOB tutma verimini üç kata kadar arttırır. (Ge ve diğ., 2017). Biyofiltrasyonla beraber kullanıldığında, fitrasyon verimliliğini %7-%9 oranında arttırmaktadır (Lelici´nska-Serafin ve diğ, 2019). Yoğuşturma sistemiyle beraber kullanımında, düşük kaynama noktalı UOB'lerin ayırımında performansı düşüktür (Belaissaoui ve diğ, 2015).

2.4.7. Oksidasyon

2.4.7.1. Termal Oksidasyon

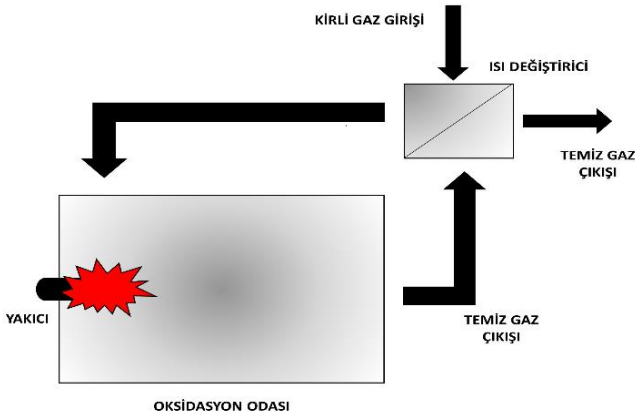
UOB'lerin yüksek sıcaklık (750-1150°C) altında yakılmasına dayalı bir yöntemdir. Ürün olarak CO_2 ve H_2O oluşması beklenir. Hava-yakıt oranının sağlanması ve UOB'li gazın yanma ısısına getirilmesi gereklidir. UOB'ler tek başlarına bu yanma prosesinde yeterli gelmeyebilirler. Bu nedenle, yardımcı yakıtla alevin devamlılığı sağlanabilir. UOB'lerin görece termal oksidasyon ile parçalanabilirlikleri Tablo 2.5'de verilmiştir. Yüksek verimli ve çoğu UOB türünde etkilidir. Ancak, kimi zaman CO ve NOx oluşumuna neden olabilir. Bunun yanında CO_2 ürünü de, bir sera gazı olarak küresel ısınma problemine katkıda bulunmaktadır (Yılmaz, 2006). Şekil 2.8'de, termal oksidasyon sistemi gösterilmiştir.

Uzun yıllardır UOB gideriminde kullanılması nedeniyle, termal oksidasyon yöntemleri gelişimini tamamlamış bir teknolojidir. Sisteme giren gazın, az enerji ile tutuşmasını temel alan, reküperatif termal oksidasyon ve rejeneratif termal oksidasyon olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

Rejaneratif termal oksidasyon, atık gaz akışının tutuşmasını sağlamak için gereken yüksek sıcaklıkları tolere edebilen, seramik bir malzemeden yapılmış, doğrudan temaslı ısı eşanjörleri kullanır. En yaygın kullanılan emisyon azaltma teknolojisi olduğu ve son zamanlarda, tüm termal oksitleyici uygulamalarının yaklaşık %80'inin rejeneratif olduğu bildirilmiştir (URL6).

Giriş gazı ilk olarak birinci sıcak seramik yataktan geçer. Böylece, akımın geçtiği yatak soğur ve giriş gazı ateşleme sıcaklığına kadar ısıtılır. İstenilen sıcaklığa ulaşılamazsa, yanma odasına az miktarda yardımcı yakıt eklenir. Sıcak gazlar, daha sonra yanma odasında reaksiyona girer ve ikinci seramik yataktan geçerken, çıkıştaki seramik yatak ısıtılır. Çıkıştaki seramik yatak, ayarlanan bir sıcaklığa ulaştığında, işlem akışı tersine çevrilmektedir (Sorrels ve diğ., 2017). Bu döngüsel işlem çok yüksek enerji geri kazanımı sağlar. Rejeneratif oksitleyiciler, iki veya daha fazla yataktan oluşabilir. Beş yataklı bir sistemin kullanıldığı dökümhanedeki koku giderimi %98 seviyesindedir (Nakayama ve diğ., 2008). Üç yataklı bir sistem için ise optimal çalışma parametreleri; 1 m/sn'lik yüzeysel hız, 2200 mg / m^3'lük UOB konsantrasyonu ve 60 sn'lik temas süresidir (Wang ve diğ., 2020).

Reküperatif termal oksidasyonda, rejeneratif istemden farklı olarak giriş yapan gazın çıkış yapan gaz ile aynı yerden geçmemektedir. Buna bağlı olarak, bir yatak sistemi yerine bir plaka veya boru ile ayrılarak, sadece ısının tranferi sağlanmaktadır. Plakalı eşanjörler, boru tasarımlarına göre daha düşük maliyetle yüksek verimli enerji geri kazanımı sunar. Ancak, gaz sıcaklıkları 500^0C'yi aştığında, boru tipi eşanjörler genellikle plaka tasarımlarından daha düşük satın alma maliyetlerine sahiptir. Ayrıca, plaka tiplerden daha uzun vadeli kullanım sunar. (Sorrels ve diğ., 2017). Reküperatif sistemlerle, çıkış gazındaki enerjinin % 70'ini geri kazanılabilir (Tomatis ve diğ., 2018). Temel avantajları şunlardır; ünitenin yüksek debilere göre küçük hacimde olması ve düşük UOB'li hava akışlarında çalışabilmesiyle beraber UOB konsantrasyonlarındaki değişikliklere toleransının bulunmasıdır (Salvador ve diğ., 2006).



Şekil 2.8: Termal oksidasyon sistemi.

Tablo 2.5: UOB türlerinin birbirlerine göre yanma ile parçalanabilirlikleri (Schenelle ve diğ., 2015).

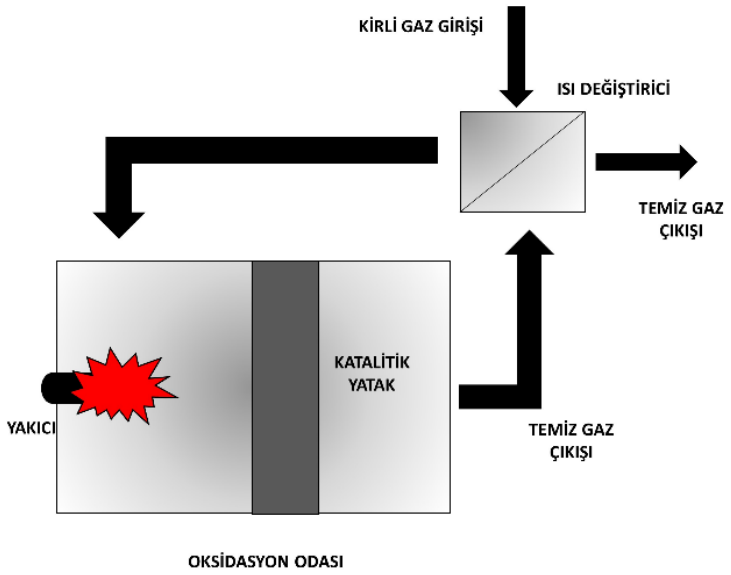
UOB	Parçalanabilirlik
Alkoller	Yüksek
Aldehitler	
Aromatikler	
Ketonlar	
Asetatlar	
Alkanlar	
Klorlu Hidrokarbonlar	Düşük

2.4.7.2. Katalitik Oksidasyon

Yapı olarak, termal oksidasyon ile neredeyse aynı olmakla beraber, katalizör yardımıyla daha düşük sıcaklıklarda çalışabilmektedir (250-500°C). Katalizörler, metal veya seramik malzemeden, örgü veya petek şeklinde olabilir. Amaç, yüzey alanını yükselterek katalitik aktiviteyi arttırmaktır. Çalışma şekillerine göre, termal oksidayona göre az enerji ihtiyacı vardır. Ancak, sülfür içeren UOB'ler nedeniyle oksidasyon sonrası asit oluşabilir. Bunun yanında, katalizörler klorlu UOB'ler karşısında verimli değildir (Revah ve diğ., 2005). Şekil 2.9'da, katalitik oksidasyon sistemi görülmektedir.

Farklı UOB türlerinin emisyonları için uygun katalizör seçimi, performansı etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Strien gideriminde seryum 300^{o}C'de katalitik aktiviteyi attırıcı etki gösterir (Xiao ve diğ., 2019). Bunun yanında, kobalt/seryum oranı 0.7 olduğunda vinil klorür gideriminde, en yüksek katalitik aktive gösterir ve 300^{0}C'de 110 saat stabil performansa sahiptir. (Wang ve diğ., 2017). Daha düşük sıcaklıklarda da katalizör yardımıyla yüksek

giderim verimleri mümkün olabilir (Yang ve diğ., 2019). Örneğin, Pt@M-Cr2O3 katalizörüyle %100 tolüen giderimi 144^0C'de sağlanabilir (Chen ve diğ, 2015).



Şekil 2.9: Katalitik oksidasyon sistemi.

2.4.7.3. Kimyasal Oksidasyon

Emisyon akımlarındaki UOB lerin türüne göre, seçilen birçok giderim mekanizması pratikte uygunmaktadır. Ancak temel sorun maliyettir. Bu nedenle, düşük maliyeti ve düşük emisyon akımlarındaki uygulanabilirliği nedeni ile kimyasal oksidanlar (Ozon gibi) son yıllarda uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Bu konuda yapılan pratikteki uygulamaların bilimsel yaklaşımlarla değil deneme yöntemleri ile ilerlediği gözlenmiştir. Bunun yanında birçok bilimsel çalışmada mevcuttur ve Bölüm 2.5.3'de detayları verilmiştir.

2.5. OZON İLE OKSİDASYON

2.5.1. Ozon Gazının Genel Tanımı

Ozon, molekül halindeki oksijene serbest yapıda oksijenin bağlanmasıyla oluşan triatomik bir yapıdır. Araştırmacı Van Marum tarafından 1781 yılında oluşan keskin kokusu fark edilmiştir. Ancak ozon, zamanın başlangıcından bu yana dünyayı oluşturan temel taşlardan biridir. Özellikle atmosferin katmanlarından biri olan stratosferde, molekül halindeki oksijen fotokimyasal olarak parçalanarak ozon oluşur ve güneşten dünyaya gelen zararlı ultraviyole

(UV) ışımasını engelleyici bir yapı oluşturur. Stratosferdeki bu ozon, strotosferik ozon olarak adlandırılır. Bir de yer seviyesinde bulunan troposferik ozon vardır. Yaşam alanları içinde oluşan bu ozon, atmosferik koşullar altında kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşur ve ikincil kirletici gaz olarak tanımlanır. Doğada şimşek ve yıldırımlar da oksijen atomlarını parçalayarak yer seviyesinde ozon oluşturabilir. Bir fırtına sonrasında ortamda oluşan karakteristik taze ve temiz hava kokusuyla kendini belli eder (Green ve diğ., 2012). Ancak yer seviyesinde oluşan ozon, reaktifliği nedeniyle kirletici olarak tanımlanır ve fotokimyasal smog oluşumuna neden olabilmektedir.

Marmara bölgesinde, yer seviyesinde ve yaz mevsiminde kırsal alanlarda ozon konsantrasyonları ortalama 93.0 ve 126.4 μg/m^3 kentsel alanlarda da 77.4 ve 117.8 μg/m^3 arasında değişmektedir (Kasparoğlu ve diğ., 2018). Düzce ilinde yaz aylarında 54,29 μg/m^3 (Bozkurt ve diğ., 2018), İstanbul'da ise 27,07 ile 123,27 μg/m^3 aralığındadır (Ercan ve diğ., 2019). Dünyada, Akdeniz'e kıyısı olan Avrupa şehirlerinde kırsal alanda ortalama 64.5 μg/m^3 ve kentsel alanda 51.8 μg/m^3 seviyesindedir (Sicard ve diğ., 2013). 8 saatlik otalama ozon konsantrasyonu Çin'de 74 μg/m^3 ile 200 μg/m^3 aralığında ve ortalama 138 μg/m^3 seviyesindedir (Maji ve diğ., 2019). Türkiye'de HKDYY'e göre ozon için uzun vadeli hedef sınır değer 120 μg/m^3'tür.

Yüksek aşındırıcılık etkisi nedeniyle ozon, canlılar üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. 8 saat boyunca 60 μg/m^3 konsantrasyonu bitkileri etkilemiştir. İnsanlarda ise, solunum yolllarında bozunma ve tahrişe, 1 saat boyunca 200 μg/m^3 konsantrasyona maruz kalma sonucunda neden olabilir (Özcan ve diğ., 2006). Kısa süreli ozon maruziyeti, akciğer fonksiyonlarında değişikliğe neden olmasa da, trombosit aktivasyonu ve kan basıncı artışına neden olabilmektedir (Day ve diğ., 2017). Ancak, uzun süreli maruziyette akciğere zarar verebilmektedir. Hindistan'da yılda ortalama on iki bin kişinin ozon kaynaklı KOAH hastalığı nedeniyle hayatını kaybettiği tahmin edilmektedir (Gehude ve diğ., 2016). Dış ortam ozon konsantrasyonundaki her 10 μg/m^3'lük artış için kardiyovasküler semptomlara bağlı ölüm, solunuma bağlı ölüm ve KOAH riski sırasıyla % 0,40, % 1,25 ve % 0,86 artmıştır. Ayrıca, sağlık etkilerinin % 88.8'i 100 μg/m^3'ten daha düşük ozon seviyesinde meydana gelmektedir (Khaniabad ve diğ., 2017). Ayrıca, ozon maruziyetinin bebek ölümleri ve erken doğumla ilgisi de incelenmektedir. Buna göre, 41 Avrupa ülkesinden alınan verilerle yapılan bir çalışmada yıllık 17.000 prematüre ölümün ozon maruziyeti kaynaklı olabileceği belirtilmektedir (Nuvolone ve diğ., 2016).

Oda sıcaklığında ozon, kararsız haldedir. Eğer kullanılacaksa yerinde üretilip kullanılmalıdır. Molekül halindeki iki oksijen atomunun arasındaki bağ, yüksek enerji yardımıyla kırılarak serbest haldeki oksijenin başka bir moleküle tutunmasıyla oluşturulur. Yüksek enerji kazandırma işlemi, korona deşarj veya UV (188 nm dalga boyu) ışık kaynağı ile gerçekleştirilebilmektedir.

Dünya atmosferindeki ozon, atomik oksijen ve moleküler oksijenin (Denklem: 2.1.) reaksiyonundan oluşur. Stratosferde, O_2'nin kısa dalga boyu UV radyasyonu ($\lambda \leq 240$ nm) ile fotolizi, atomik oksijen sağlar ve ozon tabakasının oluşturur. UV radyasyonu az olan troposferde, ($\lambda \leq 424$ nm) (Denklem: 2.2) dalga boylarında NO_2'nin fotolizi oksijen atomlarının birincil kaynağı haline gelir ve ozon oluşumuna neden olur. Oluşan ozon, tekrar NO_2 oluşumuna katılır (Denklem: 2.3) (Wang, T., ve diğ., 2017).

$$O + O_2 \rightarrow O_3 \quad (2.1)$$

$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O \quad (2.2)$$

$$O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2 \quad (2.3)$$

Bunun yanında, ortamdaki ozon su ile de etkileşime girebilir ve sonrasında radikaller UOB ile etkileşime girebilir (Denklem: 2.4 ve 2.5) (Fang ve diğ., 2017).

$$O_3 + * \rightarrow O_2 + O^* \quad (2.4)$$

$$O^* + H_2O \rightarrow 2OH^* \quad (2.5)$$

Atmosfere salınan UOB'lerde, bu reaksiyonlara girerek troposferik ozon seviyesini yükseltmektedir. Oluşan hidroksil radikali ile UOB tepkimeye girerek, peroksi radikallerini oluşturur (Denklem: 2.6) ve oluşan peroksi radikalleri NO ile tepkimeye girerek NO_2 oluşturur (Denklem 2.7). Bu durum, ozon molekülleri yerine peroksi radikalleriyle tepkimeye giren azot monoksit oluşturacağından, traposferdeki ozon miktarı artar (Demir, 2011).

$$RH + OH^* \rightarrow RO_2^* + H_2O \quad (2.6)$$

$$RO_2^* + NO \rightarrow RO + NO_2 \quad (2.7)$$

2.5.2. Ozonun Oksidasyonda Kullanımı

Ozon, özellikle içme suyu arıtımında bir sterilizasyon yöntemi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Ding ve diğ., 2019). Bunun yanında, endüstride ise yine atıksuların kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve renk gideriminde kullanılmaktadır (Hassaan ve diğ., 2017; Asaithambi ve diğ., 2017). Bu tez kapsamında ise incelenen uygulamalar bölüm 2.5.3'de anlatılmaktadır.

2.5.3. Literatür Özeti

UOB'ler, çoğunlukla antropojenik faaliyetler nedeniyle atmosfere verildiğinden, kentsel ve endüstriyel alanlarda, çok sayıdaki türüyle beraber, yer seviyesindeki önemli hava kirleticilerindendir. Tolüen, benzen, ksilen vb. gibi bazı türleri toksik ve kanserojendir. Bu türler, oda sıcaklığında buharlaşabilmektedir ve çoğunlukla gözle görülemediğinden, çevrede yayılmaları kolay olmaktadır.

UOB'lerin çeşitli türlerinin olması ve yaygın olarak kullanılması nedeniyle giderimi amacıyla, literatürde birçok yöntem kullanılmıştır. Geçmişten günümüze bu çalışmalar devam etmekte ve yoğun olarak sürmektedir. Bu tez kapsamında, ozon ile seçilen UOB türlerinin giderimi incelenmiştir. Bu konu kapsamında, literatürde bulunan yapılmış çalışmalar incelenmiş ve kısa bir değerlendirmesi aşağıda sunulmuştur.

Ulutaş ve diğ. (2018), bir atıksu arıtma tesisisin ünitelerinde oluşan kokunun kaynaklarını incelemişler ve ozonlama yaparak giderim verimlerini tanımlamışlardır. İncelenen gaz akımında 5.35 mg/m^3 monoaromatikler, 4.45 mg/m^3 alkanlar, 0.15 mg/m^3 ketonlar, 0.57 mg/m^3 alkoller ve 0.03 mg/m^3 asetonların mevcut olduğu belirlenmiştir. Kokunun temel kaynağının, alkanlar ve monoaramatikler olduğu anlaşılmıştır. Keton ve aseton türlerinde %100, alkanlarda %44, monoaromatiklerde %74 verim elde edilirken, alkol türlerinde verim elde edilememiştir.

Razei ve Soltan (2012) yaptıkları çalışmada, ozon-tolüen oranının 8,75 olduğu ve neredeyse yarı yarıya reaksiyon sitokiyometrisi olduğu durumda ozonun, asetik asit ve benzen gibi UOBlerin oluşumu nedeniyle sınırlayıcı reaktant olabileceğini ortaya koymuşlardır. Ozon-tolüen oranın 18,3 ve sıcaklığın 100°C olduğu durumda %100 karbon dengesi görülmüştür. Bu yeterli oksidasyon şartları sağlandığında CO'nun, reaksiyonun tek yan ürünü olduğunu göstermiştir. Ancak ozon-tolüen oranı sitokiyometrik olduğunda bile, tolüenin tam olarak

oksidasyona uğramadığını gösteren CO oluşumu tespit edilmiştir. Ayrıca, kullanılan katalizörün 65°C'den itibaren etkin olarak çalıştığı gözlenmiştir.

Benzen giderimi için yapılan başka bir çalışmada ise, benzen halkası üzerindeki metil grubunun, molekülün diğer kısımlarına göre daha aktif olması nedeniyle benzil alkol, benzofenon ve benzoik asit gibi ara ürünlerin oluşarak kısmi oksidasyona neden olabileceğini ve bunu önlemek için iyi bir katalizör ve reaksiyon sıcaklığı seçmenin yanında, ozon-UOB oranının arttırılmasının, UOB dönüşümünü arttıracağı ortaya koyulmuştur (Long ve diğ., 2011).

Çeşitli türlerde UOB'lerin gideriminde, ozonun yanında UV ışın kullanımında, sadece UV'nin kullanımının giderim veriminde önemli bir noktada olmadığı görülmüştür (Shen ve diğ., 1999; Shu ve diğ., 2018). Stiren gideriminin amaçlandığı bir çalışmada, 1.5 m/s giriş hızında stiren konsantrasyonu 100 ppm den 200 ppm seviyesine çıkarıldığında, giderim verimleri sırasıyla %75 ve %25 olmuştur. Giriş konsantrasyonunun artması verimi doğrudan etkilemiştir. Ozona ilave olarak UV lamba kullanımı ve lamba sayısının arttırılması ise, giderim verimini olumlu yönde etkilemiş ve buna göre, sırasıyla 20 ppm için giriş konsantrasyonu için %85 ve 200 ppm giriş konsantrasyonu için %45 mertebesine yükseltmiştir (Koci ve diğ., 2019).

Genel olarak literatürde yapılan çalışmalara göre düşük (10 ppm) konsantrasyonda UOB gideriminin araştırıldığı bir çalışmada, dokunmamış kumaş üzerinde MnO_2 kullanılan bir sisteme ozon verilmesiyle tolüen giderim verimi %35 seviyesinden %75'e çıkmıştır (Sekiguchi ve diğ., 2017).

Katalitik oksidasyon, karbon yatak ve sadece ozonlama sistemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, tolüen gideriminde birim alandaki verim yüksekliği, ara ürün oluşmaması gibi nedenlerle katalitik oksidasyonun avantajlı bir sistem olduğu belirtilerek, katalizör kullanımının, ozon yardımıyla oluşan OH^* radikallerinin tolüen ile reaksiyona girmesi için uygun ortamı gerçekleştirdiği belirtilmiştir. Oda sıcaklıklarında sadece ozon kullanımı ile verim; 20 ppm giriş tolüen konsantrasyonu için %31, 200 ppm giriş tolüen konsantrasyonu için %16'dır (Samarghandi ve diğ., 2014). Bunun yanında, katalitik ozonlama ile katalitik yanma arasındaki fark incelendiğinde, katalitik ozonlamanın, katalitik yanmaya göre düşük sıcaklıkta tam verimle gerçekleşmesi, düşük benzen konsantrasyonlarında daha efektif olması gibi nedenlerle oksidasyonun yakmaya göre daha avantajlı olduğu söylenebilir (Einaga ve diğ., 2011).

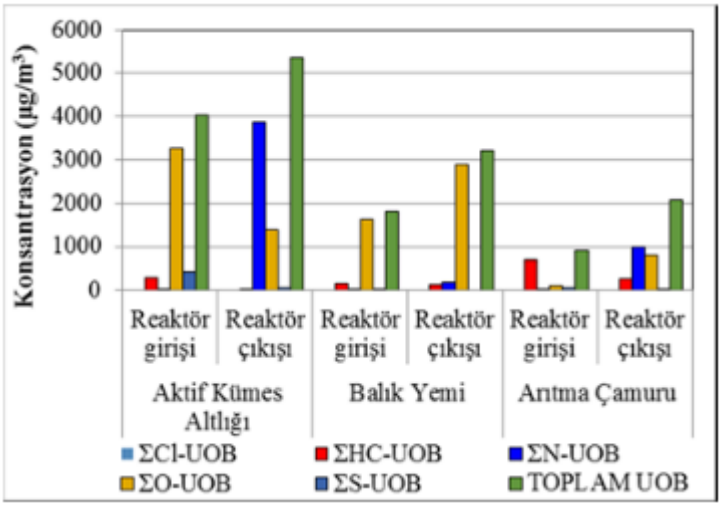
Ryu ve diğ. (2019) yaptığı çalışmada, farklı türde katalizörlerin ozon ile tolüen giderim verimi belirlenmiş ve yüzey alanının doğrudan giderim performansında etkili olduğunu ve metal oksit içeren bir katalizörün yüzey alanının arttırılmasıyla daha etkili olabileceğini belirtmiştir.

Huang ve Lin (2011) çalışmasında, tolüenin sahip olduğu aromatik halka nedeniyle parçalanmasının zor olduğu ve sadece fotokalitik oksidasyonun tolüen gideriminin %12 olduğu görülmüştür. Sisteme ozon eklenmesi ile verim %96 seviyesine kadar çıkmıştır. Bu değer, UV/O_3 kullanımı ile elde edilen verime göre yüksektir. Bunun yanında, ozon-fotokatalitik (O_3-PCO) sisteminde benzaldehit ve benzoik asit oluşurken, UV/O_3 sisteminde bu yapılar haricinde formik asit ve asetik asit oluşmaktadır.

Gopi ve diğ. (2016), ozon ile katalitik oksidasyonda tolüen giderim verimine nem etkisini incelemiştir. Reaksiyonlar sırasında nem mevcudiyetinin, yan ürün birikimini azalttığı ve oksidasyon kapasitesini arttırdığı belirtilmiştir. 13x zeolitinin katalizör olarak kullanıldığı bu çalışmada, nem mevcutiyetinin %0.01 olduğu gaz akımında tolüen miktarı %90'dan %60'a düştüğünde ozon miktarı %100'den %70'e düşmektedir. Gaz akımında nem mevcutiyeti %25 seviyesine çıktığında ise, tolüen seviyesi %95'ten %55'e indiğinde, ozon seviyesi %100'den %65'e inmiştir. Buna göre nem oksidasyona olumlu yönde etki etmiştir. Ancak nem miktarının çok yükselmesi, nemin katalitik aktif bölgelere etki ederek, reaksiyon üzerinde sınırlayıcı etkiye neden olabilmektedir. Bu etkiyi çözebilmek için nemin azaltılarak sıcaklığın yükseltimesi gereklidir (Huan ve diğ., 2015). Einaga ve Ogata'nın (2009) yaptığı çalışmada, benzen oksidasyonunda su buharı içeren gazda CO_x oluşumunun, su buharı içermeyen gaz akımına göre daha hızlı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca katalizörün ısıtılması, ara bileşiklerin ozon ile oksidasyonuna olumlu etkisi bulunmaktadır.

Kara ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada, arıtma çamuru, kümes altlığı ve balık yemi gibi maddelerin oluşturduğu UOB kaynaklı koku ve bu kokunun ozon ile gideriminde oluşan verim ve UOB türleri incelenmiştir. Buna göre, arıtma çamurunda hidrokarbon içeren UOB konsantrasyonları reaktör çıkışında, girişe göre azalma gösterirken, azot ve oksijen içeren UOB grupları reaktör çıkışında artış göstermiştir. Kümes altlığında ise reaktör çıkışında, girişe göre hidrokarbon, oksijen ve kükürt içeren UOB konsantrasyonları azalırken, azot içerikli UOB konsantrasyonları yükselmiştir. Balık yemi kaynaklı UOB konsantrasyonlarında, reaktör çıkışında hidrokarbon içeren UOB'lerde kayda değer bir etki görülmezken, geri kalan tüm UOB gruplarında artış görülmüştür. Üç farklı koku kaynağında da Toplam UOB konsantrasyonu

reaktör çıkışında artış göstermiştir. Şekil 2.10'da farklı UOB kaynaklarının ozon oksidasyonu ile konsantrasyonlarının değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Farklı UOB kaynaklarının ozon oksidasyonu ile konsantrasyonlarının değişimi (Kara ve diğ., 2018).

Maya endüstrisinde çoğunluğu UOB türlerinden kaynaklı koku gideriminde, gerçek boyutlu bir çalışmada farklı proses bacalarına ozon sistemi kurulduğunda, koku birimi (KB) cinsinden yaklaşık %95 giderim verimi elde edilerek, fotokatalitik oksidasyon ve biyoyıkayıcı gibi sitemlere göre verimin yanında, işletme ve yatırım maliyeti olarak daha uygun olduğu görülmüştür (Türker ve diğ., 2015; Şahin ve diğ., 2017).

Bir evsel atıksu arıtma tesisinde ozon ile koku giderimin yapıldığı başka bir çalışmada ise, tesiste oluşan kokuyu arıtmak için kullanılan ıslak arıtıcı sistemindeki suya ozon eklenmesinin, giderim verimini arttırdığı ve oluşan hidroksil (OH) radikallerinin koku oluşturan merkaptan ve metil-disülfid gibi UOB bileşiklerinde etkili olduğu belirtilmiştir (Kerc ve diğ., 2010).

Literatürde yapılan çalışmalar genel olarak incelendiğinde; ülkemizde yapılan çalışmaların çoğunluğunu, UOB kaynaklı kokunun giderilmesi amacıyla ozonlama sisteminin yapılması oluşturmaktadır. Evsel atıksu arıtma çamuru kaynaklı, gıda ve tarım endüstrileri kaynaklı kokunun giderilmesinde ozonlama sistemi kullanılmış ve verimli bulunmuştur. Ancak kimya, boya, yapışkan bant üretimi ve plastik üretimi gibi endüstrilerden kaynaklı UOB'nin giderilmesinde sadece ozon sistemin kullanımı ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Dünyada yapılan çalışmalar incelendiğinde ise genel olarak; UOB gideriminde sadece ozonlama sisteminin

yanında farklı katalizörler de denenmiş, ortamda şartların verimliliği nasıl etkilediği incelenmiştir.

Ülkemizde yönetmelik sınır değerlerinin düşürülmesi, çevresel problem oluşturmaları gibi nedenlerle UOB emisyonları son yıllarda sorun oluşturmaya başlamıştır. Çoğunlukla koku şikayeti söz konusu olduğunda sınır değerler uygun dahi olsa, insan ve çevre korunması ile giderim sistemi kurulması gerekli olmaktadır. Bu durumda, son yıllarda uygulama alanı bulan ve birçok sektörün faaliyet göstermeye başladığı hızlı ve ekonomik çözüm ozonlama olarak görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, sadece ozonlamanın seçilen iki endüstriyel alanda kullanılan solventler üzerinde etkisi incelenmiş ve optimum UOB giderim koşulları tanımlanmaya çalışılmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, düğme üretiminde ve yapışkan bant üretimde kullanılan solventler laboratuvar ortamında simule edilerek oluşan emisyonlardaki UOB'lerin O_3 ile oksidasyonu çalışılmıştır. Bu solventlerin endüstriyel kullanımında, düğme üretimi sırasında çoğunlukla Stiren, yapışkan bant üretiminde ise çoğunlukla Tolüen UOB türleri emisyon akımında bulunmaktadır. Düğme endüstrisi hammaddesini oluşturmak için, düğme üreten bir tesisten ilgili kimyasallar karıştırılmış halde alınmıştır. Aynı zamanda, toluen ve stiren içeren gaz akımını oluşturmak için, sıvı halde saf toluen (Merck, %99) ve stiren (Merck, %99) kullanılmıştır.

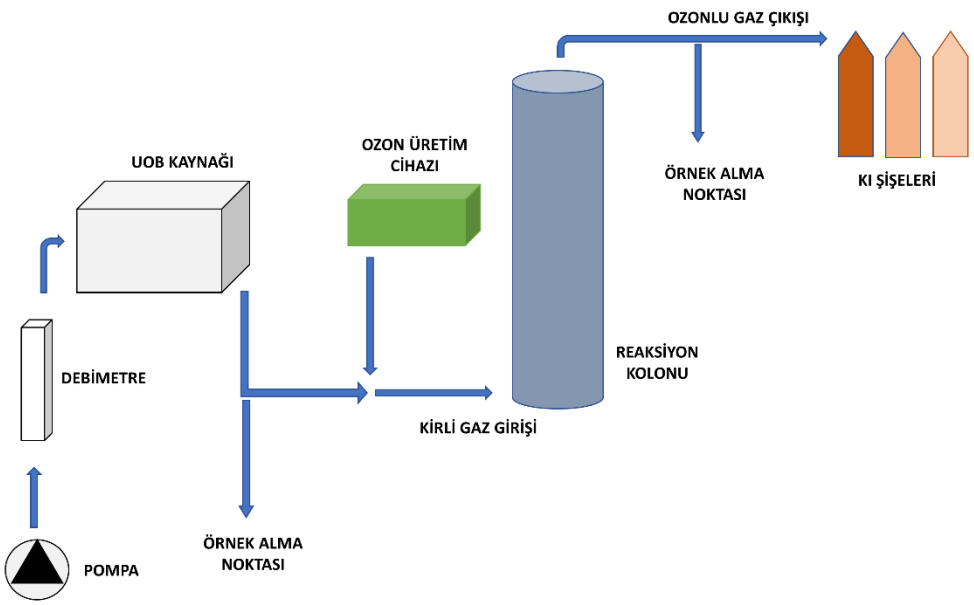
Ozon uygulanması ile gaz akımında UOB azalma veriminin tespit edilmesi amacıyla, bir deney sistemi tasarlanarak çalışmalar yürütülmüştür. Deneyler; UOB'nin dozlanması, solventin ozonla buluşması ve ölçümlerin yapılması olarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir.Yapışkan bant üretimi ve düğme üretimi örnek alınarak seçilen Toluen ve Stiren için ayrı ayrı emisyon akımı oluşturma uygulaması tasarlanmıştır. Emisyon akımı haline getirilen gaz akışının, UOB konsantrasyonlarının zamanla değişimi takip edilmiştir. Sabitlenme anlarında ozon uygulaması yapılarak UOB konsantrasyonlarındaki azalma takip edilmiştir. Deney düzenekleri ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 3.1'de, kullanılan cihazlar ve düzenekler Bölüm 3.2'de tanımlanmıştır.

3.1. DENEY DÜZENEĞİ

3.1.1. Buharlaşma ile UOB oluşumu Deney Düzeneği

Şekil 3.1'de düğme üretimi hammaddesiyle yapılan çalışmalarda kullanılan sistemin deney şeması gösterilmiştir.

Düğme üretiminde %90'ı (Ayvaz ve diğ., 2018) stiren olan bir solvent karışımı kullanılmaktadır. Bu solvent karışımı, İstanbul'da düğme üretimi yapan bir firmadan temin edilmiş ve tesisteki kullanım şekli üretim yapılan tesis ziyaret edilerek gözlenmiştir. Solventin, tesis iç ortam havasına açık alanda uygulamalar ile karışabildiği ve havalandırma sistemi ile havalandırma emisyon akımından atmosfere verildiği gözlenmiştir. Bunun yanında tesis içinde düğme şekillendirme (ısıl işlem, kesme vb.) için yapılan proseslerden atılan proses bacalarından yüksek miktarda UOB emisyonu atmosfere verilmektedir. Emisyon akımında oluşan UOB bileşenlerini oluşturabilmek için kullanılan solventler bu tesisten temin edilmiş ve deneysel çalışmalarda proseste kullanıldığı karışımlarda kullanılmıştır.



Şekil 11: Düğme üretimi hammaddesiyle (stiren) yapılan deney sistemin şematik gösterimi.

Sistemde UOB içeren bir gaz akımı oluşturmak amacıyla, düğme üretiminde kullanılan hammadde karışımından 1 ml alınmıştır. Bu karışım, camdan yapılan bir kaba (Karışım ünitesi) konularak ortam havası ile karışması sağlanmıştır. 1 l/dk, 3 l/dk ve 6 l/dk olmak üzere üç farklı debide hava, karışım ünitesinden geçirilerek emisyon akımı oluşturulmuştur. Böylece, hammaddenin oluşturduğu UOB ile hava motorunun dışarıdan çektiği dış ortam havasının homojen olarak karışması sağlanmıştır. Sabit bir UOB akışı sağlamak amacıyla, Honeywell marka MultiRAE Pro model UOB ölçüm cihazı ile anlık olarak ppm cinsinden konsantrasyon takip edilmiştir.

Karışım ünitesinin üst tarafındaki çıkış yardımıyla, homojen olarak karışmış gaz akımı bir sonraki hatta verilmiştir. Bu hat üzerinde, UOB'li akıma ozon verilmesi için ayrı bir bağlantı bulunmaktadır. Bu bağlantı yardımıyla, farklı debilerde UOB'li gaz akımlarına 30 saniye boyunca toplamda 4.3 mg ve 1 dakika boyunca toplamda 8.6 mg ozon verilmiştir. Böylece ozon ve UOB'li gaz akımı, deney tipine ve reaksiyon süresine göre hazırlanmış reaksiyon kolonuna gönderilerek homojen şekilde ozon ile tepkimeye girmesi sağlanmıştır. Tepkimeye giren gaz akımı, sistemden çıkış yaptıktan sonra, MultiRAE Pro ölçüm cihazı yardımıyla anlık olarak

ppm cinsinden UOB konsantrasyonu takip edilmiştir. Deneyler oda sıcaklığında (20-25^{0}C) yapılmıştır.

Çıkış yapan gazda reaksiyona girmeyen ozonu tespit etmek ve çalışma ortamına yayılımını önlemek amacıyla, Amerikan Halk Sağlığı Kurumunun yayınladığı 2350 E Yarı-Kesikli Yöntem olan iyodimetrik ölçüm metotu ile ozon ölçümü yapılmıştır (APHA, 1999). Reaksiyona girmeyen ozonu tespit etmek amacıyla, sistemin çıkışına art arda üç adet olmak üzere gaz yıkama şişesi konulmuştur. Standarda göre potasyum iyodür (KI) çözeltisi hazırlanarak, gaz yıkama şişelerine konulmuştur. Sonrasında örneklere, 10 ml seyreltik hidroklorik asit (HCl) eklenmiştir ve 0,005N sodyum tiyosülfat ($Na_2S_2O_3$) ile titre edilmiştir.

Oluşmuş sarı rengin açılması gözlendikten sonra, nişasta indikatörü eklenmiştir ve çözelti saydam renk alana kadar titrasyona devam edilmiştir. Toplam sodyum tiyosülfat sarfiyatı üzerinden, denklem 3.1 kullanılarak ozon miktarı bulunmuştur.

$$\text{Ozon dozu, mg/dak} = \frac{(A+B)\ x\ N\ x\ 24}{T} \qquad (3.1)$$

A= Sarı renk açılana kadar ki titrasyon, ml.

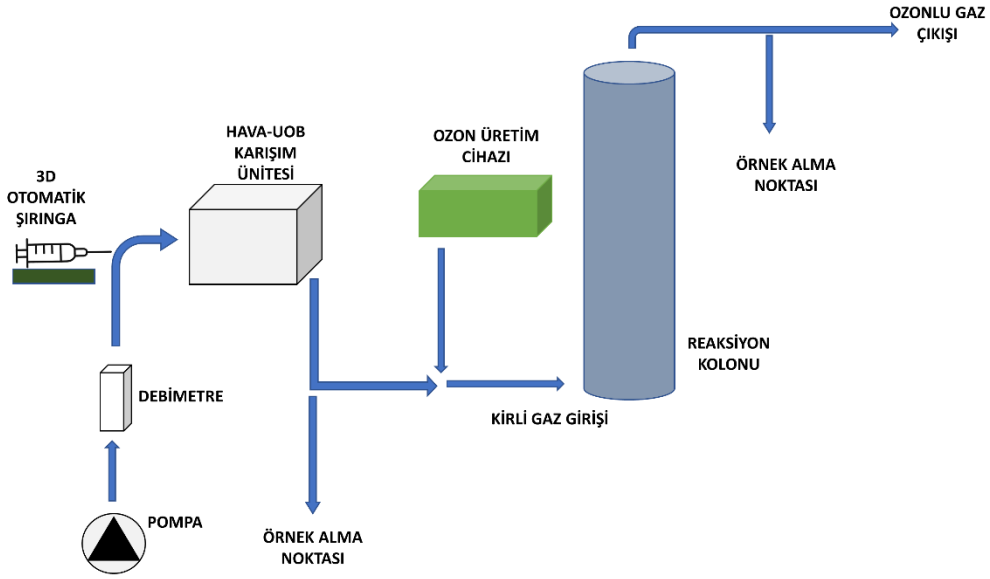
B= Nişasta indikatörü eklendikten sonra saydam renk özlenen kadar titrasyon, ml.

N= $Na_2S_2O_3$ çözeltisinin normalitesi, ve

T= Ozon verilme süresi, dk.

3.1.2. Şırınga ile UOB Dozlama Deney Düzeneği

Çalışmanın ikinci aşamasında, toluen ve stiren otomatik şırınga ile sisteme sıvı halde verilmiştir. Şekil 3.2'de sistemin şeması gösterilmiştir. Otomatik şırınga, 0.3 ml/saat UOB dozlayacak şekilde çalıştırılmıştır. Şırınga ile alınan solvent, şırınganın ucundaki iğne yardımıyla hatta dozlanmıştır. Bu esnada, hava motoru 3 l/dk hava ile çalışmaktadır. Bu dozlama sistemi daha önce yapılan çalışmalarda tanımlanan deneysel düzenekler örnek alınarak tasarlanmıştır (Razei ve diğ., 2016; Moussavi ve diğ., 2013; Gopi ve diğ., 2016).



Şekil 12: Şırınga ile UOB'nin dozlandığı deney sistemi.

UOB ile havanın homojen olarak karışması için, cam malzemeli bir karışım ünitesi kullanılmıştır. Birinci deney düzeneğinde olduğu gibi burada da ozonlama öncesi UOB konsantrasyonun seviyesinin zamanla değişimi, UOB ölçüm cihazı ile takip edilmiştir. Bu değerler ozonla reaksiyonda, ozonun giderim verimini bulmak için deney düzeneği arka plan konsantrasyonu olarak kullanılmıştır. Daha sonra ise ozon beslemeli UOB'li gaz akımı, deney tipine ve temas süresine göre hazırlanmış reaksiyon ünitesine gönderilerek homojen şekilde ozonla tepkimeye girmesi sağlanmıştır. Tüm deneyler süresince portatif UOB ölçüm cihazı ile ölçüm alınmaya devam edilmiştir.

Oluşturulan sisteme giriş konsantrasyonunu belirlemek amacıyla, ozon dozlanmadan önce 10 dakika süre ve 0.25 l/dk debi ile paralel olarak aktif karbon tüplerine 3 adet örnek alınmıştır. Daha sonra, sisteme ozon verilirken yine 10 dakika süre ve 0.25 l/dk debi ile paralel olarak aktif karbon tüplerine 3 adet örnek daha alınarak giriş ve çıkış örneklemesi tamamlanmıştır.

Alınan örnekler, GC-FID cihazı ile analiz edilip, giriş ve çıkış konsantrasyonları tayin edilmiştir. Katalog taraması yapılarak UOB türleri belirlenmiştir. Aktif karbon tüplerine Tablo 3.2'deki programa göre alınan örnekler, analiz amacıyla Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarına gönderilmiştir.

Tablo 3.2: UOB türüne göre aktif karbon tüplerine alınan örnekler.

UOB	Akış Hızı (l/dk)	Temas Süresi (s)
Stiren	3	6
		20
		30
Tolüen	3	6
		20
		30

3.2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZ VE MALZEMELER

3.2.1. Hava Motoru

Deney sırasında UOB'li akım oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Hava çıkış kısmında bulunan akrilik debimetre ile hava akış hızı 0 ile 6 l/dk aralığında ayarlanabilir olup, bu aralıklarda çalışılmıştır. Şekil 3.3'de, deneyler sırasında kullanılan hava motoru gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Deneyler sırasında kullanılan hava motoru.

3.2.2. Ozon Üretim Cihazı

Sisteme sağlanacak ozonun temin edilebilmesi için, PCS Elektronik tarafından geliştirilen ve yerli üretim olup CE belgesi olan Ozonmatik Portomatik Multi cihazı kullanılmıştır. Cihaz, koku, UOB giderimi ve dezenfeksiyon amacıyla iç ortamlarda kullanılmaktadır. Havadaki oksijeni, korona deşarj yöntemi ile ozona dönüştüren cihazın, ürettiği ozon miktarı ortalama 8.6 mg/dk mertebesindedir (Ayvaz ve diğ., 2018; URL7). Şekil 3.4'de Ozonmatik Portomatik Multi Cihazının bir fotoğrafı verilmiştir.

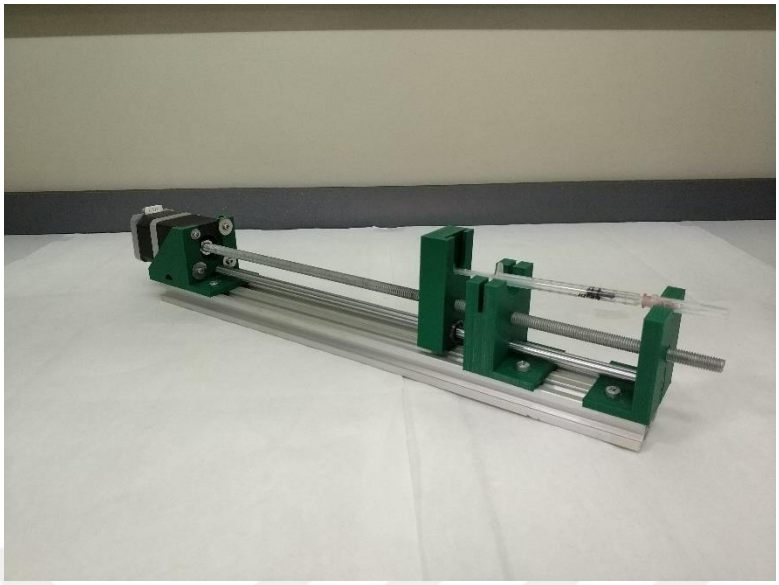


Şekil 3.4: PCS elektronik Ozonmatik Portomatik Multi cihazı.

3.2.3. Elektronik Şırınga Pompası

Dozlamanın ikinci uygulamasında, hava akışına toluen ve stirenin dozlanması elektronik şırınga pompası kullanılarak yapılmıştır. Şırınga parçaları 3 boyutlu yazıcı kullanılarak (Creality Ender-3 Pro) bastırılmıştır. Şırınganın hareketini sağlayacak yazılım, Arduino geliştirme ortamında açık kaynaklı olarak hazırlanmış ve Arduino Uno'ya yüklenmiştir. Step motor sürücü kartı olarak EasyDriver A3967 kullanılmıştır (URL 8; URL 9).

Farklı hacimlerde kullanılan şırıngalar veya Arduino kodunda yapılan değişiklerle, pompanın çalışma hızı ayarlanabilmektedir. Deneyde gerçekleştirilen toluen ve stiren dozlaması, buharlaşmayı sağlayabilmek amacıyla 0.3 ml/saat mertebesindedir. Şekil 3.5'de, yapılan elektronik şırınga pompa gösterilmektedir.



Şekil 3.5: 3 boyutlu yazıcı ile yapılmış elektronik şırınga pompa.

3.2.4. MultiRAE UOB ölçüm Cihazı

Deneyler sırasında UOB ölçümü, Honeywell marka MultiRAE Pro model ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Cihaz, portatif, kendinden pompalı ve hafızasına kayıt yapabilen bir cihazdır. Cihazın UOB ölçüm aralığı 0-5000 ppm ve hassasiyeti 0.1 ppm mertebesindedir. Cihaz, fotoiyonizasyon sensörüyle (PID) ölçüm yapmaktadır. Bununla birlikte cihaz, altı çeşit sensöre kadar konfigüre edilebilmektedir. 0-20 ppm ölçüm aralığında ve 0.1 ppm hassasiyetle NO, NO_2 ve SO_2 ölçümü de yapabilmektedir.

Deney sırasında, cihazın üst kısmında bulunan emiş aparatı hat üzerine ölçüm noktalarına takılmıştır. Cihaz kendi pompası ile 0.8 l/dk emiş yaparak, üzerinde bulunan UOB sensörü sayesinde, ölçülen konsantrasyonlar ppm olarak kaydedilmiştir. Dış ortamdan herhangi bir girişim (UOB vs.) olmaması için, cihaz her ölçümden önce kalibre edilmiştir. Şekil 3.6'da anlık UOB ölçümü için kullanılan cihaz gösterilmiştir.



Şekil 3.6: UOB ölçümü amacıyla kullanılan cihaz.

3.2.5. Deneylerde Kullanılan Cam Malzemeler.

Deneyler sırasında UOB ve havanın karışması için cam erlen, UOB içeren hava ile ozonun karışması için ise gaz yıkama şişeleri kullanılmıştır. Şekil 3.7'de deneyler sırasında kullanılan cam malzemeler gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Deneylerde kullanılan cam malzemeler.

3.2.6. Deneylerde Kullanılan Kimyasallar

Deney sırasında, reaksiyona girmeyen ozonu takip edebilmek amacıyla,

- potasyum iyodür,
- sodyum tiyosülfat,
- nişasta indikatörü ve
- hidroklorik asit kullanılmıştır. Şekil 3.8'de, deneylerde kullanılan kimyasallar gösterilmiştir.



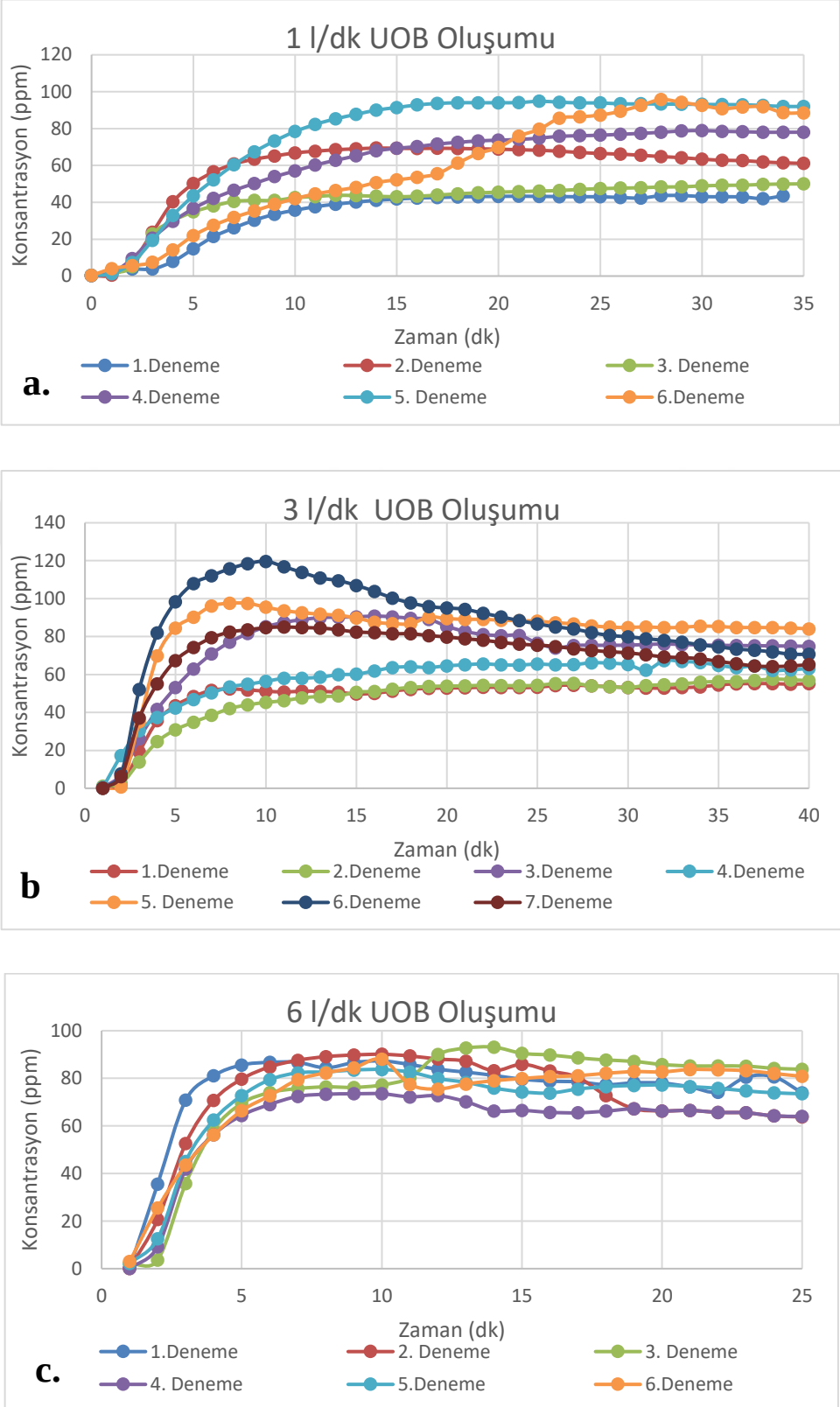
Şekil 3.8: Deneylerde kullanılan kimyasallar.

4. BULGULAR

4.1. DENEY DÜZENEKLERİNDE UOB OLUŞUMUNUN İNCELENMESİ

Bir düğme üretim tesisinin üretim aşamasında kullanılan solvent sıvısı, pipet yardımı ile 1 ml alınarak bir petri kabına aktarılmıştır. Daha sonra petri kabı, cam bir erlen içerisine üstü açık şekilde yerleştirilmiştir. Bu çalışma ile solventin kapalı ortam şartlarında, UOB oluşturma miktarı ve hızı belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir deney en az 6 kez benzer koşullar için tekrarlanmıştır.

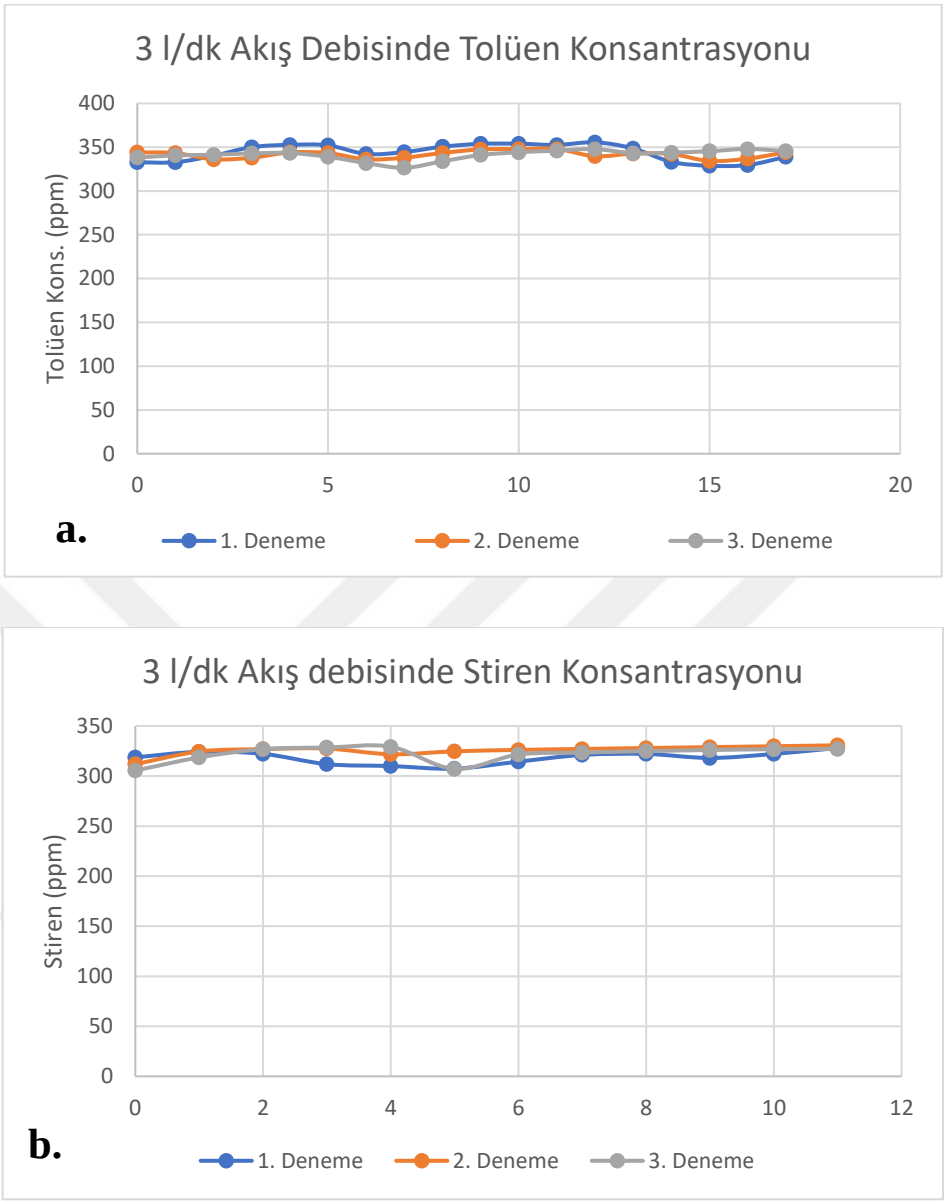
1 ml örneğin oluşturacağı UOB miktarı, sırasıyla 1,3 ve 6 l/dk hava akış debilerinde PID sensörü yardımıyla takip edilmiştir. Üç farklı hava akış debisine ait UOB oluşum hızları Şekil 4.1'de gösterilmiştir. l/dk hava akış debisine göre yapılan 6 denemenin konsantrasyon değişimi, ortalama 15 dakikada pik noktasına ulaşmaktadır. Her bir denemede, konsantrasyonlar pik noktasına ulaştıktan sonra sabit bir seviyede ilerlemektedir. Eğrilerin sabitlendiği aşamada, en düşük konsantrasyon 43 ppm, en yüksek konsantrasyon ise 92 ppm seviyesindedir. Buna göre, konsantrasyonların geniş bir aralıkta sabitlendiği görülmüştür (Şekil 4.1.a). 3 l/dk hava akış debisinde yapılan 7 denemenin konsantrasyon değişimi, 5-10 dakika arasında pik noktaya ulaşmıştır. 6. denemeye ait konsantrasyon değişiminin bu süre içerisinde, 120 ppm seviyesine ulaşarak en yüksek değeri aldığı görülmüştür. 10-15 dakikalık süre içerisinde tüm eğrilerin pik noktadan düşüşe başlamış ve sonrasında yatay seviyede devam etmiştir. Deney süresi sonunda, sabitlenen en düşük konsantrasyonun 55 ppm, en yüksek konsantrasyonun ise 84 ppm seviyesinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.1.b.). 6 l/dk akış debisinde yapılan 6 denemenin UOB üretim hızı incelendiğinde ise, 5 dakikalık süre içerisinde konsantrasyon değişimlerinin en yüksek seviyeye ulaştığı, sonrasında sabit bir doğrultuda devam ettiği gözlenmiştir. Sabitlenme durumundaki en düşük konsantrasyon 64 ppm, en yüksek konsantrasyon ise 84 ppm seviyesindedir (Şekil 4.1.c).



Şekil 4.1: Akış debisine göre l/dk (a.), 3 l/dk (b.) ve 6 l/dk (c.) UOB oluşum hızları.

Deneyler sonucunda, üç farklı hava debisinde oluşan UOB konsantrasyonları incelendiğinde, en hızlı pik seviyeye ulaşarak sabitlenen debiler sırasıyla 6 l/dk, 3 l/dk ve 1 l/dk'dır. Aynı şartlarda hava akış debisinin artması, UOB konsantrasyonun pik noktaya ulaşmasını ve sabitlenme sürecini hızlandırmıştır. Bununla birlikte, sabit konsantrasyonlara ulaşıldığında, hava akış debisinin artmasıyla beraber, denemeler arasındaki ortalama konsantrasyon farkları da azalmıştır. 1 l/dk hava akış hızında sabitlenen en düşük konsantrasyon ile en yüksek konsantrasyon arasında yaklaşık 49 ppm bulunmaktadır. Bu değer, 3 l/dk hava akış hızında yaklaşık 39 ppm ve 6 l/dk hava akış hızında yaklaşık 20 ppm olarak gerçekleşmiştir. Hava akış hızı arttıkça, birbirine daha yakın sabit konsantrasyonlar elde edilmiştir. Hava akış hızının yavaşlaması, daha geniş aralıkta konsantrasyonların oluşmasına neden olmuştur. Bu durum, çevresel faktörlerin (sıcaklık, örnek numunenin cam erlen içerisindeki yerleşimi vs.), deneyin kontrol edilebilirliğini etkilemesine neden olabilir. Hava akış debisinin artması, çevresel faktörlerden daha az etkilenen ve böylece birbirine daha yakın konsantrasyonların oluştuğu bir durum ortaya çıkarmaktadır. UOB kaynağının üzerinden geçen hava akımı, karışımın sağlandığı cam erlen içerisinden daha kısa sürede geçmektedir. Buna rağmen, debinin yüksek olması cam erlen içerisindeki türbülansı arttıracağı öngörülmektedir. Böylece, karışım hızlı ve homojen şekilde gerçekleşmektedir.

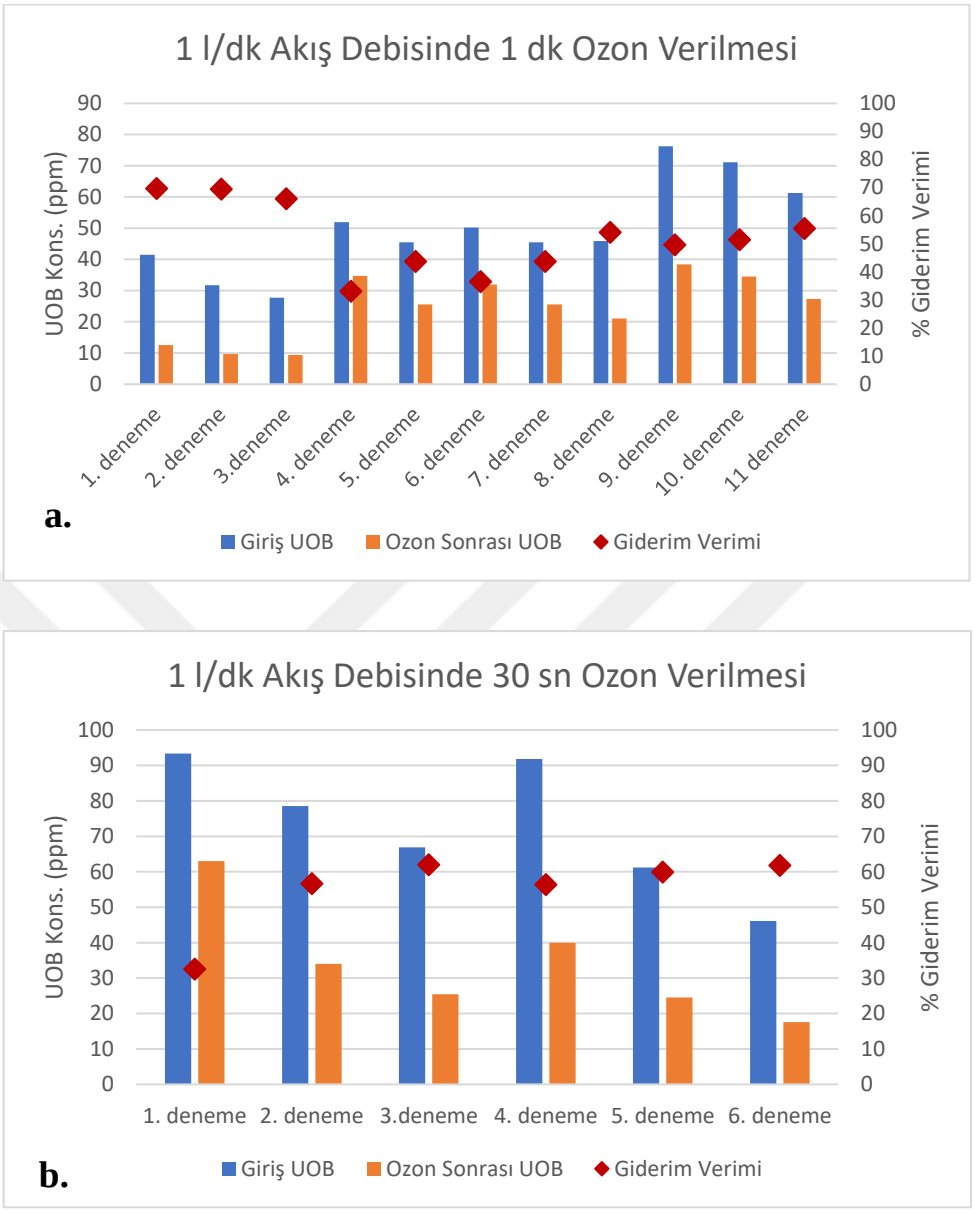
Saf olarak alınan tolüen ve stiren sıvıları, 0,3 ml/saat hızında ve 3 l/dk sabit akış debisindeki hava hattına, şırınga pompa yardımıyla reaksiyon kolonuna girmeden önce dozlanmıştır. Hava hattındaki akış hızı yüksek olduğundan, buharlaşma gerçekleşmiştir ve bu gözlemle teyit edilmiştir. Şekil 4.2'de 3 l/dk akış debisinde oluşan UOB konsantrasyonları ppm olarak gösterilmiştir. Tolüen giriş konsantrasyonu, ortalama 342 ppm, stiren giriş konsantrasyonu ise ortalama 321 ppm olarak ölçülmüştür. Şırınga pompa kullanımı, deneyin başlangıcından itibaren sabit bir UOB konsantrasyonunun oluşmasını sağlamıştır ve denemeler arasındaki farkı minimuma indirmiştir (Şekil 4.2.a. ve Şekil 4.2.b.). Böylece hava akımı içerisinde stabil ve kontrol edilebilir konsantrasyonlar elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 4.2: 3B baskı şırınga pompa kullanımıyla 0.3 ml/saat dozlama ile oluşan Tolüen (a.) ve Stiren (b.) konsantrasyonları.

4.2. DÜĞME ÜRETİM TESİSİ HAMMADDESİNE OZON UYGULANMASININ İNCELENMESİ

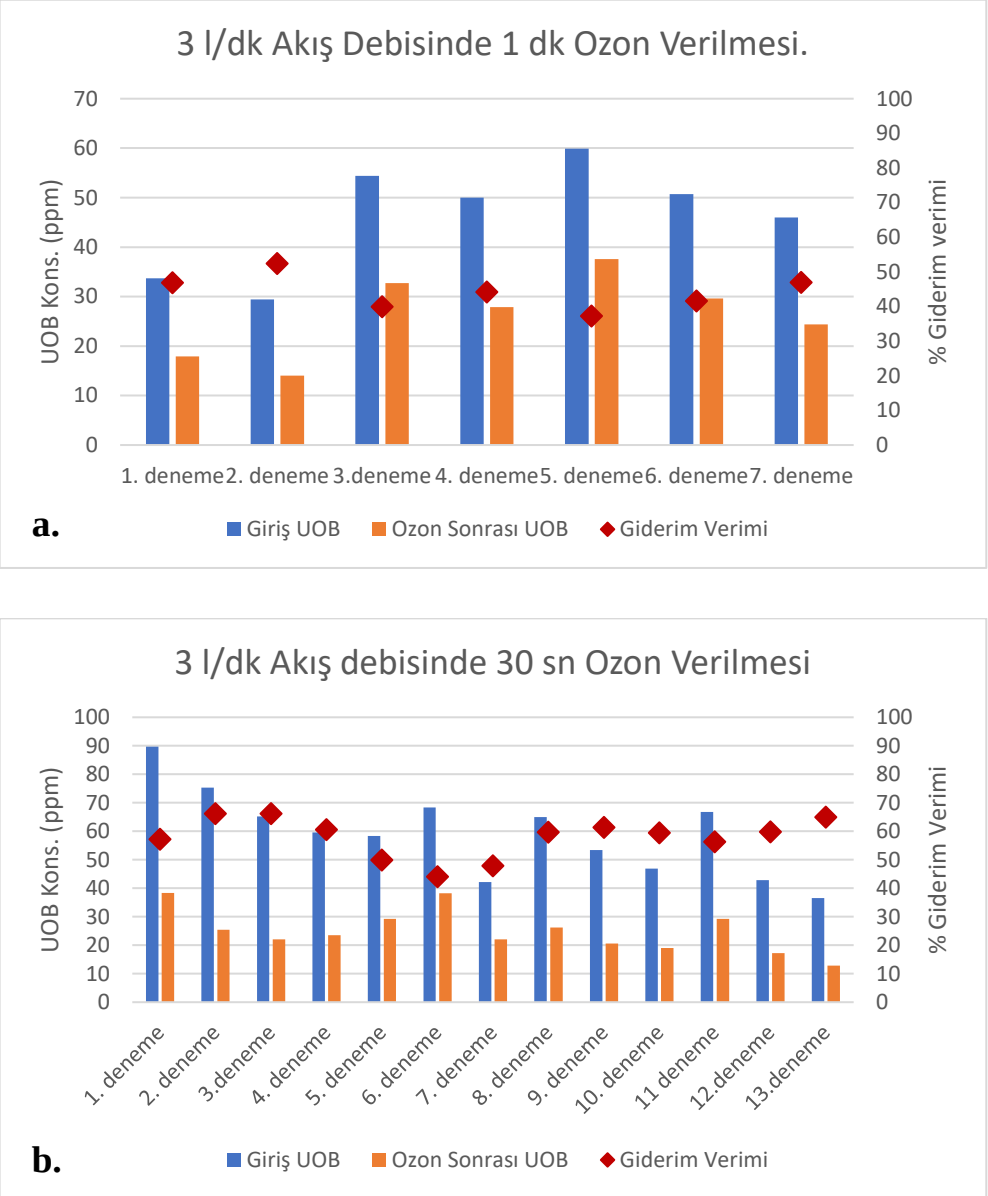
Her bir deneyin, sırasıyla 1, 3 ve 6 l/dk hava akış debilerinde, reaktöre giriş UOB konsantrasyonları, ozon uygulaması ile oluşan UOB konsantrasyonları ve bu verilere bağlı giderim verimleri belirlenmiştir.



Şekil 4.3: 1 l/dk hava akış debisinde 1 dk ozon verilerek (a.) ve 30 sn ozon verilerek (b.) yapılan deneyler ve giderim verimleri.

Şekil 4.3.a'da 1 l/dk hava akış debisinde, 1 dk ozon uygulaması ile gerçekleştirilen 11 deneme gösterilmiştir. Genel olarak en yüksek giderim verimleri, en düşük giriş konsantrasyonlarının olduğu deneyler sırasında gerçekleşmiştir. Bunun birlikte, giriş konsantrasyonlarının yakın seviyelerde olduğu denemelerin giderim verimlerinin de benzer şekilde yakın olduğu görülmüştür.

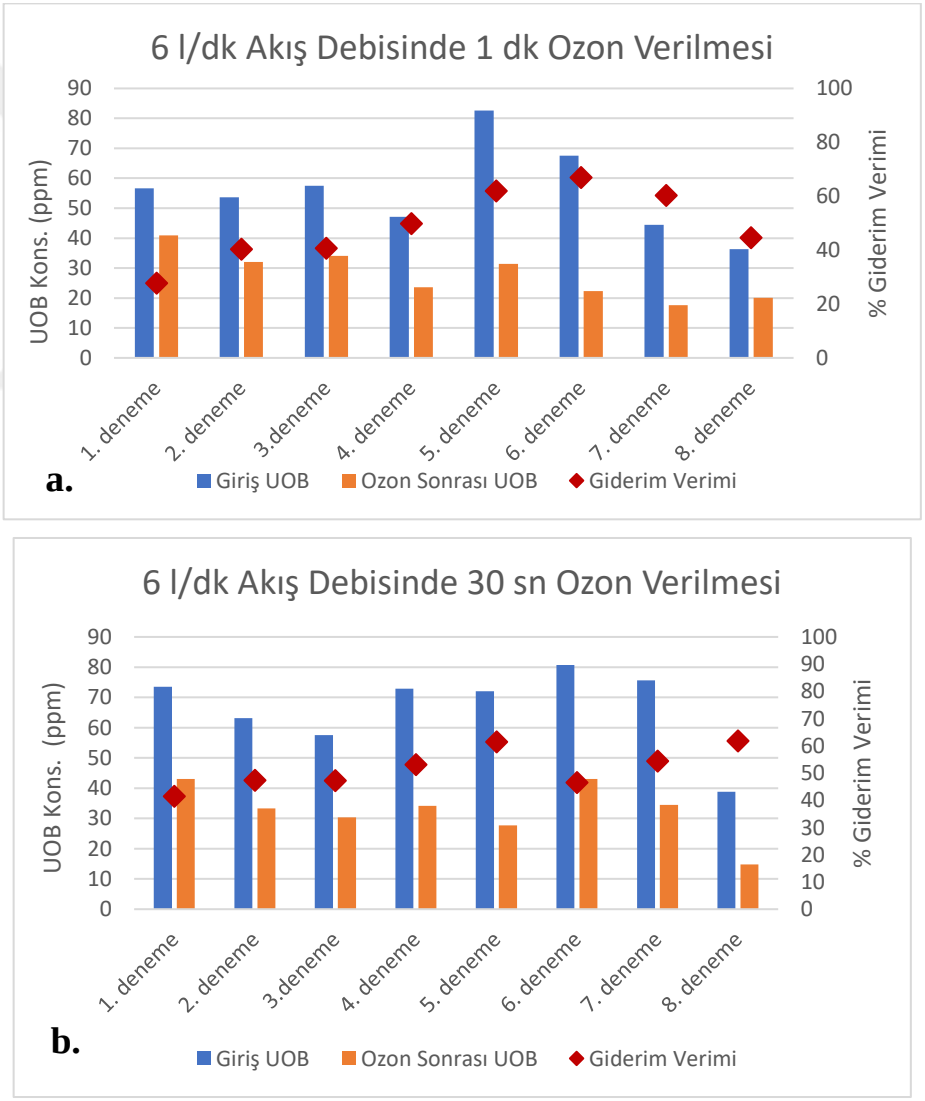
Giriş konsantrasyonlarının 50 ppm ve üzerinde olduğu durumda, giderim verimi ortalama %50 seviyesindedir. Giriş konsantrasyonunun 40 ppm ve altına düşmesi ile, giderim verimi %70 seviyesine ulaşmıştır. Şekil 4.3.b'de ise, 1 l/dk hava akış debisinde 30 sn ozon verilmesiyle gerçekleşen 6 deneme gösterilmiştir. Genel olarak giriş konsantrasyonlarının azalmasıyla giderim verimleri artmıştır. Ancak verimler arasındaki farkın, (ortalama %56 ile %60 seviyelerinde olmak üzere) 1 dk ozon verilen duruma göre yüksek olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.4: 3 l/dk hava akış debisinde 1 dk ozon verilerek (a.) ve 30 sn ozon verilerek (b.) yapılan deneyler ve giderim verimleri.

Şekil 4.4'de, 3 l/dk hava akış debisinde 1 dk ve 30 sn ozon verilmesiyle gerçekleştirilen deneylerin grafikleri verilmiştir. Buna göre, 1 dk ozonun verildiği 7 denemede (Şekil 4.4.a),

genel olarak 1 l/dk hava akış debisi denemelerinde olduğu gibi giriş konsantrasyonları arttıkça, giderim verimleri azalmıştır. Giriş konsantrasyonun 60 ppm olarak en yüksek olduğu durumda, giderim verimi %37 ile en düşük seviyededir. Bununla birlikte, giriş konsantrasyonunun 20,4 ppm ile en düşük olduğu durumda, giderim verimi %54 ile en yüksek seviyededir. Giriş konsantrasyonu-verim ilişkisi, ozonun 30 sn süre ile verildiği durumda da çoğunlukla görülmektedir (Şekil 4.4.b). Ancak 1 dk ozon verilmesinden farklı olarak, yüksek giriş konsantrasyonlarının oluştuğu durumlarda, ortalama verimden yüksek değerler de görülmektedir. İkinci en yüksek giriş konsantrasyonunun 75,3 ppm olarak gözlendiği seviyede, en yüksek giderim verimi de %66 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5: 6 l/dk hava akış debisinde 1 dk ozon verilerek (a.) ve 30 sn ozon verilerek (b.) yapılan deneyler ve giderim verimleri.

Şekil 4.5'de, 6 l/dk hava akış debisinde yapılan deneylerin grafikleri gösterilmiştir. 1 dk ozon verildiğinde (Şekil 4.5.a.), en yüksek giriş konsantrasyonunda (86 ppm) giderim verimi %62 seviyesindedir. En düşük giriş konsantrasyonunda (36 ppm) giderim verimi %44 seviyesindedir. Akış debisinin artması, reaktör içindeki UOB-ozon temas süresini azaltmaktadır. Bu durum, giriş konsantrasyonu-verim ilişkisi arasında düzensizliği de arttırmaktadır. 1 l/dk ile 3 l/dk hava akış debilerindeki benzer ilişki, 6 l/dk hava akış debisinde görülmemektedir. Şekil 4.5.b.'de de benzer durum görülmektedir. 1 dk ve 30 sn ozon verilmesindeki ortalama verilere de bakıldığında birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

Düğme üretimi hammaddesi kullanılarak ve PID sensör yöntemiyle yapılan deneyler göz önüne alındığında, düşük hava akış debileriyle yapılan giderim deneylerinde genel olarak 40 ppm ve altı giriş konsantrasyonu olan durumlarda verimlerin yüksek, 50 ppm ve üzeri giriş konsantrasyonu olan durumlarda ise düşük olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, hava akış debisinin artması da reaktördeki ozon-UOB temas süresini azaltmıştır.

Tüm deneyler süresince, verilen ozonun ne kadarının tüketildiğini ölçmek amacıyla reaktör çıkışında ozon ölçümleri yapılmıştır. Hava akış debisinin ozon tüketimine önemli etkisi olmadığı görülmüştür. Verilen ozon miktarına karşılık, harcanan ozon miktarı tüm deneyler için birbirine çok yakın olup, ortalama %65 seviyesindedir. Verilen ozonun yaklaşık %35'i harcanmamakta ve reaktörden çıkış yapmaktadır. Bu durum, sistemin kullanılması sırasında ozon emisyonunun oluşmasına sebebiyet verebilir. Ozonun tamamen tüketilmesi veya zararsız hale dönüşümün gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Tablo 4.1'de, düğme üretim tesisi hammaddesiyle yapılan tüm deneylerin sonuçları gösterilmiştir. Sırasıyla 1, 3 ve 6 l/dk hava akış debilerinde yapılan her bir deneyin, reaktöre giriş UOB konsantrasyonları, ozon uygulaması ile oluşan UOB konsantrasyonları ve bu verilere bağlı hesaplanan giderim verimleri verilmiştir. Geniş bir UOB giriş konsantrasyonu aralığında, farklı akış debilerinde ve farklı sürelerde ozon verilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Her deney şartında, en az altı en çok on üç deneme gerçekleştirilmiştir. Ortalama giderim verimleri, 1 l/dk hava akış hızı şartlarında, 1 dk ozon verilmesi halinde %52, 30 sn ozon verildiğinde ise %55 mertebesindedir. 3 l/dk hava akış hızında ortalama giderim verimleri, 1 dk ve 30 sn ozon verilmesine göre sırasıyla %44 ve %58'dir. 6 l/dk hava akış hızında ortalama giderim verimleri ise 1 dk ozon verildiğinde %49 ve 30 sn ozon verildiğinde %51'dir.

Tablo 4.1: Düğme üretim tesisi hammaddesiyle yapılan deneyler ve giderim verimleri.

	1 l/dk Hava Akış Debisi İle Yapılan Deneyler						3 l/dk Hava Akış Debisi İle Yapılan Deneyler						6 l/dk Hava Akış Debisi İle Yapılan Deneyler					
	1 dk Ozon Uygulanması			30 sn Ozon Uygulanması			1 dk Ozon Uygulanması			30 sn Ozon Uygulanması			1 dk Ozon Uygulanması			30 sn Ozon Uygulanması		
	Giriş UOB Kons. (ppm)	Ozon Sonrası UOB Kons. (ppm)	Giderim Verimi (%)	Giriş UOB Kons. (ppm)	Ozon Sonrası UOB Kons. (ppm)	Giderim Verimi (%)	Giriş UOB Kons. (ppm)	Ozon Sonrası UOB Kons. (ppm)	Giderim Verimi (%)	Giriş UOB Kons. (ppm)	Ozon Sonrası UOB Kons. (ppm)	Giderim Verimi (%)	Giriş UOB Kons. (ppm)	Ozon Sonrası UOB Kons. (ppm)	Giderim Verimi (%)	Giriş UOB Kons. (ppm)	Ozon Sonrası UOB Kons. (ppm)	Giderim Verimi (%)
1. Deneme	41,5	12,6	69,6	93,4	63	32,5	33,7	17,9	46,9	89,7	38,4	57,2	56,6	40,9	27,7	73,5	43,0	41,5
2. Deneme	31,7	9,7	69,4	78,5	34	56,7	29,4	14,0	52,4	75,3	25,4	66,3	53,6	32,0	40,3	63,2	33,3	47,3
3. Deneme	27,7	9,4	66,1	66,9	25,4	62,0	54,4	32,7	39,9	65,2	22,0	66,3	57,5	34,1	40,7	57,6	30,4	47,2
4. Deneme	51,9	34,7	33,1	91,8	40	56,4	50,0	27,9	44,2	59,6	23,5	60,6	47,1	23,6	49,9	72,9	34,2	53,1
5. Deneme	45,5	25,6	43,7	61,2	24,5	60,0	59,9	37,6	37,2	58,3	29,2	49,9	82,6	31,4	62,0	72,0	27,7	61,5
6. Deneme	50,2	31,9	36,5	46,1	17,6	61,8	50,7	29,6	41,6	68,3	38,2	44,1	67,5	22,3	67,0	80,7	43,1	46,6
7. Deneme	45,5	25,6	43,7	-	-	-	46,0	24,4	47,0	42,2	22,0	47,9	44,4	17,6	60,4	75,6	34,5	54,4
8. Deneme	45,9	21,1	54,0	-	-	-	-	-	-	65,0	26,2	59,7	36,3	20,1	44,6	38,8	14,8	61,9
9. Deneme	76,2	38,4	49,6	-	-	-	-	-	-	53,4	20,6	61,4	-	-	-	-	-	-
10. Deneme	71,1	34,5	51,5	-	-	-	-	-	-	46,9	19,0	59,5	-	-	-	-	-	-
11. Deneme	61,3	27,3	55,5	-	-	-	-	-	-	66,8	29,2	56,3	-	-	-	-	-	-
12. Deneme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,8	17,2	59,8	-	-	-	-	-	-
13. Deneme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,6	12,8	65,0	-	-	-	-	-	-

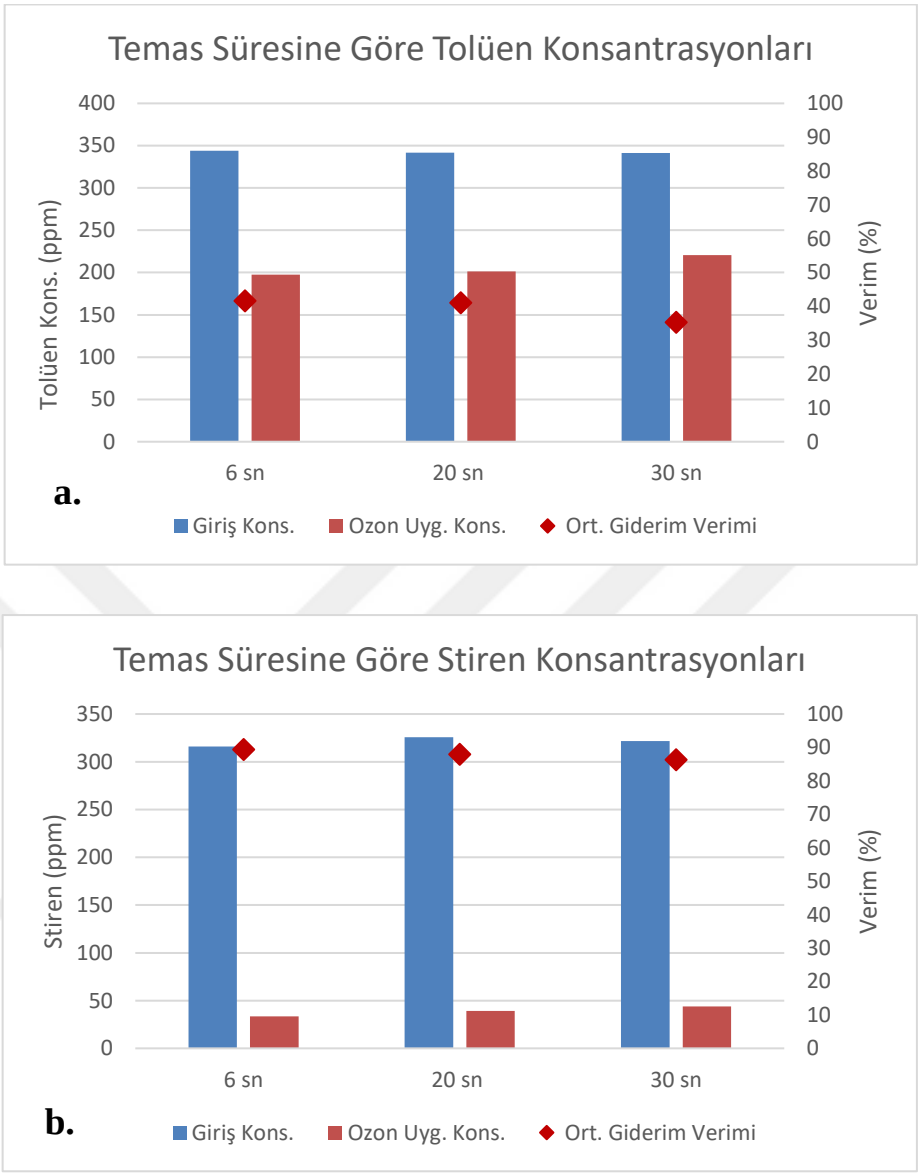
4.3. TOLÜEN VE STİREN KULLANILARAK YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI

Tolüen ve stiren sıvılarının, belirlenen bir hava akış debisinde dozlanmasıyla, hem deneyin başında konsantrasyonların eşitliğini sağlamak, hem de farklı UOB-ozon temas sürelerinde eşit şartları korumak amaçlanmıştır. Deneyler yapılırken, 3 l/dk'lık sabit bir hava akışı seçilmiştir. Reaktör boyutları değiştirilerek, UOB-ozon temas süreleri 6 sn, 20 sn ve 30 sn olarak ayarlanmıştır. Ölçümler, hem aktif karbon tüpleri kullanılarak hem de PID sensör yardımıyla eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.6'da, şırınga pompa ile dozlanan tolüen ve stiren sıvılarının, ozon temas sürelerine göre konsantrasyonları ve giderim verimlerinin sensör ile yapılan ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Şırınga pompanın 0,3 ml/saat ile çalıştırılmasıyla, UOB-ozon temas süresine göre yapılan üç deneyde de, reaktöre ortalama giriş konsantrasyonları her iki tür için birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Böylece, deney şartları için stabil bir reaktör giriş konsantrasyonu oluşturulmuştur. Ancak, ölçülen konsantrasyonların yüksek olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.6.a'da, tolüen ile yapılan deneylerin sonuçları gösterilmiştir. Temas sürelerine göre (6 sn, 20sn ve 30 sn) reaktöre giriş konsantrasyonları sırasıyla, 344 ppm, 341 ppm ve 341 ppm olarak, çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 197,5 ppm, 201 ppm ve 220,7 ppm olarak tespit edilmiştir. Giderim verimleri ise sırasıyla %41,6, %41 ve %35'tir. Bu sonuçlara göre, temas süresinin artmasıyla verim azalma eğilimi göstermiştir.

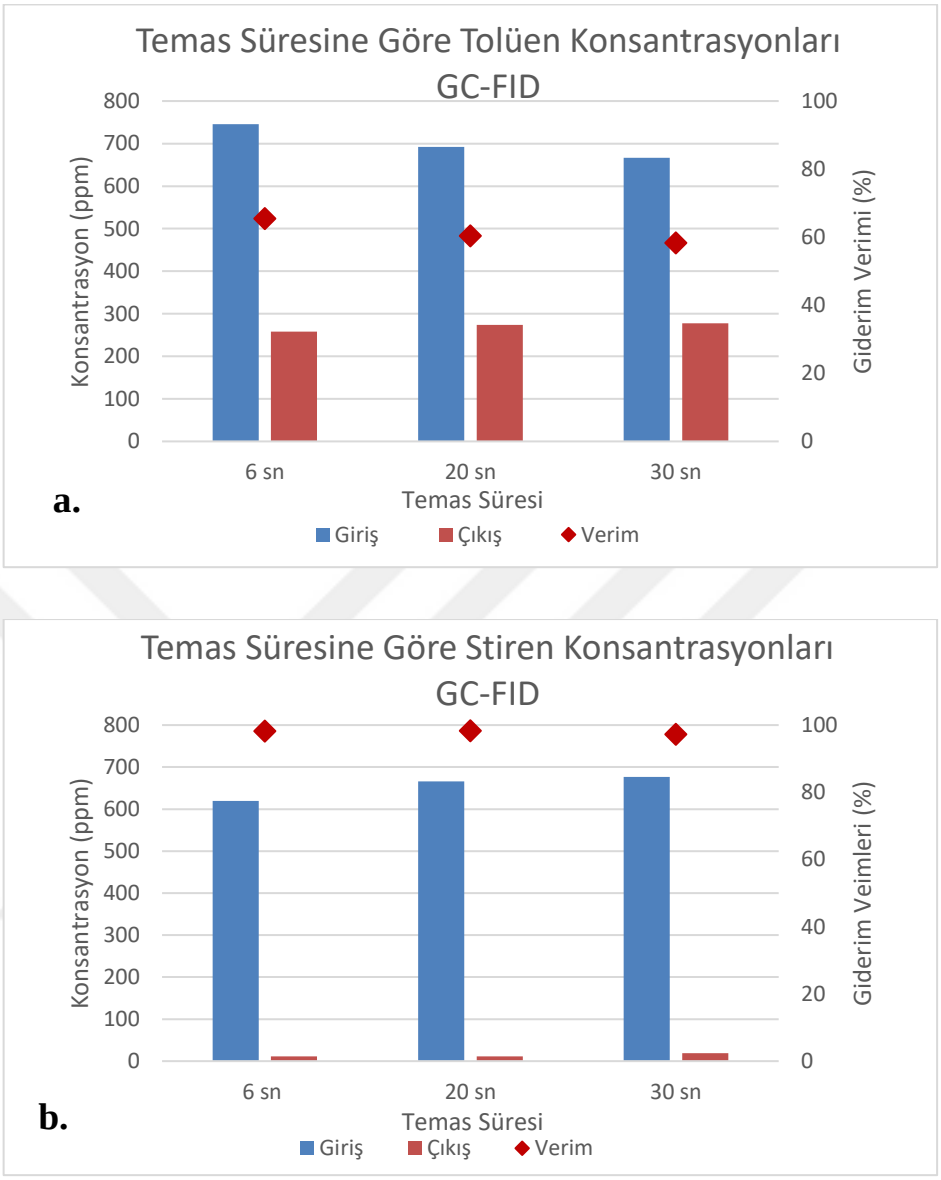
Şekil 4.6.b'de stiren ile yapılan deneylerin sonuçları gösterilmiştir. Temas sürelerine göre (6 sn, 20sn ve 30 sn) reaktöre giriş konsantrasyonları sırasıyla, 316 ppm, 325,6 ppm ve 321,6 ppm, çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 33,5 ppm, 39 ppm ve 43,7 ppm seviyesindedir Giderim verimleri de temas süresine göre sırasıyla %89,4, %88 ve %86,4'tür. Giderim verimleri %90 seviyesine yaklaşmakla beraber önemli bir fark görülmemektedir.



Şekil 4.6: UOB-ozon temas sürelerine göre reaktöre giriş ve çıkış konsantrasyonları ve giderim verimlerinin sensör ölçüm sonuçları.

4.3.1. GIC-FID Analizi Sonuçları

Şekil 4.7 ‘de, şırınga pompa ile dozlanan tolüen ve stiren sıvılarının, ozon temas sürelerine göre konsantrasyonları ve giderim verimlerinin GC-FID analizi ile yapılan ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Ölçümler, sistem 10 dk boyunca çalışırken, reaktör girişi için 0,25 l/dk ile, reaktör çıkışı için sistem ozon cihazı birlikte çalışırken 0,25 l/dk debi ile yapılmıştır. Elde edilen deneysel veriler, kütlesel konsantrasyondan hacimsel konsantrasyona o anki sıcaklık göz önüne alınarak çevrilmiştir.



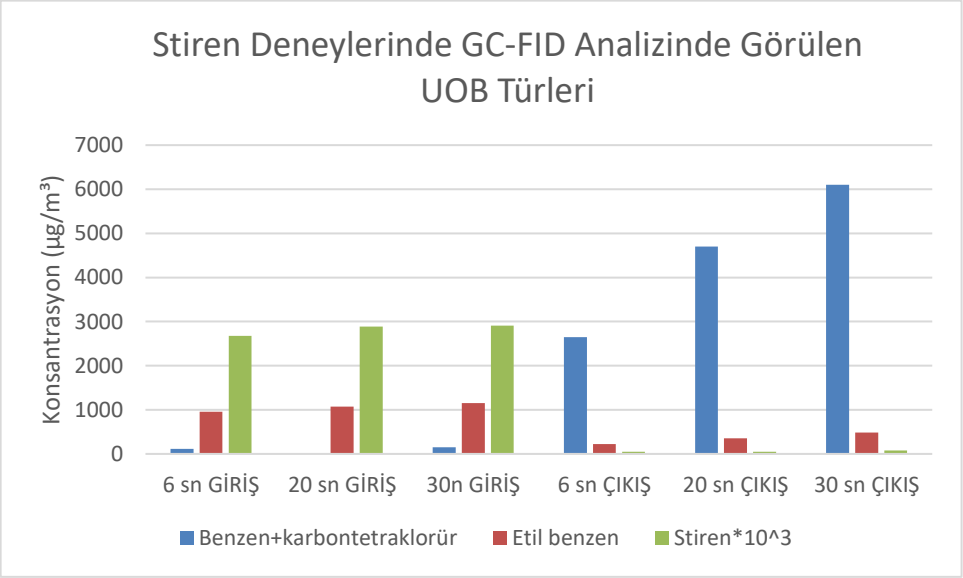
Şekil 4.7: Tolüen (a.) ve stiren (b.) solventlerinin, UOB-ozon temas sürelerine reaktöre giriş, reaktörden çıkış konsantrasyonları ve giderim verimlerinin GC-FID ölçüm sonuçları.

Şekil 4.7.a'da, tolüen ile yapılan deneylerin sonuçları gösterilmiştir. Temas sürelerine göre (6 sn, 20sn ve 30 sn) reaktöre giriş konsantrasyonları sırasıyla, 745 ppm, 692 ppm ve 667 ppm olarak, çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 258 ppm, 274 ppm ve 278 ppm olarak tespit edilmiştir. Giderim verimleri ise sırasıyla %65, %60 ve %58'tir. Temas süresinin artmasıyla verim azalma eğilimi burada da görülmektedir.

Şekil 4.7.b'de, stiren ile yapılan deneylerin sonuçları gösterilmiştir. Temas sürelerine göre (6 sn, 20sn ve 30 sn) reaktöre giriş konsantrasyonları sırasıyla, 619 ppm, 666 ppm ve 676 ppm

olarak, çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 11 ppm, 11 ppm ve 19 ppm olarak tespit edilmiştir. Giderim verimleri ise sırasıyla %98, %98 ve %97'tir. Giderim verimleri arasında önemli bir fark görülmemiştir.

GC-FID analizlerinde, ayrıca başka türleri izlemek amacıyla katalog taraması yapılmıştır. Tolüen deneyleri analizlerinde, reaktör girişinde ve çıkışında tolüen dışında bir UOB türü tespit edilmemiştir. Stiren deneyleri analizlerinde ise, benzen+karbontetraklorür ve etil benzene rastlanmıştır (Şekil 4.8). Ancak, reaksiyon kolonuna giriş ve çıkış konsantrasyonları stiren konsantrasyonuna göre çok düşüktür. Etil benzen, benzenin etilene alkilasyonla bağlanmasıyla oluşmaktadır. Etil benzenin dehidrojenarasyonu ile strien üretimi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca etilbenzen, benzen ve karbonteraklorür ile çözünebilmektedir (MEB, 2012).

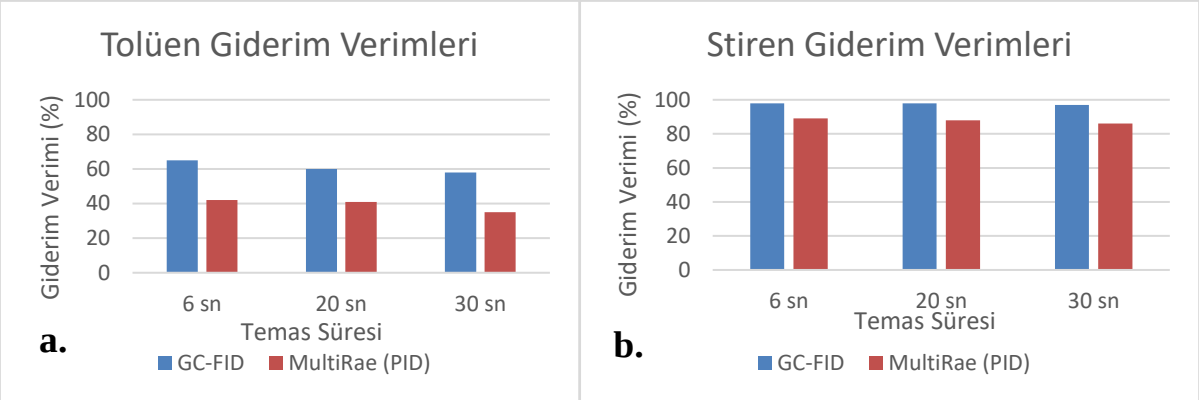


Şekil 4.8: Stiren deneylerinde GC-FID analizlerinde görülen UOB türleri.

4.3.2. Sensör ve GC-FID Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması

Şırınga pompa ile yapılan tolüen ve stiren giderim deneyleri sırasında, eş zamanlı olarak PID sensör ve GC-FID ölçümü için örnek alınmıştır. Şekil 4.9'da, ölçüm yöntemine göre elde edilen giderim verimleri gösterilmiştir. Şekil 4.9.a. ise, sensör ve GC-FID ile ölçülen giderim verimlerini göstermektedir. Temas süresine göre giderim verimleri birbirine yakın olmakla beraber, GC-FID analizlerinde %60, sensör ile ölçümlerde %40'dır. Şekil 4.9.b.'de, sensör ve GC-FID ile ölçülen giderim verimleri incelendiğinde ise, yine temas süresine göre giderim

verimleri birbirine yakın olmakla beraber, GC-FID analizlerinde %98, sensör ile ölçümlerde %89 seviyesinde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.9: Ölçüm yöntemine göre tolüen ve strien giderim verimleri.

Genel olarak PID sensör ölçümlerine göre giderim verimleri daha düşük olsa da, sensör sisteminin konsantrasyon değişimine tepkisi yüksektir. Bu da, özellikle değişen şartların gerçekleştiği bir ortamda anlık olarak ölçümlerin yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Reaksiyon kolonuna giriş, çıkış konsantrasyonları ve giderim verimleri göz önüne alındığında, sensör sisteminin tepkileri ile GC-FID analizleri arasında bir paralellik bulunmaktadır (Williams ve diğ., 2015). Seçici olmasa da PID sensör sistemin avantajı, anlık geri bildirim sağlayabilen küçük, sürekli bir monitör olmasıdır (RAE Systmes, 2014c). Düşük bir yatırım ve işletme maliyeti avantajı da sunmaktadır. Ayrıca, sensör ölçümlerinde her bir bileşik düzeltme faktörü kullanılmadan izobutilen eşdeğeri olarak verilmiştir. Bu nedenle, ölçüm sonuçları arasında gözlenen farklılıklar, düzeltme faktörü kullanılmadığından oluşabilmektedir. (Spinelle L. Ve diğ., 2017; RAE Systems, 2014a; 2014b)

Bu tez kapsamında, GC-FID analizleri ile oda sıcaklığında elde edilen giderim verimlerinin literatürde yapılan bazı çalışmalarla karşılaştırması Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Tolüen ve stirenin ozon ile giderimi ile ilgili bazı çalışmalar.

UOB Türü	Akış Debisi (l/dk)	Katalizör	Giriş Kons.	Giderim Verimi (%)	Çalışma
Tolüen	3	Yok	200 ppm	16	Samarghandi R. M. ve diğ, 2014
			20 ppm	31	
	1	Mn/Al_2O_3	50 ppm	99	Ryu W. H. ve diğ, 2019
	1	MnO_x/ ɤ-alumina	120 ppm	47	Razei E. ve Soltan J. ,2012
		MnOx/MCM-41	120 ppm	44	
	0,1	Mn/Al_2O_3	666 mg/m^3	18 - 40	Long L. ve diğ,2011
	1	Nonwoven kumaş	10 ppm	75	Sekiguchi K. ve diğ, 2017
	0,75	13x zeolit	890 ppm	37	Gopi T. ve diğ, 2016
	2	PCO	45 ppm	96	Haibao H. ve Li W., 2010
	0,73	UV	73 pmm	50	Shen S. Y. ve Ku Y., 1999
	3	Yok	701 ppm (ort.)	61 (ort.)	Bu çalışma.
Monoaromatik	_	Yok	5,35 mg/m^3	74	Ulutaş K. ve diğ., 2019
Stiren	_	UV	100 ppm	85	Koci K. ve diğ., 2019
			200 ppm	50	
	3	Yok	654 ppm (ort.)	98 (ort.)	Bu çalışma.

Buna göre genel olarak giderim çalışmaları, ozonun yanında bir katalizörle yapılmaktadır. Elde edilen tolüen ve stiren giderim verimleri, bir katalizör kullanılmamasına rağmen literatürle uyumludur. Bunun yanında, stiren ile ilgili çalışmaların sınırlı olması nedeniyle elde edilen veri bu alanda enderdir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, düğme üretimi hammaddesi kaynaklı UOB'nin ozon ile giderimi sonucunda farklı akış debilerinde oluşan giderim verimleri ve sabit akış debisinde tolüen ve stirenin, UOB-Ozon temas süresine göre oluşan giderim verimleri araştırılmıştır. Konsantrasyonları ölçmek amacıyla Honeywell MultiRae PID sensör ve referans yöntem olarak GC-FID analizleri kullanılmıştır.

Düşük UOB konsantrasyonlarının elde edilebilmesi amacıyla, düğme üretim tesisi hammaddesinden 1 ml alınarak üzerinden belirli debilerde hava geçirilmesiyle yapılan deneylerde, özellikle reaksiyon kolonuna giriş konsantrasyonlarının geniş bir aralıkta değiştiği görülmüştür (43 ile 92 ppm). Ancak, hava akış debisinin arttırılması ile bu aralıklar azalmıştır (64 ile 84 ppm).

3 boyutlu yazıcıyla yapılan şırınga pompa yardımıyla sıvı haldeki solventin, hava akışına direk verilmesiyle yapılan deneylerde, stiren 321 ppm ve tolüen 342 ppm seviyelerinde birbirine yakın giriş konsantrasyonlarına ulaşılmıştır. Ancak, bu konsantrasyonlar yüksektir. Şırınga pompa kullanımına göre düşük giriş konsantrasyonlarının olduğu hammadde ile yapılan deneylerde, genel olarak 40 ppm ve altı giriş konsantrasyonlarında 1 dk ozon uygulanmasıyla elde edilen yüksek verime karşın, aynı şartlarda giriş konsantrasyonlarının yükselmesiyle giderim verimi düşüş göstermiştir. Ancak, hava akış debisinin artmasıyla bu ilişki bozulmuştur. Ozon verilme süresi, giderim verimleri üzerinde belirgin bir fark yaratmamıştır. Bunun yanında, reaksiyon kolonunun çıkışında yapılan ölçümlerde ozonun tamamen tüketilemediği görülmüştür.

Farklı Ozon temas sürelerinin uygulandığı tolüen ve stiren sıvıları ile yapılan giderim deneylerinde, GC-FID analizi ve eş zamanlı olarak sensörle ölçüm alınmıştır. Stiren giderim verimleri, sensör ölçümünde %89, GC-FID analizlerinde ortalama %98 seviyesindedir. Stiren ile yapılan bir çalışmada UV ile üretilmiş ozonla giderim %85 seviyesine kadar çıkmıştır (Koci K. Ve diğ., 2019). Tolüen giderim verimleri ise ortalama olarak sensör ölçümlerinde %40, GC-FID analizlerinde %61 seviyesindedir. Ozon-UOB temas süresinde, önemli bir fark görülmemiştir. Ancak temas süresinin daha da artması, toplam verimde azalma eğilimi gösterebilir. Literatürde yapılan çalışmalara göre ise giderim verimleri orta seviyededir. %90

ve üzeri giderim verimleri literatürde katalizör yardımıyla elde edilmiştir. (Ryu ve diğ., 2019; Haibao ve diğ., 2010)

Giderim deneylerinde, 3 boyutlu yazıcıyla yapılan şırınga pompa yardımıyla üretilen UOB konsantrasyonları stabildir ancak yüksek değerler aldığı görülmüştür. Hammadde deneylerinde yapılan düşük konsantrasyonlara ulaşmak için, daha yavaş dozlama yapılabilmesi veya ayrı bir hava akış hattıyla birleştirilerek seyreltilmesi gereklidir. Bu tez kapsamında ulaşılan konsantrasyonlara literatürde rastlanmaktadır (Gopi ve diğ., 2016). Ancak, düşük konsantrasyonlarda çalışılması bir emisyon bacasının simüle edilmesinde daha yararlı olacaktır.

PID sensör yardımıyla konsantrasyonların takibi, yatırım ve işletme maliyetleri yönüyle de olmak üzere gelecekte kendisine daha fazla yer bulacaktır. Yapılan çalışmalarda UOB maruziyet ölçümlerinde kullanılmaktadır (Cui ve diğ., 2020; Agbroko ve diğ., 2018; Chen ve diğ., 2012; Brown ve diğ., 2019). Bununla birlikte, hava kalitesi ölçümleri sırasında PM, ozon, CO_2, SO_2 gibi parametrelerin zamansal takibi için sensörlerin kullanılması üzerine literatürde son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. (Lewis ve diğ., 2016; Borrego ve diğ., 2016, 2018; Popoola ve diğ., 2018). Teknolojinin gelişmesiyle beraber emisyon ölçümlerinde de kullanımının yaygınlaşacağı tahmin edilmektedir. Gelecekteki çalışmalarda sensörlerin kullanılması, özellikle daha hassas zamansal ölçümlerin yapılmasına ve takip edilmesine imkân sağlayacaktır.

Sıcaklık ve nem gibi çevre şartları, sıvı haldeki UOB'nin buharlaşması ve ozonun UOB giderimine etkisi üzerine literatürde çalışmalar bulunmaktadır (Huan ve diğ., 2015; Einaga ve diğ., 2009). Ancak, özellikle benzen ve tolüen dışındaki UOB türlerinin ozon ile giderimine yönelik çalışmaların yapılması, farklı türlerinde değerlendirilmesi ve giderim verimlerinin araştırılması açısından önemlidir. Bu tez kapsamında yapılan stiren giderimi üzerine literatürde yapılan çalışmalar sınırlıdır. Sıcaklık ve nem gibi çevresel şartların, bu UOB'lerin giderimi üzerine etkilerinin gelecekte araştırılması yararlı olacaktır.

Deneyler yapılırken, ozon üretim cihazının ozonu havadan üretmesi kaynaklı azot dioksit gazı oluşumu gözlenmiştir. Sensör cihazı ile yapılan bu gözlem, sensörün ölçüm aralığının üstünde kaldığından tam olarak tayin edilememiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalar ile havadan ozon üretme kaynaklı NO_2 emisyonu oluşumu araştırılmalıdır. Bunun yanında, reaksiyon kolonu çıkışında reaksiyona girmeyen ozon bulunmaktadır. Ülkemizde sanayi kaynaklı ozon emisyonu

bağlamında bir sınır değer tanımlanmamıştır. Ozonun emisyonu ve önlenmesine yönelik yapılacak çalışmalarda bu konu da göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKLAR

Agbroko, S. O., & Covington, J. (2018). A novel, low-cost, portable PID sensor for the detection of volatile organic compounds. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, *275*(July), 10–15.

Alver, E., Demirci, A., & Özcimder, M. (2012). Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Sağlığa Etkileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(1), 45-52–52.

APHA, 1999, Amerikan Halk Sağlığı Kurumu, 2350 E Ozone Demand/Requirement Semi-Batch Method,

Asaithambi, P., Sajjadi, B., Abdul Aziz, A. R., & Daud, W. M. A. B. W. (2017). Ozone (O3) and sono (US) based advanced oxidation processes for the removal of color, COD and determination of electrical energy from landfill leachate. Separation and Purification Technology, 172, 442–449.

Aslan, M. (2016). Membran Teknolojileri. Türkiye Çevre Koruma Vakfı.

Ayvaz C., Alver Şahin Ü., Onat B., Uzun B., Dumanoğlu Y., (2018), Reduction of VOC in Workplace Indoor Air With Ozone Application, 4. International Cnference On Recycling an Reuse, , İstanbul, Türkiye, 24 - 26 October 2018, ss.185-186

Bajpai, P. (2018). Bio-technology for Pulp and Paper Industry, 2. Basım, Springer.

Baurès, E., Blanchard, O., Mercier, F., Surget, E., le Cann, P., Rivier, A., … Florentin, A. (2018). Indoor air quality in two French hospitals: Measurement of chemical and microbiological contaminants. Science of the Total Environment, 642, 168–179.

Beauregard, D., & Branch, E. I. (1993). Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Toluene. US Environmental Protection Agency.

Belaissaoui, B., Le Moullec, Y., & Favre, E. (2016). Energy efficiency of a hybrid membrane/condensation process for VOC (Volatile Organic Compounds) recovery from air: A generic approach. Energy, 95, 291–302.

Borrego, C., Costa, A. M., Ginja, J., Amorim, M., Coutinho, M., Karatzas, K., … Penza, M. (2016). Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise. Atmospheric Environment, 147(2), 246–263.

Borrego, C., Ginja, J., Coutinho, M., Ribeiro, C., Karatzas, K., Sioumis, T., … Penza, M. (2018). Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir Joint Exercise – Part II. Atmospheric Environment, 193(August), 127–142.

Bozkurt, Z., Üzmez, Ö. Ö., Döğeroğlu, T., Artun, G., & Gaga, E. O. (2018). Atmospheric concentrations of SO2, NO2, ozone and VOCs in Düzce, Turkey using passive air samplers: Sources, spatial and seasonal variations and health risk estimation. Atmospheric Pollution Research, 9(6), 1146–1156.

Brown, K. K., Norton, A. E., Neu, D. T., & Shaw, P. B. (2019). Robotic direct reading device with spatial, temporal, and PID sensors for laboratory VOC exposure assessment. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, *16*(11), 717–726.

Chen, C., Driggs Campbell, K., Negi, I., Iglesias, R. A., Owens, P., Tao, N., … Forzani, E. S. (2012). A new sensor for the assessment of personal exposure to volatile organic compounds. *Atmospheric Environment*, *54*, 679–687.

Chen, M. J., Lin, C. H., Duh, J. M., Chou, W. S., & Hsu, H. T. (2011). Development of a multi-pathway probabilistic health risk assessment model for swimmers exposed to chloroform in indoor swimming pools. Journal of Hazardous Materials, 185(2–3),

Chen, X., Chen, X., Cai, S., Chen, J., Xu, W., Jia, H., & Chen, J. (2018). Catalytic combustion of toluene over mesoporous Cr2O3-supported platinum catalysts prepared by in situ pyrolysis of MOFs. Chemical Engineering Journal, 334(October 2017), 768–779.

Civan, M. Y., Elbir, T., Seyfioglu, R., Kuntasal, Ö. O., Bayram, A., Doğan, G., … Tuncel, G. (2015). Spatial and temporal variations in atmospheric VOCs, NO2, SO2, and O3 concentrations at a heavily industrialized region in Western Turkey, and assessment of the carcinogenic risk levels of benzene. Atmospheric Environment, 103(2), 102–113.

Civan, M. Y., Kuntasal, Ö. O., & Tuncel, G. (2011). Source Apportionment of Ambient Volatile Organic Compounds in Bursa, a Heavily Industrialized City in Turkey. Environmental Forensics, 12(4), 357–370.

Cui, P., Schito, G., & Cui, Q. (2020). VOC emissions from asphalt pavement and health risks to construction workers. Journal of Cleaner Production, 244, 118757.

Day, D. B., Xiang, J., Mo, J., Li, F., Chung, M., Gong, J., … Zhang, J. J. (2017). Association of ozone exposure with cardiorespiratory pathophysiologic mechanisms in healthy adults. JAMA Internal Medicine, 177(9), 1344–1353.

Dehghani, M. H., Zarei, A., Farhang, M., Kumar, P., Yousefi, M., & Kim, K. H. (2020). Levels of formaldehyde in residential indoor air of Gonabad, Iran. Human and Ecological Risk Assessment, 26(2), 483–494.

Demir, S. (2011). İstanbul atmosferinde uçucu organik bileşik kirliliğinin kaynaklarının belirlenmesi: YTÜ Davutpaşa Kampüsü örneği., Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demir, S., Saral, A., Išik, D., Akyildiz, A., Levent Kuzu, S., Mert, S., … Goncaloğlu, B. I. (2011). Characterization of ambient volatile organic compounds and their diurnal variations in Istanbul, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 20(11), 2951–2958.

Derwent, R. G. (1995). Sources, distributions, and fates of VOCs in the atmosphere. Issues in Environmental Science and Technology Volatile Organic Compunds in the Atmosphere, In: Hester, R. E., & Harrison,R. M. (Eds.), Chapter 1, Royal Society of Chemistry. İngiltere, ISBN:0-85404-215-6, 1-16.

Ding, W., Jin, W., Cao, S., Zhou, X., Wang, C., Jiang, Q., … Wang, Q. (2019). Ozone disinfection of chlorine-resistant bacteria in drinking water. Water Research, 160, 339–349.

Dumanoglu, Y., Gaga, E. O., Gungormus, E., Sofuoglu, S. C., & Odabasi, M. (2017). Spatial and seasonal variations, sources, air-soil exchange, and carcinogenic risk assessment for PAHs and PCBs in air and soil of Kutahya, Turkey, the province of thermal power plants. Science of the Total Environment, 580, 920–935.

Dumanoğlu, Y., Elbir, T., Bayram, A., Seyfioğlu R., Demircioğlu, H., Altıok H., Yatkın, S., Bozlaker, A., Odabaşı., M., (2008). Bir petrokimya endüstrisi ve petrol rafinerisi çevresindeki halojenli uçucu organik bileşikler. 1, 286–297.

Dumont, E., Darracq, G., Couvert, A., Couriol, C., Amrane, A., Thomas, D., … Le Cloirec, P. (2011). VOC absorption in a countercurrent packed-bed column using water/silicone oil mixtures: Influence of silicone oil volume fraction. Chemical Engineering Journal, 168(1), 241–248.

Einaga, H., & Ogata, A. (2009). Benzene oxidation with ozone over supported manganese oxide catalysts: Effect of catalyst support and reaction conditions. Journal of Hazardous Materials, 164(2–3), 1236–1241.

Einaga, H., Teraoka, Y., & Ogat, A. (2011). Benzene oxidation with ozone over manganese oxide supported on zeolite catalysts. Catalysis Today, 164(1), 571–574.

Elbir, T., Cetin, B., Cetin, E., Bayram, A., & Odabasi, M. (2007). Characterization of volatile organic compounds (VOCs) and their sources in the air of Izmir, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 133(1–3), 149–160.

Ercan, Ö., Dinçer, F., & Ceylan, Ö. (2019). Spatial and seasonal variations of atmospheric BTEX, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, and ozone concentrations in Istanbul, and health risk assessment of BTEX. Environmental Forensics, 20(2), 149–161.

Fallah, N., Bonakdarpour, B., Nasernejad, B., & Alavi Moghadam, M. R. (2010). Long-term operation of submerged membrane bioreactor (MBR) for the treatment of synthetic wastewater containing styrene as volatile organic compound (VOC): Effect of hydraulic retention time (HRT). Journal of Hazardous Materials, 178(1–3), 718–724.

Fang, R., Huang, H., Huang, W., Ji, J., Feng, Q., Shu, Y., … Xie, R. (2017). Influence of peracetic acid modification on the physicochemical properties of activated carbon and its performance in the ozone-catalytic oxidation of gaseous benzene. Applied Surface Science, 420, 905–910.

Ge, J. C., & Choi, N. J. (2017). Fabrication of functional polyurethane/rare earth nanocomposite membranes by electrospinning and its VOCs absorption capacity from air. Nanomaterials, 7(3).

Ghude, S. D., Chate, D. M., Jena, C., Beig, G., Kumar, R., Barth, M. C., ... & Pithani, P. (2016)., Premature mortality in India due to PM2. 5 and ozone exposure. Geophysical Research Letters, 43(9), 4650-4658.

Gopi, T., Swetha, G., Shekar, S. C., Krishna, R., Ramakrishna, C., Saini, B., & Rao, P. V. L. (2016). Ozone catalytic oxidation of toluene over 13X zeolite supported metal oxides and the effect of moisture on the catalytic process. Arabian Journal of Chemistry, 12(8), 4502–4513.

Greeen A., Güzel-Seydim Z., Seydim C., (2012). Chemical and Physical Properties of Ozone, Ozone in food processing., In: O'Donnell, C., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., & Rice, R. G. (Eds.), Chapter 3, John Wiley & Sons.

Guillerm, M., Couvert, A., Amrane, A., Norrant, E., Lesage, N., & Dumont, É. (2016). Absorption of toluene in silicone oil: Effect of the solvent viscosity on hydrodynamics and mass transfer. Chemical Engineering Research and Design, 109, 32–40.

Gupta, V. K., & Verma, N. (2002). Removal of volatile organic compounds by cryogenic condensation followed by adsorption. Chemical Engineering Science, 57(14), 2679–2696.

Han, B., Liu, Y. ting, Wu, J. hui, & Feng, Y. chang. (2018). Characterization of industrial odor sources in Binhai New Area of Tianjin, China. Environmental Science and Pollution Research, 25(14), 14006–14017.

Hariz, R., del Rio Sanz, J. I., Mercier, C., Valentin, R., Dietrich, N., Mouloungui, Z., & Hébrard, G. (2017). Absorption of toluene by vegetable oil–water emulsion in scrubbing tower: Experiments and modeling. Chemical Engineering Science, 157, 264–271.

Hassaan, M. A., & El Nemr, A. (2017). Advanced oxidation processes for textile wastewater treatment. International Journal of Photochemistry and Photobiology, 2(3), 85-93.

HKDYY, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 06.06.2008 tarihli ve 26898 sayılı Resmi Gazete.

Hong-li, W., Sheng-ao, J., Sheng-rong, L., Qing-yao, H., Li, L., Shi-kang, T., … Chang-hong, C. (2017). Volatile organic compounds (VOCs) source profiles of on-road vehicle emissions in China. Science of the Total Environment, 607–608, 253–261.

Huang, H., & Li, W. (2011). Destruction of toluene by ozone-enhanced photocatalysis: Performance and mechanism. Applied Catalysis B: Environmental, 102(3–4), 449–453.

Huang, H., Ye, X., Huang, W., Chen, J., Xu, Y., Wu, M., … Leung, D. Y. C. (2015). Ozone-catalytic oxidation of gaseous benzene over MnO 2 /ZSM-5 at ambient temperature: Catalytic deactivation and its suppression. Chemical Engineering Journal, 264, 24–31.

Kara, M., Okan, F., Lu, Y. D. Ğ., Altiok, H., Bayram, A., & I, M. O. Ş. (2018). Koku Emisyonlarının Karakterizasyonu ve Ozon Kullanımı ile Gideriminin İncelenmesi Characterization of Odorant Gases and Investigation of Odor Removal by Ozonation. 33(December), 267–274.

Kasparoglu, S., Incecik, S., & Topcu, S. (2018). Spatial and temporal variation of O3, NO and NO2 concentrations at rural and urban sites in Marmara Region of Turkey. Atmospheric Pollution Research, 9(6), 1009–1020.

Kerc, A., & Olmez, S. S. (2010). Ozonation of odorous air in wastewater treatment plants. Ozone: Science and Engineering, 32(3), 199–203.

Khan, F. I., & Ghoshal, A. K. (2000). Removal of volatile organic compounds from polluted air. Journal of loss prevention in the process industries, 13(6), 527-545.

Khaniabadi, Y. O., Hopke, P. K., Goudarzi, G., Daryanoosh, S. M., Jourvand, M., & Basiri, H. (2017). Cardiopulmonary mortality and COPD attributed to ambient ozone. Environmental Research, 152(November 2016), 336–341.

Kiurski, J., Aksenitijevic, S., Nedovic, L., Oros, I., & Comic, L. (2018). Influence of Printing Microclimate Parameters on Isopropyl Alcohol Emission. Environmental Engineering and Management Journal, 15(8), 1705–1711.

Kočí, K., Reli, M., Troppová, I., Prostějovský, T., & Žebrák, R. (2019). Degradation of Styrene from Waste Gas Stream by Advanced Oxidation Processes. Clean - Soil, Air, Water, 47(8).

Lelicińska-Serafin, K., Rolewicz-Kalińska, A., & Manczarski, P. (2019). VOC removal performance of a joint process coupling biofiltration and membrane-filtration treating food industry waste gas. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(17).

Leson, G., & Winer, A. M. (2012). Biofiltration: An innovative air pollution control technology for voc emissions. Journal of the Air and Waste Management Association, 41(8), 1045–1054.

Lewis, A. C., Lee, J. D., Edwards, P. M., Shaw, M. D., Evans, M. J., Moller, S. J., … White, A. (2016). Evaluating the performance of low cost chemical sensors for air pollution research. Faraday Discussions, 189, 85–103.

Li, L., Liu, S., & Liu, J. (2011). Surface modification of coconut shell based activated carbon for the improvement of hydrophobic VOC removal. Journal of Hazardous Materials, 192(2), 683–690.

Li, X., Ma, J., & Ling, X. (2020). Design and dynamic behaviour investigation of a novel VOC recovery system based on a deep condensation process. Cryogenics, 107(30), 103060.

Li, Y., Cakmak, S., & Zhu, J. (2019). Profiles and monthly variations of selected volatile organic compounds in indoor air in Canadian homes: Results of Canadian national indoor air survey 2012–2013. Environment International, 126(November 2018), 134–144.

Liu, C., Miao, X., & Li, J. (2019). Outdoor formaldehyde matters and substantially impacts indoor formaldehyde concentrations. Building and Environment, 158(May), 145–150.

Long, L., Zhao, J., Yang, L., Fu, M., Wu, J., Huang, B., & Ye, D. (2011). Room temperature catalytic ozonation of toluene over MnO 2 /Al 2 O 3. Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis, 32(6), 904–916.

Ma, W. L., Liu, L. Y., Jia, H. L., Yang, M., & Li, Y. F. (2018). PAHs in Chinese atmosphere Part I: Concentration, source and temperature dependence. Atmospheric Environment, 173(August 2017), 330–337.

Maji, K. J., Ye, W. F., Arora, M., & Nagendra, S. M. S. (2019). Ozone pollution in Chinese cities: Assessment of seasonal variation, health effects and economic burden. Environmental Pollution, 247(x), 792–801.

Malhautier, L., Khammar, N., Bayle, S., & Fanlo, J. L. (2005). Biofiltration of volatile organic compounds. Applied Microbiology and Biotechnology, 68(1), 16–22.

MEB. (2012). Kimya teknolojisi benzen türevleri ve prosesleri, Milli Eğitim Bakanlığı.

Menteşe, S., & Güllü, G. (2009). OrganIik Bileşiklerin Farklı İç Ortamlardaki Seviyeleri. 673–679.

Moussavi, G., Rashidi, R., & Khavanin, A. (2013). The efficacy of GAC/MgO composite for destructive adsorption of benzene from waste air stream. Chemical Engineering Journal, 228, 741–747.

Nahm, S. W., Shim, W. G., Park, Y. K., & Kim, S. C. (2012). Thermal and chemical regeneration of spent activated carbon and its adsorption property for toluene. Chemical Engineering Journal, 210, 500–509.

Nakayama, K., Fujita, S., Iijima, S., Nishimura, I., Shimota, H., & Katagiri, T. (2008). Combustion and decomposition of VOCs from shell moulds by regenerative thermal oxidiser. International Journal of Cast Metals Research, 21(1–4), 265–268.

Nielsen, G. D., Larsen, S. T., & Wolkoff, P. (2017). Re-evaluation of the WHO (2010) formaldehyde indoor air quality guideline for cancer risk assessment. Archives of Toxicology, 91(1), 35–61.

Nuvolone, D., Petri, D., & Voller, F. (2018). The effects of ozone on human health. Environmental Science and Pollution Research, 25(9), 8074–8088.

ÖZCAN, H. K., ŞAHİN, Ü., BAYAT, C., & UÇAN, O. N. (2006). İstanbul ili trofosferik ozon (O3) konsantrasyonlarının hücresel yapay sinir ağ yöntemiyle modellenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(2).

Pekey, B., & Yilmaz, H. (2011). The use of passive sampling to monitor spatial trends of volatile organic compounds (VOCs) at an industrial city of Turkey. Microchemical Journal, 97(2), 213–219.

Perrone, M. G., Carbone, C., Faedo, D., Ferrero, L., Maggioni, A., Sangiorgi, G., & Bolzacchini, E. (2014). Exhaust emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons, n-alkanes and phenols from vehicles coming within different European classes. Atmospheric Environment, 82(2014), 391–400.

Popoola, O. A. M., Stewart, G. B., Mead, M. I., & Jones, R. L. (2016). Development of a baseline-temperature correction methodology for electrochemical sensors and its implications for long-term stability. Atmospheric Environment, 147, 330–343.

Rae Systems, 2014a, Teknik Nor TN-106

Rae Systems, 2014b, Teknik Nor TN-120

Rae Systems, 2014c, Teknik Nor TN-203

Rautiainen, P., Hyttinen, M., Ruokolainen, J., Saarinen, P., Timonen, J., & Pasanen, P. (2019). Indoor air-related symptoms and volatile organic compounds in materials and air in the hospital environment. International Journal of Environmental Health Research, 29(5), 479–488.

Revah S., Morgan-Sagastume M., (2005), Methods of Odor and VOC Control Biotechnology for odor and air pollution control, In: Shareefdeen, Z. (Eds.), Chapter 3, Springer Science & Business Media.

Rezaei, E., & Soltan, J. (2012). Low temperature oxidation of toluene by ozone over MnOx/γ-alumina and MnOx/MCM-41 catalysts. Chemical Engineering Journal, 198–199, 482–490.

Rezaei, F., Moussavi, G., Bakhtiari, A. R., & Yamini, Y. (2016). Toluene removal from waste air stream by the catalytic ozonation process with MgO/GAC composite as catalyst. Journal of Hazardous Materials, 306, 348–358.

Rovira, J., Roig, N., Nadal, M., Schuhmacher, M., & Domingo, J. L. (2016). Human health risks of formaldehyde indoor levels: An issue of concern. Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 51(4), 357–363.

Ryu, H. W., Song, M. Y., Park, J. S., Kim, J. M., Jung, S. C., Song, J. H., … Park, Y. K. (2019). Removal of toluene using ozone at room temperature over mesoporous Mn/Al2O3 catalysts. Environmental Research, 172(November 2018), 649–657.

Safriet, D., & Branch, E. I. (1993). Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Styrene. US Environmental Protection Agency.

Salvador, S., Commandré, J. M., & Kara, Y. (2006). Thermal recuperative incineration of VOCs: CFD modelling and experimental validation. Applied Thermal Engineering, 26(17–18), 2355–2366.

Samarghandi, M. R., Babaee, S. A., Asgari, G., Ahmadian, M., Shahna, F. G., & Poormohammadi, A. (2014). Performance catalytic ozonation over the carbosieve in the removal of toluene from waste air stream. Journal of Research in Health Sciences, 14(3), 227–232.

Schnelle Jr, K. B., Dunn, R. F., & Ternes, M. E. (2015). Air pollution control technology handbook. CRC press.

Sekiguchi, K., Kurita, Y., Sankoda, K., Namiki, N., Yasui, F., & Tamura, H. (2017). Ozone catalytic oxidation of gaseous toluene over MnO2-based ozone decomposition catalysts immobilized on a nonwoven fabric. Aerosol and Air Quality Research, 17(8), 2110–2118.

Shah, I. K., Pre, P., & Alappat, B. J. (2014). Effect of thermal regeneration of spent activated carbon on volatile organic compound adsorption performances. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 45(4), 1733–1738.

Shen, Y. S., & Ku, Y. (1999). Treatment of gas-phase volatile organic compounds (VOCs) by the UV/O3process. Chemosphere, 38(8), 1855–1866.

Shu, Y., Xu, Y., Huang, H., Ji, J., Liang, S., Wu, M., & Leung, D. Y. C. (2018). Catalytic oxidation of VOCs over Mn/TiO2/activated carbon under 185 nm VUV irradiation. Chemosphere, 208, 550–558.

Sicard, P., De Marco, A., Troussier, F., Renou, C., Vas, N., & Paoletti, E. (2013). Decrease in surface ozone concentrations at Mediterranean remote sites and increase in the cities. Atmospheric Environment, 79, 705–715.

SKHKKY, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 03.07.2009 tarihli ve 27277 sayılı Resmi Gazete.

Soni, V., Singh, P., Shree, V., & Goel, V. (2018). Effects of VOCs on human health., Air pollution and control, In: Sharma N., Agarwal A. K., Eastwood P., Gupta T., Sighn A. P. (Eds.)., Chapter 3, Springer, Singapore, ISBN: 978-981-10-7185-0, 119-142.

Sorrels, J., L., Baynham, A., Randall, D., & Hancy, C. (2017). Incinerators and Oxidizers. EPA Air Pollution Control Cost Manual, (November), 1–70. Retrieved from https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-12/documents/oxidizersincinerators_chapter2_7theditionfinal.pdf

Spinelle, L., Gerboles, M., Kok, G., & Sauerwald, T. (2015). Review of low-cost sensors for the ambient air monitoring of benzene and other volatile organic compounds. In European Metrology Research Programme.

Şahin E., Bayram A., (2017), Farklı Sanayi Sektörlerindeki Koku Kaynaklarının Belirlenmesi, Uygun Giderim Yöntemlerinin Seçilmesi ve Değerlendirmesi., 7. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Antalya, 1-3 Kasım, 247-255.

Tecer, L. H., Tagil, S., Ulukaya, O., Ficici, M., & Silahtaraga. (2017). Spatial Distribution of BTEX and Inorganic Pollutants during Summer Season in Yalova, Turkey. Ecological Chemistry and Engineering S, 24(4), 565–581.

Thera, B. T. P., Dominutti, P., Öztürk, F., Salameh, T., Sauvage, S., Afif, C., … Borbon, A. (2019). Composition and variability of gaseous organic pollution in the port megacity of Istanbul: Source attribution, emission ratios, and inventory evaluation. Atmospheric Chemistry and Physics, 19(23),

Tiwari, A., Alam, T., Kumar, A., & Shukla, A. K. (2019). Control of dour, volatile organic compounds (VOCs) & toxic gases through biofiltration - An overview. International Journal of Technical Innovation in Modern Engineering & Science, 5(Hesselink 1993), 1–6.

Tomatis, M., Moreira, M. T., Xu, H., Deng, W., He, J., & Parvez, A. M. (2019). Removal of VOCs from waste gases using various thermal oxidizers: A comparative study based on life cycle assessment and cost analysis in China. Journal of Cleaner Production, 233, 808–818.

Türker M., Karadağ S., Işık Y., Ertan İ., (2015), Maya Endüstrisi Koku Problemi ve Çözümleri: Pakmaya Deneyimi., 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 7-9 Ekim, 375-388.

Ulutaş K., Pekey H., Demir S., Dinçer F., (2018), Ozonation Of VOC In a WastewaterTreatment Plant, 3. ICOCEE – Çeşme Proceeding Book, Nisan 24-27, 585-592.

(URL1) https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#3 (Erişim Tarihi: 11.06.2019)

(URL2) https://www.chemsrc.com/caspic/182/108-88-3.png (Erişim Tarihi: 11.06.2019)

(URL3) (ATSDR) U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, https://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=159&tid=29 (Erişim Tarihi:15.04.2020)

(URL4) EPA, US Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/styrene.pdf (Erişim Tarihi:15.04.2020)

(URL5) AIR PRODUCTS. (2012). *Condensation of volatile organic compounds (VOCs)*. http://www.airproducts.com/microsite/2013_nitrogen_solutions/PDFs/Cryo-Condap.pdf (Erişim Tarihi: 11.06.2019)

(URL6) http://www.cee-corp.com/VentilationSystems/RegenerativeOxidizer (Erişim Tarihi: 05.06.2019)

(URL7) https://pcselektronik.com.tr (Erişim Tarihi: 05.06.2019)

(URL8) https://www.drdflo.com/pages/Projects/Syringe-Pump.html(Erişim Tarihi:19.04.2020

(URL9) https://github.com/naroom/OpenSyringePump (Erişim Tarihi: 19.04.2020)

Wang, C., Zhang, C., Hua, W., Guo, Y., Lu, G., Gil, S., & Giroir-Fendler, A. (2017). Catalytic oxidation of vinyl chloride emissions over Co-Ce composite oxide catalysts. Chemical Engineering Journal, 315, 392–402.

Wang, F., Lei, X., & Hao, X. (2020). Key factors in the volatile organic compounds treatment by regenerative thermal oxidizer. Journal of the Air and Waste Management Association, 70(5), 557–567.

Wang, M., Huang, R. J., Cao, J., Dai, W., Zhou, J., Lin, C., … Hoffmann, T. (2019). Determination of n-alkanes, polycyclic aromatic hydrocarbons and hopanes in atmospheric aerosol: Evaluation and comparison of thermal desorption GC-MS and solvent extraction GC-MS approaches. Atmospheric Measurement Techniques, 12(9), 4779–4789.

Wang, T., Xue, L., Brimblecombe, P., Lam, Y. F., Li, L., & Zhang, L. (2017). Ozone pollution in China: A review of concentrations, meteorological influences, chemical precursors, and effects. Science of the Total Environment, 575, 1582–1596.

Williams, J., & Koppmann, R. (2007). Volatile organic compounds in the atmosphere: an overview. Volatile Organic Compounds in the Atmosphere, In: Koppmann, R. (Ed.)., Cahpter 1, Blackwell Pub., Hindistan, ISBN:987-1-4051-3115-5, 1-32.

Williams, R., Kaufman, A., & Garvey, S. (2015). Next Generation Air Monitoring (NGAM) VOC Sensor Evaluation Report. (May), 56. Retrieved from https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NERL&dirEntryId=308114&simpleSearch=1&searchAll=Next+generation+air+monitoring

Witherspoon, J., Tata, P., Card T., Lue-Hing, C., (2003), Control Technologies, VOC Emissions from Wastewater Treatment Plants. In: Tata, P., Witherspoon, J., Lue-Hing, C.(Eds.), Chapter15, Boca Raton: CRC Press,

Xiao, G., Xin, S., Wang, H., Zhang, R., Wei, Q., & Lin, Y. (2019). Catalytic Oxidation of Styrene over Ce-Substituted La1- xCexMnO3 Catalysts. Industrial and Engineering Chemistry Research, 58(14), 5388–5396.

Yang, C., Miao, G., Pi, Y., Xia, Q., Wu, J., Li, Z., & Xiao, J. (2019). Abatement of various types of VOCs by adsorption/catalytic oxidation: A review. Chemical Engineering Journal, 370(December 2018), 1128–1153.

Yılmaz D., 2006, Bazı Uçucu Organik Bileşiklerin Absorpsiyonla Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yurdakul, S., Civan, M., & Tuncel, G. (2013). Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere, Turkey: Sources and variability. Atmospheric Research, 120–121, 298–311.

Yurdakul, S., Civan, M., & Tuncel, G. (2013). Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere, Turkey: Sources and variability. Atmospheric Research, 120–121, 298–311.

Yurdakul, S., Civan, M., Kuntasal, Ö., Doğan, G., Pekey, H., & Tuncel, G. (2018). Temporal variations of VOC concentrations in Bursa atmosphere. Atmospheric Pollution Research, 9(2), 189–206.

Zhang, G., Feizbakhshan, M., Zheng, S., Hashisho, Z., Sun, Z., & Liu, Y. (2019). Effects of properties of minerals adsorbents for the adsorption and desorption of volatile organic compounds (VOC). Applied Clay Science, 173(March), 88–96.

Zhang, X., Gao, B., Creamer, A. E., Cao, C., & Li, Y. (2017). Adsorption of VOCs onto engineered carbon materials: A review. Journal of Hazardous Materials, 338, 102–123.

Zhu, L., Shen, D., & Luo, K. H. (2020). A critical review on VOCs adsorption by different porous materials: Species, mechanisms and modification methods. Journal of HazardousMaterials, 389(January), 122102.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Coşkun AYVAZ
Doğum Yeri	Fatih
Doğum Tarihi	16.06.1992
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	(531)936 86 31
E-Posta Adresi	coskunayvaz@istanbul.edu.tr
Web Adresi	https://avesis.istanbulc.edu.tr/coskunayvaz/



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Yıldız Teknik Üniversitesi
Fakülte	İnşaat Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2016

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği

Makale ve Bildiriler

SCI,SSCI,AHCI INDEXLERİNE GİREN DERGİLERDE YAYINLANAN MAKALELER

Şahin, Ü. A., Onat, B., Akın, Ö., Ayvaz, C., Uzun, B., Mangır, N., ... & Harrison, R. M. "Temporal variations of atmospheric black carbon and its relation to other pollutants and meteorological factors at an urban traffic site in Istanbul." Atmospheric Pollution Research. Vol. 11, Is. 7, July 2020, pp 1051-1062. (2020).

Onat B., Alver Şahin Ü., Uzun B., Akin O., Özkaya F., Ayvaz C., "Determinants of exposure to ultrafine particulate matter, black carbon, and PM2.5 in common travel modes in Istanbul", ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, vol.206, pp.258-270, 2019

Onat B., Alver Şahin Ü., Uzun B. , Akin Ö. , Özkaya F., Ayvaz C., "Commuter Exposure to Black Carbon, Fine ParticulateMatter and Particle Number Concentration in Ferryand at the Pier in Istanbul", ATMOSPHERE, vol.10, pp.439-439, 2019

KİTAP VEYA KİTAPLARDA BÖLÜMLER

Alver Şahin Ü., Onat B., Ayvaz C., "Climate Change and Greenhouse Gases in Turkey", in: Recycling and Reuse Approaches for BetterSustainability, Balkaya N., Guneysu S., Eds., Springer, London/Berlin , London, pp.201-213, 201

Aydin M.İ., Ayvaz C., Ateş A.E., Yüzer B., Eds., "4th INTERNATIONAL CONFERENCEON RECYCLING AND REUSEBOOK OF PROCEEDINGS ", İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2018

Aydin M.İ., Ayvaz C., Ateş A.E., Yüzer B., Eds., "4th INTERNATIONAL CONFERENCE ONRECYCLING AND REUSE BOOK OF ABSTRACTS", İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2018

HAKEMLİ KONGRE/SEMPOZYUM BİLDİRİ KİTAPLARINDA YER ALAN YAYINLAR

ONAT B. , ALVER ŞAHİN Ü. , Uzun B., Akın Ö., Özkaya F., AYVAZ C. "Commuter exposure to black carbon, fine particulate matter and particle number concentration in public marine transport in Istanbul." 18th World Clean Air Congress 2019, İstanbul, Türkiye, 23 - 27 September 2019, ss.715-724.

Karadeniz A., Ayvaz C., Ulutaş K., Demir S., "EFFECTS OF INLET AND OUTLET HEIGHTS ON CLEAN PRESSUREDROP IN A CYCLONE.", 1. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT, TECHNOLOGY AND MANAGEMENT (ICETEM), NİĞDE, TÜRKIYE, 27-29 Haziran 2019, vol.1, no.1, pp.59-59

Uzun B. , Onat B., Alver Şahin Ü., Akin Ö. , Özkaya F., Ayvaz C., "KENTSEL ALANLARDA ULAŞIM ARAÇLARINDAN KAYNAKLANAN İNCE PARTİKÜLMADDE MARUZİYETİNİN BELİRLENMESİ.", 14. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ, İZMİR, TÜRKIYE, 17-20 Nisan 2019, cilt.1, no.1, ss.1425-1432

Ayvaz C., Alver Şahin Ü., Onat B., Uzun B. , Dumanoglu Y., "Reduction of VOC in Workplace Indoor Air With Ozone Application", 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECYCLING AND REUSE, İSTANBUL, TÜRKIYE, 24-26 Ekim 2018, pp.185-186

Alver Şahin Ü., Ayvaz C., Onat B., Uzun B. , Çelikkol İ., Efe M. , et al.,"The Use of Sensors for Monitoring Particulate Matters in Urban Air of Istanbul", 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECYCLING AND REUSE, İSTANBUL, TÜRKIYE, 24-26 Ekim 2018, pp.303-304

Ayvaz C., Alver Şahin Ü., Onat B., Uzun B., "Source apportionment of air pollution using wind profile near Ataturk Airport in Istanbul", 6th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology, Bilbao, ISPANYA, 20-22 Haziran 2018, pp.41-41

Uzun B. , Onat B., Alver Şahin Ü., Akin Ö. , Özkaya F., Ayvaz C., "Commuter exposure to black carbon, ultrafine particle and fine particulate matter in ferry, sea-bus and dock", 6th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology, Bilbao, ISPANYA, 20-22 Haziran 2018, pp.17-17

Alver Şahin Ü., Onat B., İlkiliç N.E., Uzun B. , Ayvaz C., Dumanoğlu Y., et al.,"Determination of Volatile Organic Compounds in an Adhesive TapeProduction Factory Workplace Air.", 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECYCLING AND REUSE, İSTANBUL, TÜRKIYE, 24-26 Ekim 2018, pp.305-305

Onat B., Alver Şahin Ü., Uzun B. , Akin Ö. , Özkaya F., Ayvaz C., "Estimation of the air pollutants exposure and GHG Emissions from the Road Transport in an Urban Area", 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECYCLING AND REUSE, İSTANBUL, TÜRKIYE, 24-26 Ekim 2018, pp.183-184

Ayvaz C., Alver Şahin Ü., Onat B., Uzun B., "Sense Particulate Matter in Istanbul Air", 6th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology, Bilbao, ISPANYA, 20-22 Haziran 2018, pp.25-25

Onat B., Alver Şahin Ü., Uzun B., Akin Ö. , Özkaya F., Ayvaz C., "Personal exposure to BC, UFP and PM2.5 in road transport", 6th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology, Bilbao, ISPANYA, 20-22 Haziran 2018, pp.42-42

Alver Şahin Ü., Onat B., Akin Ö. , Uzun B., Mangir N., Doğan M. , et al.,"Temporal Variations of BC and Relation to Other Air Pollutants İn Istanbul", 6th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology, Bilbao, ISPANYA, 20-22 Haziran 2018, pp.21-21