



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



BACA GAZI KAYNAKLI HAVA
KİRLETİCİLERİNİN FOTOKATALİTİK
OKSİDASYON YÖNTEMİ İLE GİDERİMİ

Zeynep Cansu AYTURAN

DOKTORA TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Zeynep Cansu AYTURAN tarafından hazırlanan “BACA GAZI KAYNAKLI HAVA KİRLETİCİLERİNİN FOTOKATALİTİK OKSİDASYON YÖNTEMİ İLE GİDERİMİ” adlı tez çalışması 08/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

.....

Danışman

Prof. Dr. Şükrü DURSUN

.....

Üye

Prof. Dr. Hüseyin TOROS

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Sezen KÜÇÜKÇONGAR

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNT

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi BAP tarafından 18101004 nolu proje ile ve TÜBİTAK tarafından 118Y080 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Zeynep Cansu AYTURAN

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BACA GAZI KAYNAKLI HAVA KİRLETİCİLERİNİN FOTOKATALİTİK OKSİDASYON YÖNTEMİ İLE GİDERİMİ

Zeynep Cansu AYTURAN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Şükrü DURSUN

2021, 180 Sayfa

Jüri

**Danışmanın Prof. Dr. Şükrü DURSUN
Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL
Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Dr. Öğr. Üyesi Sezen KÜÇÜKÇONGAR
Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNT**

Bacalar yanma prosesleri sonucunda açığa çıkan hava kirleticilerinin başlıca kaynakları arasında yer alırlar. Bu kirleticiler inorganik ya da organik kökenli olabilirler. İnorganik kirleticiler kükürtdioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), partikül madde (PM) gibi birçok kirleticiyi içerirler. Organik kirleticiler ise kalıcı toksik organikler ve uçucu organik bileşikler (UOB) grubunu da içerisinde barındıran birçok farklı kirleticiyi temsil ederler. UOB grubu yaklaşık 150 farklı bileşiği içerir ve bunların büyük çoğunluğu insan sağlığına zararlı ve toksik olarak kabul edilmektedir. Tüm bu özellikleri dikkate alındığında UOB'ın giderimi oldukça büyük bir öneme sahiptir. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre baca gazlarında bulunan UOB sınıflara ayrılmış, zarar derecelerine göre en tehlikeli grup için sınır değeri 20 mg/m³ olarak belirtilmiştir. Geçmişten günümüze birçok farklı giderim teknolojisi geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Belirli konsantrasyonların üzerinde olanlara göre düşük konsantrasyonlardaki kirleticilerin klasik yöntemlerle giderimi daha yetersizdir. Fotokatalitik oksidasyon son dönemlerde UOB giderimi için kullanılan teknolojilerden bir tanesidir. Bu yöntem ile birçok farklı organik kirleticinin giderilebileceği tespit edilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında baca gazlarında sıklıkla rastlanılabilen iki önemli UOB olan benzen ve tolüen kirleticilerinin heterojen fotokatalitik oksidasyon yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında bir soy metal olan gümüş (Ag) ile geçiş metallerinden biri olan nikel (Ni) birlikte TiO₂ parçacıklarının üzerine doplanarak yeni bir fotokatalizör geliştirilmiş ve laboratuvar ölçekli reaktör sistemi tasarlanmıştır. Işık kaynağı (UVC ve UVA), ortam sıcaklığı (120 °C, 150 °C, 180 °C), nem (%25 ve %50) ve TiO₂ üzerine Ag ve Ni doplama yüzdesi (%0,5, %1, %2,5, %5) gibi sistem parametreleri değiştirilerek birçok deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar üzerinden benzen ve tolüen kirleticilerinin giderimi için en başarılı şartlar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan tüm deneyler dikkate alındığında benzen için ortalama giderim verimi %82,79 bulunurken, tolüen için ortalama giderim verimi %90,02 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre benzen ve tolüen kirleticilerinin eş zamanlı olarak fotokatalitik oksidasyon yöntemi ile giderimi açısından en uygun şartlar UVC ışık altında 120 °C sıcaklık, %25 nem ve %0,5 doplama yapılan fotokatalizör kullanımı olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baca Gazı, Fotokatalitik Oksidasyon, Hava Kirleticilerinin Giderimi, Modifiye Fotokatalizör, TiO₂, UOB

ABSTRACT

PhD THESIS

REMOVAL OF AIR POLLUTANTS ORIGINATING FROM STACK GAS WITH PHOTOCATALYTIC OXIDATION

Zeynep Cansu AYTURAN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Şükrü DURSUN

2021, 180 Pages

Jury

**Advisor Prof. Dr. Şükrü DURSUN
Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL
Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Assistant. Prof. Dr. Sezen KÜÇÜKÇONGAR
Assistant. Prof. Dr. Fatma KUNT**

Stacks are among the main sources of air pollutants released as a result of combustion processes. These pollutants can be of inorganic or organic origin. Inorganic pollutants include many pollutants such as sulfur dioxide (SO₂), nitrogen oxides (NO_x), carbon monoxide (CO), particulate matter (PM) while organic pollutants represent many different pollutants, including persistent toxic organics and volatile organic compounds (VOC). The VOC group includes about 150 different compounds, the majority of which are considered harmful and toxic to human health. Considering all these features, the removal of VOC is of great importance. According to the Industrial Air Pollution Control Regulation, VOCs in flue gases are classified into classes, and the limit value for the most dangerous group is specified as 20 mg/m³ according to the degree of damage. From past to present, many different removal technologies have been developed and continue to be developed. Removal of pollutants at low concentrations by conventional methods is more inadequate than those above certain concentrations. Photocatalytic oxidation is one of the technologies used for VOC removal recently. It has been determined that many different organic pollutants can be removed with this method. Within the scope of this thesis, the removal of benzene and toluene pollutants, which are two important VOCs frequently encountered in flue gases, by heterogeneous photocatalytic oxidation method has been studied. In this study, a new photocatalyst by doping silver (Ag), a noble metal, and nickel (Ni), one of the transition metals, on TiO₂ particles was developed and laboratory scale reactor system was designed. Many experiments were carried out by changing the system parameters such as the light source (UVC and UVA), ambient temperature (120°C, 150°C, 180°C), humidity (25% and 50%) and percentage of Ag and Ni doping on TiO₂ (0.5%, 1%, 2.5%, %5) and the most successful conditions for the removal of benzene and toluene contaminants were tried to be determined based on the results obtained. Considering all the experiments carried out within the scope of this study, the average removal efficiency for benzene was found as 82.79%, while the average removal efficiency for toluene was 90.02%. According to the results obtained, the most suitable conditions for the simultaneous removal of benzene and toluene pollutants by photocatalytic oxidation method were determined as 120°C temperature, 25% humidity and 0.5% doping photocatalyst under UVC light.

Keywords: Flue Gas, Modified Photocatalyst, Photocatalytic Oxidation, Removal of Air Pollutants, TiO₂, VOC

ÖNSÖZ

Danışmanım Prof. Dr. Şükrü Dursun'a rehberliği, yol göstericiliği, her koşulda desteklerini ve imkanlarını paylaştığı için teşekkür ediyorum. Bana duyduğu güven beni her zaman motive etti ve çalışmamı daha iyi hale getirmemi sağladı. Ayrıca tezimin hazırlanmasında verdiği destek, değerli bilgiler ve dostlukları için Dr. Öğr. Üyesi. Sezen Küçükçongar ve Dr. Öğr. Üyesi Fatma Kunt'a teşekkür ederim.

Ayrıca, 18101004 nolu proje ile Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına ve 118Y080 nolu ARGE projesi ile maddi desteğini aldığım TÜBİTAK Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Destek Grubuna teşekkür ederim.

Destekleri, yardımları ve her koşulda moral bulmamı sağladıkları için yakın arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Merve Kalem ve Arş. Gör Gamze Göktepe'ye içtenlikle teşekkür ederim.

Canım abim Murat Öztürk'e her zaman yanımda olduğu, her sıkıştığımda yardım eli uzattığı ve verdiği değerli tavsiyeler için çok teşekkür ediyorum. Tabii ki, bana her zaman yaşattığı sonsuz enerjisi ve neşesi için sevgili kardeşim Göksu'ya özel teşekkürlerimi sunarım. Değerli eşim Yasin Akın Ayturan ve oğlumuz Doruk Ayturan'a bu çalışmanın birer destekçisi oldukları ve her koşulda yanımda oldukları için en içten teşekkürlerimi iletiyorum. Son olarak bu süreçte desteklerini esirgemeyen ve her zaman moral veren ailemin diğer üyelerine de teşekkür ederim.

Zeynep Cansu AYTURAN
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
ÇİZELGELER LİSTESİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	iv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Önemi	1
1.2. Tezin Amacı	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Hava Kirliliği ve Kaynakları	4
2.1.1. Baca Gazı Kaynaklı Hava Kirleticileri	5
2.1.1.1. İnorganik Kirleticiler	5
2.1.1.1.1. Kükürt Oksitler	5
2.1.1.1.2. Azot Oksitler	6
2.1.1.1.3. Karbon Monoksit	7
2.1.1.2. Organik Kirleticiler	7
2.1.1.2.1. Hidrokarbon Kirleticiler	8
2.1.1.2.1.1. Düşük Molekül Ağırlıklı Hidrokarbonlar	8
2.1.1.2.1.2. Klorlu Hidrokarbonlar	8
2.1.1.2.1.3. Aromatik Hidrokarbonlar	9
2.1.1.2.1.3.1. Benzen	10
2.1.1.2.1.3.2. Tolüen	14
2.1.1.2.2. Hidrokarbon Olmayan Organik Kirleticiler	15
2.2. Baca Gazı Kaynaklı Hava Kirleticileri Giderim Yöntemleri	16
2.2.1. Adsorpsiyon	17
2.2.2. Absorpsiyon	18
2.2.3. Yoğunlaştırma	19
2.2.4. Termal Oksidasyon	20
2.2.5. Katalitik Oksidasyon	21
2.2.5.1. Fotokatalitik Oksidasyon	22
2.2.5.1.1. Fotokatalizörler	24
2.2.5.1.2. Modifiye Fotokatalizörler	26
2.2.5.1.3. Fotokatalitik Reaktörler	31
2.3. Fotokatalizör Sentezleme Yöntemleri	32
2.3.1. Sol-jel Yöntemi	33
2.3.1.1. Sol-jel Prosesinin Bileşenleri	33

2.3.1.2. Sol-jel Prosesi Reaksiyonları	34
2.3.1.3. Sol-jel Prosesinin Oluşturduğu Yapılar	36
2.3.1.3.1. Kaplama Yöntemleri.....	38
2.3.1.3.1.1. Daldırma ile Kaplama	38
2.3.1.3.1.2. Döndürme ile Kaplama	40
2.3.1.3.1.3. Diğer Kaplama Yöntemleri	41
2.3.2. Diğer Fotokatalizör Sentezleme Yöntemleri	42
2.4. Baca Gazı Örnekleme Yöntemleri.....	44
2.4.1. Zenginleştirerek Örnekleme	44
2.4.1.1. Adsorpsiyon Tüpleri ile Numune Alma	45
2.4.1.2. Yıkama Şişeleri ile Numune Alma.....	46
2.4.2. Zenginleştirmeden Örnekleme.....	47
2.4.2.1. Gaz Depolama Tankları ve Gaz Numune Torbaları ile Numune Alma	47
2.4.2.2. Test Tüpleri ile Numune Alma	48
2.4.2.3. Direk Okuma Ekipmanları ile Numune Alma	48
2.5. Baca Gazı Analiz Yöntemleri.....	49
2.5.1. Azot ve Kükürt Bileşiklerinin Analizi	49
2.5.2. Hidrokarbonların Analizi	50
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	54
3.1. Fotokatalizörlerin Hazırlanması	54
3.1.1. Sol Hazırlama Prosedürü.....	55
3.1.2. Kaplama ve Isıl İşlem Prosedürleri.....	57
3.1.3. Fotokatalizör Karakterizasyonu.....	59
3.1.4. Kaplama Özellikleri	61
3.2. Fotokatalitik Oksidasyon Reaktörünün Tasarlanması	62
3.3. Deney Düzeneklerinin Oluşturulması.....	63
3.3.1. Nem Oranın Ayarlanması.....	66
3.4. Deneysel Çalışma Koşulları ve Numune Alma.....	70
3.4.1. Çalışma Koşulları.....	70
3.4.2. Numune Alma.....	73
3.5. Numunelerin Analizi.....	74
3.5.1. Ekstraksiyon	75
3.5.2. Cihaz Kalibrasyonu.....	75
3.5.3. Ölçüm Yöntemi.....	76
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	78
4.1. Fotokatalizör Karakterizasyonu ve Kaplama Özellikleri.....	78
4.1.1. SEM-EDX Analiz Sonuçları	78
4.1.2. XRD Analiz Sonuçları	81
4.1.2. Kaplama Özellikleri	85
4.2. Deney Sonuçları ve Deneysel Parametrelerin Etkileri	88
4.2.1. Işık Kaynağının Etkisi.....	90
4.2.2. Doplama Yüzdesinin Etkisi.....	92
4.2.3. Sıcaklığın Etkisi.....	94
4.2.4. Nem Yüzdesinin Etkisi	97
4.2.5. Farklı Parametrelerin Etkilerinin Karşılaştırılması.....	100
4.2.6. Beklenmeyen Pik Oluşumları	107

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	110
5.1 Sonuçlar	110
5.2 Öneriler	113
KAYNAKLAR	116
EKLER	127
ÖZGEÇMİŞ.....	Error! Bookmark not defined.



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Organik Hava Kirleticilerin Sınıflandırılması.....	8
Şekil 2. 2. Benzenin düzlemsel yapısı (Carey, 2019)	11
Şekil 2. 3. Benzen reaksiyonları (Wikibooks, 2017)	12
Şekil 2. 4. Benzen halkasının yapısı ve bağ özellikleri (Villaluenga ve Tabe-Mohammadi, 2000)	12
Şekil 2. 5. Günlük benzen mazuriyeti kaynakları (Wallace, 1996)	13
Şekil 2. 6. Tolüen'in kimyasal yapısı (Anonymus, 2021).....	14
Şekil 2. 7. Fotokatalitik oksidasyon prosesinin avantajları (Kumar ve ark., 2014).....	23
Şekil 2. 8. Fotokatalitik Oksidasyon Proses Şeması (Dijy ve Divya, 2015)	24
Şekil 2. 9. TiO ₂ Fotokatalizörlüğünde Gerçekleşen Fotokatalitik Oksidasyon Prosesi (Persson, 2015).....	26
Şekil 2. 10. Farklı tasarımlara sahip dairesel reaktörlerin profil görünüşleri: (A) akışlı dairesel reaktör; (B) doldurulmuş boşluklu akışlı dairesel reaktör; (C) akışkan yataklı reaktör. (1) uv lambası, (2) hava giriş ve çıkışı (3) kuvarstan yapılan iç halka, (4) fotokatalizör katmanı, (5) dış halka, (6) fan, (7) uv yarısaydam fotokatalizör taşıyıcılar (Dionysiou ve ark., 2016)	32
Şekil 2. 11. Ön başlatıcının hidrolizi ve yoğunlaşması sırasında gerçekleşen reaksiyonlar (Toygün ve ark., 2013)	35
Şekil 2. 12. pH değerine göre reaksiyon özellikleri (Toygün ve ark., 2013)	36
Şekil 2. 13. Sol-jel yöntemi ile elde edilen ürünler (Asim ve ark., 2014).....	37
Şekil 2. 14. Daldırma ile kaplama yöntemi aşamaları (Anonymus, 2013)	39
Şekil 2. 15. Gazların ve buharların örneklenme prensipleri (DFG, 2012)	44
Şekil 2. 16. Aktif karbon tüpü şematik görüntüsü	45
Şekil 2. 17. Yıkama şişesi örnekleri (APTI435, 1983)	47
Şekil 2. 18. Gaz kromatografisi (GC) sisteminin şematik görünümü (Chromacademy, 2019).....	51
Şekil 2. 19. Tipik bir FID analizörünün şematik görünümü (INSTTools, 2021)	53
Şekil 3. 1. Tez çalışmasının akım şeması	54
Şekil 3. 2. Sollerin görünümü (a) Ag içeren Sol B çözeltisi (b) Ni içeren Sol B çözeltisi (c) Ti içeren Sol A çözeltisi	56
Şekil 3. 3. Sollerin son görünümü (a) %0,5 doplama yapılmış sol, (b) %5 doplama yapılmış sol	57
Şekil 3. 4. Daldırma ile kaplama cihazı (a) Cihaz fotoğrafı, (b) AutoCAD çizimi	58
Şekil 3. 5. Cam plakaların sırasıyla (a) kaplama sırasındaki, (b) kurutma sırasındaki ve (c) ısıtma işlem öncesi görüntüleri.....	59
Şekil 3. 6. Zeiss EVO LS10 SEM-EDX analiz cihazı (Gateway, 2009)	60
Şekil 3. 7. BRUKER D8 ADVANCE X-Işını Difraktometresi Cihazı (TheJamesHuttonInstitute, 2020).....	61
Şekil 3. 8. Tez kapsamında tasarlanan reaktörün 3 boyutlu AutoCAD çizimi.....	63
Şekil 3. 9. Reaktörün dış ve iç görünüşleri	63
Şekil 3. 10. Fotokatalitik oksidasyon ile hava kirleticisi giderim sistemi deney düzeneği	64
Şekil 3. 11. Gaz üretim sistemi şematik gösterimi.....	65
Şekil 3. 12. Hava kirleticisi giderim sistemi AutoCAD çizimi ve son halinin görünümü	66
Şekil 3. 13. EPA Metot 4 baca gazında nem oranı belirleme deney düzeneği (EPA, 2017a).....	67
Şekil 3. 14. Nem oranı belirleme deney düzeneği	68

Şekil 3. 15. Numune alma amacıyla kullanılan Hygitest marka solvent tüpü.....	74
Şekil 3. 16. Analizler sırasında kullanılan cihazın görünümü (AntTeknik, 2021).....	75
Şekil 3. 17. Benzen kalibrasyon grafiği	76
Şekil 3. 18. Tolüen kalibrasyon grafiği	76
Şekil 3. 19. Zamana göre kolon sıcaklığı artış grafiği	77
Şekil 4. 1. %0.5 doplama yapılan malzeme (Fotokatalizör 1) (a) SEM görüntüsü ve (b) EDX grafiği.....	78
Şekil 4. 2. %0.5 doplama yapılan malzemenin EDX haritalandırma grafikleri (a) Yüzey üzerinde Ag, Ni, Ti ve O element dağılımı, (b) Yüzey üzerinde Ag, Ni veTi element dağılımı.....	79
Şekil 4. 3. %1 doplama yapılan malzeme (Fotokatalizör 2) (a) SEM görüntüsü ve (b) EDX grafiği.....	79
Şekil 4. 4. %1 doplama yapılan malzemenin EDX haritalandırma grafikleri (a) Yüzey üzerinde Ag, Ni, Ti ve O element dağılımı, (b) Yüzey üzerinde Ag, Ni veTi element dağılımı.....	79
Şekil 4. 5. %2.5 doplama yapılan malzeme (Fotokatalizör 3) (a) SEM görüntüsü ve (b) EDX grafiği.....	80
Şekil 4. 6. %2.5 doplama yapılan malzemenin EDX haritalandırma grafikleri (a) Yüzey üzerinde Ag, Ni, Ti ve O element dağılımı, (b) Yüzey üzerinde Ag, Ni veTi element dağılımı.....	80
Şekil 4. 7. %5 doplama yapılan malzeme (Fotokatalizör 4) (a) SEM görüntüsü ve (b) EDX grafiği.....	80
Şekil 4. 8. %5 doplama yapılan malzemenin EDX haritalandırma grafikleri (a) Yüzey üzerinde Ag, Ni, Ti ve O element dağılımı, (b) Yüzey üzerinde Ag, Ni veTi element dağılımı.....	81
Şekil 4. 9. %0,5 doplama yapılan malzemenin XRD kırınım grafiği	82
Şekil 4. 10. %1 doplama yapılan malzemenin XRD kırınım grafiği	83
Şekil 4. 11. %2,5 doplama yapılan malzemenin XRD kırınım grafiği	84
Şekil 4. 12. %5 doplama yapılan malzemenin XRD kırınım grafiği	85
Şekil 4. 13. %0,5 doplama yapılan malzemenin (a) 2 boyutlu AFM görüntüsü (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	86
Şekil 4. 14. %1 doplama yapılan malzemenin (a) 2 boyutlu AFM görüntüsü (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	87
Şekil 4. 15. %2,5 doplama yapılan malzemenin (a) 2 boyutlu AFM görüntüsü (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	87
Şekil 4. 16. %5 doplama yapılan malzemenin (a) 2 boyutlu AFM görüntüsü (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	87
Şekil 4. 17. Benzen giderim verimine ışık kaynağının etkisi	91
Şekil 4. 18. Tolüen giderim verimine ışık kaynağının etkisi.....	91
Şekil 4. 19. UVC kullanılan deneylerde doplama yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi	92
Şekil 4. 20. UVC kullanılan deneylerde doplama yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi	93
Şekil 4. 21. UVA kullanılan deneylerde doplama yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi	93
Şekil 4. 22. UVA kullanılan deneylerde doplama yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi	94
Şekil 4. 23. UVC kullanılan deneylerde sıcaklığın benzen giderim verimine etkisi	95
Şekil 4. 24. UVC kullanılan deneylerde sıcaklığın tolüen giderim verimine etkisi	95

Şekil 4. 25. UVA kullanılan deneylerde sıcaklığın benzen giderim verimine etkisi	96
Şekil 4. 26. UVA kullanılan deneylerde sıcaklığın tolüen giderim verimine etkisi	96
Şekil 4. 27. UVC kullanılan deneylerde nem yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi	98
Şekil 4. 28. UVC kullanılan deneylerde nem yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi	98
Şekil 4. 29. UVA kullanılan deneylerde nem yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi	99
Şekil 4. 30. UVA kullanılan deneylerde nem yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi	100
Şekil 4. 31. UVC kullanılan deneylerde farklı sıcaklıklarda ve nem oranlarında doplama yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi	101
Şekil 4. 32. UVC kullanılan deneylerde farklı sıcaklıklarda ve nem oranlarında doplama yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi.....	101
Şekil 4. 33. UVA kullanılan deneylerde farklı sıcaklıklarda ve nem oranlarında doplama yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi	102
Şekil 4. 34. UVA kullanılan deneylerde farklı sıcaklıklarda ve nem oranlarında doplama yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi.....	103
Şekil 4. 35. Farklı doplama yüzdelerinde ışık kaynağı ve sıcaklığın benzen giderim verimine etkisi (%25 Nem).....	104
Şekil 4. 36. Farklı doplama yüzdelerinde ışık kaynağı ve sıcaklığın tolüen giderim verimine etkisi (%25 Nem).....	104
Şekil 4. 37. Farklı doplama yüzdelerinde ışık kaynağı ve sıcaklığın benzen giderim verimine etkisi (%50 Nem).....	105
Şekil 4. 38. Farklı doplama yüzdelerinde ışık kaynağı ve sıcaklığın tolüen giderim verimine etkisi (%50 Nem).....	105
Şekil 4. 39. Restek Pro EZGC UOB kromotogram (Restek, 2021).....	107
Şekil 4. 40. Beklenmeyen pikleri gösteren örnek kromotogram	108

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2. 1. Gaz hava kirleticilerinin sınıflandırılması (De Nevers, 2000)	4
Çizelge 2. 2. Gaz hava kirletici giderim sistemlerinin karşılaştırması (Schnelle ve Brown, 2002)	17
Çizelge 2. 3. TiO ₂ 'in Fotokatalitik Oksidasyon Reaksiyonları (Shayegan ve ark., 2018)	25
Çizelge 2. 4. Farklı Morfolojik Özellikteki TiO ₂ Fotokatalizörlerin UOB Gideriminde Kullanımı	27
Çizelge 2. 5. Elektronik modifikasyona uğramış TiO ₂ fotokatalizörlerin UOB gideriminde kullanımı	28
Çizelge 2. 6. Modifikasyona uğramış fotokatalizörlerin inorganik gaz kirletici gideriminde kullanımı	30
Çizelge 3. 1. Sollerde kullanılan kimyasal miktarları	55
Çizelge 3. 2. Cihazda otomatik ayar yapıldığında nem içeriği ölçüm sonuçları	70
Çizelge 3. 3. Çalışma kapsamında değiştirilen parametreler ve deney numaraları	71
Çizelge 3. 4. 20 °C ve 25 °C sıcaklıklarda sistem içine verilen kirletici konsantrasyon hesabı sonuçları	73
Çizelge 4. 1. %0,5 doplama yapılan malzemenin XRD analizi desen listesi	82
Çizelge 4. 2. %1 doplama yapılan malzemenin XRD analizi desen listesi	83
Çizelge 4. 3. %2,5 doplama yapılan malzemenin XRD analizi desen listesi	84
Çizelge 4. 4. %5 doplama yapılan malzemenin XRD analizi desen listesi	85
Çizelge 4. 5. Malzeme yüzeylerinin ince film kalınlığı ve hesaplamada kullanılan parametreler	86
Çizelge 4. 6. Giriş örneklerinin sonuçları	88
Çizelge 4. 7. Karanlık ortamda yapılan deneylerin sonuçları	88
Çizelge 4. 8. Çıkış örneklerinin sonuçları	89
Çizelge 4. 9. Farklı parametreler değiştirilerek yapılan deneylerin % giderim verimleri (Benzen)	106
Çizelge 4. 10. Farklı parametreler değiştirilerek yapılan deneylerin % giderim verimleri (Tolüen)	106
Çizelge 4. 11. Restek Pro EZGC UOB pik noktalarında okunan kirleticiler ve özellikleri (Restek, 2021)	108
Çizelge 5. 1. Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların başka çalışmalarla karşılaştırılması	112

SİMGELER VE KISALTMALAR

Ag:	Gümüş
Ni:	Nikel
TiO ₂ :	Titanyumdioksit
°C:	Santigrat derece
SO ₂ :	Kükürt dioksit
H ₂ S:	Hidrojen sülfür
NO:	Azot oksit
NH ₃ :	Amonyak
H-C:	Hidrokarbon
HCl:	Hidroklorik asit
HF:	Hidrojen florür
SO ₃ :	Kükürt trioksit
H ₂ SO ₄ :	Sülfirik asit
SO _x :	Kükürt oksitler
SO ₄ :	Sülfat
NO ₂ :	Azotdioksit
NO ₃ :	Nitrat
O ₃ :	Ozon
H ₂ O ₂ :	Hidrojen peroksit
HNO ₃ :	Nitrik asit
N ₂ O:	Azot protoksit
CO:	Karbon monoksit
PCDD:	Dioksin
PCDF:	Furan
PCB:	Poliklorlu bifenil
PAH:	Polisiklik aromatik hidrokarbonlar
ppmv:	Hacimsel milyonda bir birim
%:	Yüzde
PM:	Partikül Madde
Å:	Angstrom
F:	Flor
Cl:	Klor

Br: Brom
I: İyot
CFC: Kloroflorokarbon
Ca(OH)₂: Kalsiyum hidroksit
N₂O₃: Dinitrojen Trioksit
CO₂: Karbon dioksit
TiO₂: Titanyum dioksit
ZnO: Çinko oksit
WO₃: Tungsten trioksit
ZnS: Çinko sülfür
CdS: Kadmiyum sülfür
UV: Ultraviyole
W: Watt
µm: Mikrometre
rpm: Dakikadaki devir sayısı
CVD: Kimyasal buhar biriktirme
SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX: Enerji Dağılımlı X-Ray Analizi
XRD: X-Işını Difraktometresi
AFM: Atomik Güç Mikroskobu
GC: Gaz kromatografi
FID: Alev iyonizasyon dedektörü
MS: Kütle Spektrometrisi
UOB: Uçucu Organik Bileşikler
YÖK: Yüksek Öğretim Kurumu
EPA: Amerika Çevre Koruma Ajansı
PTFE: Teflon
ICDD: Uluslararası Kırınım Verileri Merkezi

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Önemi

Hava kirliliği insan sağlığı ve yaşamının uzunluğunu belirleyen ana etmenlerden bir tanesidir. Hava'nın farklı kirleticilerle kirlenmesi sonucu insan sağlığı da doğrudan bu kirlilikten etkilenmektedir. Hava kirliliğine sebep olan kirleticiler inorganik veya organik kökenli olabilirler. 150'den fazla bileşiği içinde barındıran uçucu organik bileşikler (UOB) ise hava kirliliğine sebebiyet veren en ciddi etmenlerden birini oluşturmaktadır. Bu sınıftaki kirleticiler için Türkiye mevzuatında herhangi bir limit değeri belirtilmemiştir. Bu sebeple hem bacalardan salınan miktarların belirlenmesi hem de kontrolleri ciddi önem taşımaktadır. Bu hava kirleticilerinin fotokatalitik oksidasyon yöntemi kullanılarak giderimiyle alakalı Türkiye de oldukça az çalışma mevcuttur ve TÜBİTAK tarafından yürütülen Vizyon 2023: Bilim ve Teknoloji Stratejileri Projesi kapsamında hazırlanan hava kirliliği ön raporunda UOB' in zararlarından bahsedilmekte ve bunların kontrolleriyle alakalı yeni sistemler geliştirilmesi önerilmektedir (Sofuoğlu, 2003). Bu sebeple bu tez çalışmasının sonuçları ile Vizyon 2023 hedeflerine katkı sağlanmıştır.

Fotokatalitik oksidasyon prosesi UOB gideriminde oldukça fazla tercih edilen, ucuz ve çevreci yöntemlerden bir tanesidir. Bu amaçla tasarlanan birçok ekipman bulunmaktadır (Dionysiou ve ark., 2016). Bu kapsamda fotokatalitik oksidasyon prosesi ile farklı UOB' in giderilmesi amacıyla ortaya konmuş 100'lerce çalışma bulunmakla birlikte fotokatalitik oksidasyon veriminin artırılması, fotokatalitik oksidasyon için en uygun şartların belirlenmesi, asıl yerinde çalışabilecek daha büyük ölçekli sistemlerde UOB giderimini yapabilen sistemlerin geliştirilmesi ve eş zamanlı olarak birden fazla UOB verimli bir şekilde kontrol edebilecek sistemlerin tasarlanması gibi alanlarda yeni çalışmalara ihtiyaç vardır. Horizon 2020 toplumsal projeleri incelendiğinde fotokatalitik oksidasyon prosesi ve nano materyaller kullanılarak bunların hava kirleticilerinin gideriminde kullanılmasıyla alakalı projelerin mevcut olduğu görülmektedir (Commission, 2018). Ancak YÖK Ulusal Tez Merkezi ve Tübitak Proje arşivleri tarandığında hava kirleticilerinin fotokatalitik oksidasyonla giderimi konusunda çok fazla çalışma olmadığı saptanmıştır. Bu alanda eksiklerin giderilmesi açısından bu tez çalışması oldukça büyük bir öneme sahiptir.

Ayrıca bu çalışma kapsamında fotokatalizörün fotokatalitik aktivitesi metal/metal doplama işlemi ile artırılmıştır. Verbruggen özellikle fotokatalitik verimi

oldukça yüksek olan soy metaller kullanılarak doplanan fotokatalizörlerle alakalı çalışmaların sınırlı sayıda olduğunu tespit etmiş ve bu alanda yeni çalışmalara ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır (Verbruggen, 2015). Bu tez çalışması kapsamında TiO_2 nano parçacıklarının doplanması için bir soy metal (Ag) ve bir geçiş metali (Ni) olmak üzere iki farklı metal birlikte kullanılmıştır. TiO_2 fotokatalizörünün modifiye edilerek fotokatalitik oksidasyon işlemi için kullanımıyla alakalı birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, açık literatürde bu çalışmada kullanılan iki metalin birlikte TiO_2 doplanması amacıyla kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bunun yanı sıra fotokatalitik oksidasyon verimi doğru reaktör tasarımına da bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Her reaktör kendine özgü geometri ve tasarıma sahiptir. Özellikle dairesel ve levha şeklindeki kaplamalı reaktörler ticari amaçlı olmasa da laboratuvar çalışmaları açısından oldukça faydalıdır. Bu tip reaktörlerle sistem kinetikleri belirlenerek, daha büyük çaplı reaktörler tasarlanması mümkündür. Dolgulu yatak olarak tasarlanan reaktörlerde ise ana sorun yüksek radyal radyasyon sebebiyle devamlılığın muhafaza edilememesidir. Akışkan yataklı reaktörler ise yüksek akış hızları sebebiyle fotokatalizörün kaybedilmesi sonucu zor kontrol edilirler. Sonuç olarak fotokatalitik reaksiyonlar için en iyi şartları sağlamak amacıyla doğru boyutlandırılmış, verimliliği yüksek, düşük basınç değişimi sağlayan, ışık radyasyonunu en iyi şekilde değerlendiren, devamlılığını sağlayabilen ve fotokatalizör kaybını en aza indiren yeni tasarımlara ihtiyaç vardır (Boyjoo ve ark., 2017). Bu çalışma kapsamında bundan önceki çalışmalarda en çok verim alınan reaktör geometrilerinden biri olan dairesel yapılı bir reaktör oluşturulmuş ve fotokatalizör kaybının en aza indirilmesi amacıyla fotokatalizörler cam destek malzemesi üzerine yerleştirilmiştir. Bu tasarımla katalizörler ve ışık kaynağından maksimum verimde faydalanılmıştır.

Çalışma kapsamında katalizör doplama yüzdeleri, nem oranları, ışık kaynakları ve sıcaklık parametreleri değiştirilerek farklı şartlar altında denemeler yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan denemelerde kullanılan sıcaklık aralığında (120-180 °C) çalışan hava kirleticilerinin fotokatalitik oksidasyonu ile alakalı çalışma tespit edilmemiştir. Bu sıcaklıklarda çalışabilen bir sistem geliştirilmiş olması açısından da bu tez çalışması oldukça büyük bir öneme sahiptir.

1.2. Tezin Amacı

Hava kirliliği günümüz sağlık problemlerinden çoğunun ana sebebidir. Bacalar bu hava kirliliğine en fazla katkıda bulunan kaynaklardan biridir. Baca gazlarında birçok farklı kirletici bulunmaktadır. Uçucu organik bileşikler kısa veya uzun süreli sağlık problemlerine yol açma ihtimali olan ve düşük dozlarda bile oldukça toksik olabilen baca kaynaklı kirleticilerden biridir. Uçucu organik bileşiklerin başlıca kaynakları endüstriyel tesisler ve enerji üretim tesislerin bacaları, motorlu taşıtlar, evlerde ve ofislerde kullanılan boya ve temizlik amaçlı materyallerdir. Bunun yanı sıra UOB atmosfere salındıklarında havada bulunan azot oksitlerle reaksiyona girerek ozon ve küçük boyutlu partikül maddelerin oluşumuna sebep olurlar. Bu kirleticilerin miktarının artışı kentlerde sis oluşumuna sebebiyet verir. Sis kentlerde hava kalitesini ve halk sağlığını olumsuz etkileyen etmenlerden bir tanesidir. Bu tez çalışması ile Türkiye ve Dünyada önemli hava kirliliği problemleri arasında gösterilen baca gazı kaynaklı uçucu organik bileşiklerin (benzen ve tolüen) fotokatalitik oksidasyon yöntemi ile giderimi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada giderim verimi yüksek bir sistem elde etmek amacıyla tasarlanan reaktör, farklı sıcaklık ve nem ortamlarında çalıştırılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Reaktör çalıştırılırken tercih edilen sıcaklıklar, baca gazlarının salınımı sırasında oluşan ortalama sıcaklıklara göre ayarlanmıştır. Bu sayede ilerleyen süreçte tasarlanabilecek daha büyük ölçekli bir giderim sistemi için de temel oluşturulması hedeflenmiştir. Büyük ölçekli reaktörlerin tasarımı, ancak laboratuvar ortamında gerçekleştirilen başarılı denemeler sonucu elde edilen veriler yardımıyla mümkün olmaktadır.

Fotokatalitik oksidasyon prosesinin hava kirleticileri üzerine uygulamaları son yıllarda hız kazanmış durumdadır. Özellikle modifiye edilmiş fotokatalizörlerin giderim verimini arttırdığı birçok çalışma ile kanıtlanmıştır. Bu nedenle yeni bir modifiye fotokatalizörün sentezlenmesi ve doğru miktarlarda kullanımı ile daha düşük maliyetli ve yüksek verimli yeni sistemler tasarlamak mümkündür. Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların bundan sonra yapılacak çalışmalara temel oluşturması da amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Hava Kirliliği ve Kaynakları

Hava kirliliği genel olarak hem çevreye hem de insan sağlığına ciddi zararlar verebilecek kirleticilerin hava ortamında bulunması olarak tanımlanmaktadır. Hava kirliliği sanayi devriminden bu yana yarattığı etkilerle hem canlıların sağlıklarını hem de doğal süreçleri etkilemeye devam etmektedir. Hava kirliliğinin bazı meteorolojik etkenlerin de katkısıyla uzun mesafeler taşınması ve global olarak yayılımı da mümkündür. Hava kirleticileri gaz ya da partikül olarak iki formda bulunabilir. Gaz formundaki hava kirleticileri birincil ve ikincil kirleticiler olarak sınıflandırılır. Birincil kirleticiler atmosfere direk olarak kaynaklardan yayılarak herhangi bir değişime uğramayan kirleticilerdir. İkincil kirleticiler ise atmosfere salındıktan sonra havada bulunan başka maddeler ile reaksiyona girerek ortaya çıkarlar (Yücedağ ve Kaya, 2016). Çizelge 2.1.'de havada en çok bulunan birincil ve ikincil kirleticiler gösterilmektedir.

Çizelge 2. 1. Gaz hava kirleticilerinin sınıflandırılması (De Nevers, 2000)

Sınıf	Birincil Kirleticiler	İkincil Kirleticiler
Kükürt İçeren Bileşikler	SO ₂ , H ₂ S	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , MSO ₄
Azot İçeren Bileşikler	NO, NH ₃	NO ₂ , MNO ₃
Organik bileşikler	H-C Bileşikleri	Ketones, aldehydes, O ₃ , acids, organic, aerosols
Karbon Oksitleri	CO, CO ₂	-
Halojen Bileşikleri	HCl, HF	-
Fotokimyasal Oksidanlar	-	O ₃ , NO ₃ , H ₂ O ₂ , peroxyacetyl nitrate

Hava kirliliğinin başlıca sebepleri doğal kaynaklar ve insan etkisiyle ortaya çıkan kaynaklardır. Doğal nedenlerin başında orman yangınları, volkanik patlamalar, kum fırtınaları ve çürüme prosesi gelmektedir. İnsan etkisiyle ortaya çıkan hava kirliliğinin ana kaynağını ise fosil yakıtların yanması oluşturmaktadır. Özellikle termik santraller, atık yakma tesisleri ve üretim tesislerinin bacaları bu kaynakların başında gelmektedir (Holman, 1999). Bunun dışında mobil kaynaklar (motorlu araçlar, ulaşım araçları vb.), endüstriyel prosesler, atık depolama tesisleri, temizlik ürünleri ve boyalar,

atık depolanması, ısınma amaçlı çeşitli maddelerin yakılması gibi bazı aktiviteler de hava kirliliğine katkı sağlar.

2.1.1. Baca Gazı Kaynaklı Hava Kirleticileri

Baca gazları önemli hava kirleticisi kaynaklarının başında gelmektedir. Bacalardan kaynaklanan kirleticiler özellikle yakıt türüne göre değişiklik göstermektedir. Bunun yanı sıra endüstriyel üretim sırasında kullanılan bazı maddeler de bacalardan kaynaklanan gaz türevindeki kirleticilerinin konsantrasyon ve türünü etkileyebilmektedir. Bu kirleticiler inorganik ya da organik yapıda olabilirler. Özellikle inorganik yapıda olan kirleticiler organik yapıdakilere göre çok daha yüksek konsantrasyonlarda atmosfere salınırlar. Ancak organik yapıdaki kirleticilerin düşük konsantrasyonları bile ciddi tehlikelere sebebiyet verebilir. Bacalardan salınan ve önem arz eden başlıca inorganik ve organik yapıdaki kirleticilerin özellikleri bu kısımda verilmektedir.

2.1.1.1. İnorganik Kirleticiler

2.1.1.1.1. Kükürt Oksitler

Kükürt oksitler (SO_x) gaz ve partiküller olmak üzere farklı kimyasalların bileşiminde oluşmaktadır. Potansiyel sağlık etkileri düşünüldüğünde en önemli türü kükürt dioksit (SO_2) olarak bilinir. Birincil olarak yakma sonucu prosesleri sonucu açığa çıkmaktadır. SO_2 alev almayan, patlama özelliği bulunmayan renksiz bir gazdır. 0.1 ila 1 ppmv aralığında tat olarak hissedilebilir. 3 ppmv den daha yüksek olduğunda ise burunda acı ve rahatsız edici bir his bırakır. SO_2 atmosferdeki fotokimyasal ve katalitik prosesler vasıtasıyla kükürt trioksit ve sülfürik asit veya tuzlarına dönüşebilir (Miller, 2017). Bununla birlikte ikincil türleri içerisinde partikül asidik sülfatlar, sülfürik asit ve amonyum bisülfat gibi kirleticilerin oluşumuna da katkıda bulunur (Schlesinger, 2010). Bunun dışında kükürt monoksit, kükürt trioksit ve disülfür monoksit gibi kirleticiler de bu sınıftadır (Pan, 2011). Bu kirleticiler genellikle elektrik üretimi amacıyla kömür yakılan tesislerden ve ham petrol, kömür, metal maça gibi ham maddelerden ürün üreten endüstriyel tesislerden yoğun olarak salınmaktadır (Pan, 2011). Kükürt oksitler ve kükürt partikülleri hem sağlık hem de çevresel etkilere sebep olurlar. Yüksek seviyelerdeki kısa süreli SO_x maruziyeti geçici nefes darlıkları, astım krizleri ve solunum problemlerine sebep olurken uzun süreli SO_x maruziyeti solunum yolu

hastalıkları, kalp krizi ve prematüre doğum gibi sağlık sorunları doğurabilir. Bunun yanı sıra kükürt oksitler havadaki diğer maddeler ile reaksiyonlar vererek asit yağmurlarına sebebiyet verir. Bu nedenle sulak bölgelerin asidikleşmesi, ormanların, toprağın ve bitkilerin zarar görmesi, binalar ve yapı malzemeleri üzerinde tahribatlar gibi etkiler ortaya çıkabilir (Pan, 2011).

2.1.1.1.2. Azot Oksitler

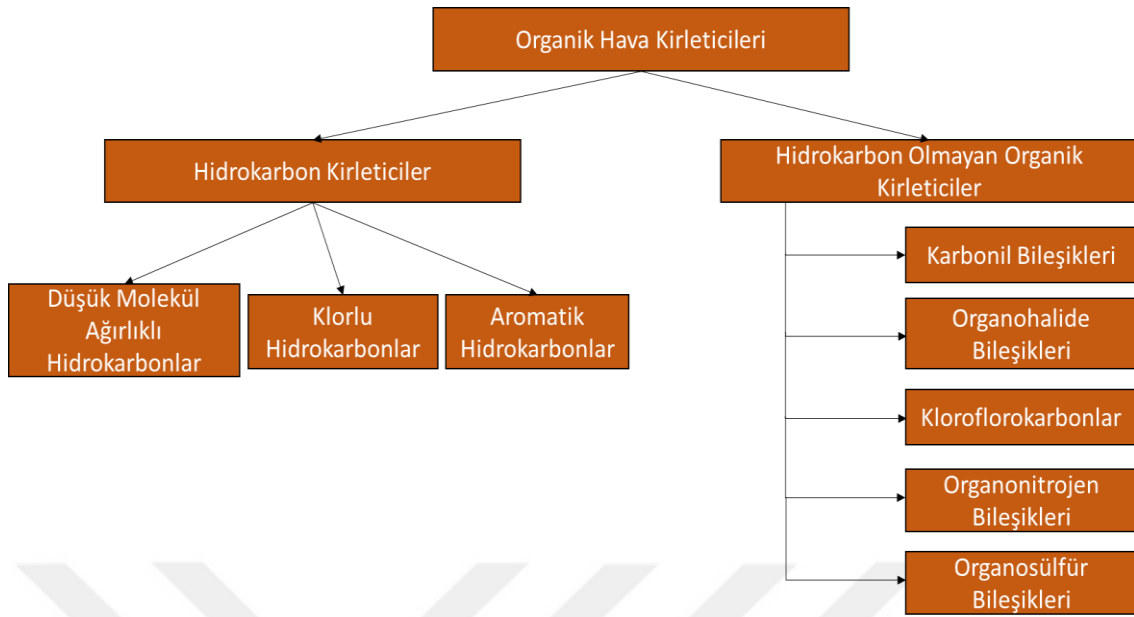
Azot oksitler (NO_x) genellikle yanma prosesleri sonucunda ortaya çıkarlar. Atmosferik azotun ve havanın yanma işlemi sırasında termal olarak birleşmesi sonucunda termal azot oksitler ortaya çıkar. Yanma bölgesinde atmosferik azotun hidrokarbonlarla birleşme sonucu hızlanmış azot oksitler ortaya çıkar. Son olarak yakıttaki kimyasal olarak bağlı azotun dönüşmesi sonucu yakıt azot oksitler ortaya çıkmaktadır (Tayyeb Javed ve ark., 2007). Azot oksitlerin başlıca türlerini azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) oluşturmaktadır. Azot protoksit (N_2O) sera gazı özelliğinden dolayı önemli azot oksit türlerinden biridir (Cofala ve Syri, 1998). Azot oksitler havada girdikleri çeşitli reaksiyonlarla farklı tür bileşiklerin oluşmasına da sebebiyet verirler. Özellikle gece vakitlerinde önemli oksidanlardan biri olan nitrat (NO_3) oluşumu gerçekleşebilir. Bunun yanı sıra nitrik asit (HNO_3) ozon deliğine katkı sağlayan başlıca azot oksit kaynaklı bileşiklerdendir. Ozon atmosfere direk salınabilen bir kirletici değildir. Uçucu organik bileşikler ve azot oksitlerin gerçekleştirdiği reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Motorlu araçlar, fabrika bacaları, kimyasal buharları azot oksitlerin başlıca kaynakları arasında yer alır. Bu gazlar hem insan sağlığına hem de çevre ve biyolojik ekosisteme negatif etki ederler. NO suda çözünmesinin az olması sebebiyle solunum sisteminin her noktasına ulaşabilir. Diğer azot oksitler ise alveoller ve diğer akciğer kanallarına girerek alveol yapılarını ve akciğer fonksiyonlarını bozabilir (Boningari ve Smirniotis, 2016). Kısa süreli NO_x maruziyetleri sonucunda akciğer iltihabı, akciğer fonksiyonu bozukluğu ve akciğer büyümesi gibi solunum hastalıkları oluşabilir. Özellikle küçük boyutlu NO_x 'lerin ve asit yağmurlarının ciğerlere girmesi sonucu bronşit, amfizem gibi solunum hastalıkları oluşur ve insanlarda kalp hastalığı problemlerini şiddetlenir (Boningari ve Smirniotis, 2016). N_2O ise sera gazı etkisi açısından karbon dioksitten 300 kat daha fazla olan bir gazdır. N_2O molekülü atmosfere yayıldığında, doğal olarak yıkılmadan önce yüz yıldan fazla kalır (Boningari ve Smirniotis, 2016).

2.1.1.1.3. Karbon Monoksit

Karbon monoksit (CO) tatsız, kokusuz, iritasyon özelliği olmayan ancak oldukça toksik bir gazdır. Hidrokarbonların tamamlanmamış yanması sonucunda açığa çıkmaktadır (Prockop ve Chichkova, 2007). En yaygın hava kirleticilerinden biridir, havadaki konsantrasyonları kirli hava kütlelerinde birkaç ppmv seviyelerinde olabilir (Badr ve Probert, 1995). Başlıca CO kaynakları fosil yakıtların yanması, endüstriyel prosesler, biyo kütle ve atık yakma işlemleridir. Özellikle insan kaynaklı aktivitelerden kaynaklanan CO her geçen gün artmaya devam etmektedir. CO atmosferde bulunduğu süreçte genellikle toprak, bazı mantar türleri, insan ve hayvanların kanlarındaki hemoglobinde depolanabilirler. Ayrıca bir kısmının okyanuslara da geçtiği tespit edilmiştir. Ekosistemlerde CO alımının genellikle mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirildiği belirlenmiştir (Badr ve Probert, 1995). CO'nun insan ve hayvanların kanındaki hemoglobine kolayca bağlanma özelliği kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltarak dokularda oksijen yetmezliği oluşmasına sebebiyet verir. CO'ya akut maruziyette hemoglobine bağlanan CO oranının %67'yi aşması durumunda ölüm gözlemlenebilir (Stewart, 1975). Yapılan çalışmalarda yüksek konsantrasyonlarda CO zehirlenmesi yaşayan hastaların %37'sinin kalp krizi riski yaşadığı ve %38'nin sonraki 7,6 yıl içinde öldüğü belirlenmiştir. CO maruziyeti sonrası anjina atakları, aritmiler ve kardiyak enzim seviyesinde artışlar sıklıkla görülür (Prockop ve Chichkova, 2007).

2.1.1.2. Organik Kirleticiler

Organik hava kirleticileri uçucu organik bileşikler (UOB) olarak da bilinmektedir. İçeriğinde karbon bulunduran (karbon monoksit, karbon dioksit, karbonik asit, metalik karbürler veya karbonatlar ve amonyum karbonat hariç) normal şartlar altında uçucu özellik gösteren bileşiklerin hepsi uçucu organik bileşikler olarak tanımlanmaktadır (EPA, 2017b). Hidrokarbon içeren uçucu organik bileşikler düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonlar (metan, etan, bütan, propan vb.), klorlu hidrokarbonlar (dioksin, furan vb.) ve aromatik hidrokarbonlar (naftalin, benzen, tolüen, etil benzen vb.) olarak üç ana sınıftan oluşmaktadır (Rymen, 1979). Bu gruptaki organikler genellikle yanma prosesleri sonucunda açığa çıkmaktadır. Bunun yanı sıra hidrokarbon içermeyen uçucu diğer organikler, karbonil bileşikleri, organohalide bileşikleri, kloroflorokarbonlar, organosülfür bileşikleri, organonitrojen bileşiklerini kapsamaktadır (Manahan, 2011). Şekil 2.1. de organik hava kirleticilerinin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 2. 1. Organik Hava Kirleticilerin Sınıflandırılması

2.1.1.2.1. Hidrokarbon Kirleticiler

2.1.1.2.1.1. Düşük Molekül Ağırlıklı Hidrokarbonlar

Bu gruptaki kirleticiler genellikle çok düşük molekül ağırlığına sahiptir. Uçuculukları çok fazladır v tespit edilmeleri ve ölçümleri zordur. Bu gurubun içindeki başlıca hidrokarbonlar metan, etan, propan ve bütandır (Encyclopedia, 2012). Bu bileşikler aşırı uçuculukları nedeniyle normal şartlarda gaz formunda bulunurlar. Bu bileşikler hidrokarbon özelliğindeki diğer birçok bileşik gibi yanma proseslerinden ve petrol türevi yakıtlardan ortaya çıkarlar. Metan bir sera gazı olmasına rağmen bazı tesislerde depolanarak elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Bütan ve propan ise sıvılaştırılıp tüplere konularak yakıt amaçlı kullanılmaktadır. Bu gruptaki gazların kontrolsüz kullanımı ve yüksek konsantrasyonlarına maruziyet ortamdaki oksijenin tükenmesine ve CO oluşumuna sebebiyet vermektedir. Özellikle bütan ve propan içeren tüplerin kullandığı alanlarda dikkat edilmesi gerekmektedir.

2.1.1.2.1.2. Klorlu Hidrokarbonlar

Klorlu hidrokarbonlar çözücüler, metal temizleyiciler, boya incelticileri, kuru temizleme sıvıları ve diğer organik kimyasalların sentezinde hammadde olarak kullanılan çok çeşitli uçucu organik kimyasalları kapsar. Özellikle yanma prosesleri

sonucunda açığa çıkan başlıca klorlu hidrokarbonlar dioksinler (PCDD'ler) ve furanlar (PCDF'ler) olarak bilinirler. Bu hidrokarbonlar benzer kimyasal özelliklere sahiptirler ve ikisi de oksijen atomlarıyla birbirine bağlanmış iki benzen halkasından oluşur. PCDD'lerde, benzen halkaları iki oksijen köprüsü ile birleştirilir ve PCDF'lerin durumunda benzen halkaları bir karbon bağı ve bir oksijen köprüsü ile bağlanır (McKay, 2002).

Poliklorlu bifenillerin (PCB'ler) çevresel davranışlarının çoğu, fiziksel özelliklerine bağlı olabilir. PCB'lerin polar olmayan doğası, güçlü bir şekilde hidrofobik ve dolayısıyla güçlü bir şekilde lipofilik oldukları anlamına gelir. Pürüzsüz yüzeyler için yüksek bir preveksiyon sergilerler, lipofilik ve hidrofobik özellikleri de dikkate alındığında, toprak ve sediman parçacıkları içinde adsorbe oldukları sonucuna varılır. Lipid ve organik bileşiklerin yüksek yüzey konsantrasyonu, PCB'leri su kütlelerinin yüzeyinde konsantre etme ve stabilize etme eğilimindedir (McKay, 2002). Tüm PCDD'ler ve PCDF'ler yüksek erime noktalarına ve düşük buhar basınçlarına sahip organik maddelerdir. Son derece düşük su çözünürlüğüne sahip olmaları ve partikül maddelerin yüzeylerinde adsorbe olma eğilimleriyle karakterize edilebilirler. Artan klor içeriği ile dioksin ve furanların suda çözünürlüğü azalır, organik çözücüler ve yağlardaki çözünürlüğü artar (McKay, 2002). Yapısındaki klor atomlarının sayısı ve pozisyonu farklı olan 75 PCDD ve 135 PCDF vardır. Her bir PCDD/F, konjener olarak adlandırılır, aynı sayıda klor atomuna sahip olan konjener grupları homolog olarak adlandırılır (McKay, 2002). Bu malzemeler yakma sistemlerinin zayıf çalışmasıyla önemli ölçüde üretilmektedir (Niessen, 2010). Dioksin, halk sağlığı üzerinde ciddi tehdit oluşturabilecek en toksik kimyasal olarak kabul edilir. EPA raporuna göre, dioksin maruziyeti kanser, üreme yeteneğinde azalma ve bağışıklık sisteminde hasar oluşturabilir (McKay, 2002).

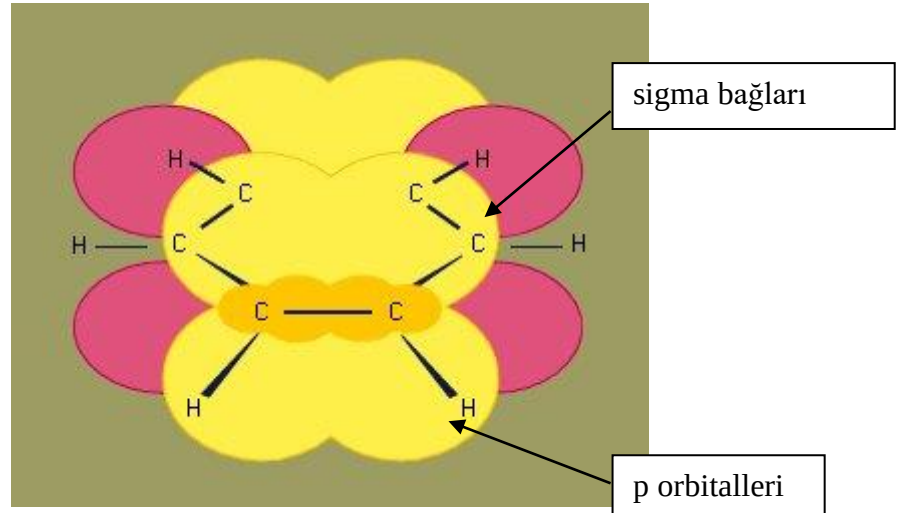
2.1.1.2.1.3. Aromatik Hidrokarbonlar

Aromatik hidrokarbonlar bir veya daha fazla benzen halkasının birbirlerine bağladığı doymamış bileşikler olarak bilinirler. İki veya üç benzen halkası içeren türlerine polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) denmektedir. PAH'lar hidrofobik bir yapıya sahiptirler. Bu kirleticiler yanma prosesi sırasında organik maddelerin tam yanmaması sonucunda oluşurlar (Alver ve ark., 2012). Atmosferde bulunan aromatik hidrokarbonlar oldukça yüksek bir salınım oranına sahiptirler ve başka bileşiklerle reaksiyon verme olasılıkları oldukça yüksektir (Barnes, 2015). Aromatik bileşiklerin

dünyadaki metan kaynaklı emisyonlar dışındaki organik karbon kaynaklı salınımların %10'unu oluşturduğu tahmin edilmektedir. Aromatik bileşiklerin başlıca kaynakları gaz yakıt kullanan araba egzozları ve bacalardır. Bunun yanı sıra çözücü kullanımı biokütle yakılması gibi işlemlerde de bu bileşiklerin oluştuğu bilinmektedir (Barnes, 2015). Kentsel alanlarda duman oluşumunu destekleyen meteorolojik koşullar altında uçucu organik bileşikler ve atmosferdeki NO_x reaksiyon vererek ciddi miktarlarda ozon ve partikül madde (PM) oluşumuna yol açabilir. Aromatik hidrokarbonlar, kentsel ortamlarda ozon ve diğer foto oksidanların oluşumuna önemli katkıda bulunur. Aromatik hidrokarbonların ozon üretimine katkısının %30-40 arasında olabileceği tahmin edilmektedir. Böyle yüksek bir katkı aromatikleri fotokimyasal ozon oluşumu açısından en önemli hidrokarbon sınıfı haline getirmektedir (Barnes, 2015).

2.1.1.2.1.3.1. Benzen

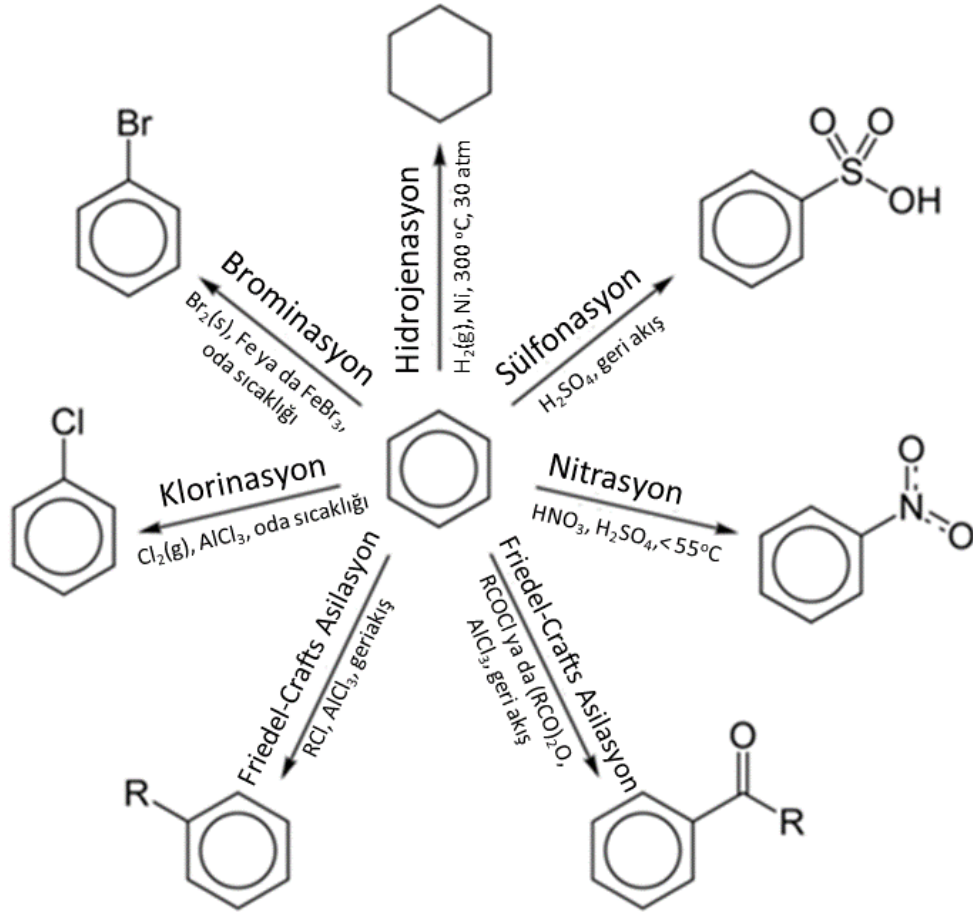
Benzen aynı zamanda benzol olarak da bilinir. Renksiz ve tatlı bir kokusu olan bir sıvıdır. Havaya çok hızlı bir şekilde buharlaşır ve suda çözünürlüğü çok düşüktür. Hızlı bir şekilde alevlenebilme özelliği vardır. Hava ortamında kokusu 1,5-4,7 ppm seviyelerinde alınabilir. Suda ise 2 ppm üzerinde kokusu alınabilir (Wilbur ve ark., 2007). Benzen 'in molekül ağırlığı 78.1 g/mol'dür. 15 ° C'deki özgül ağırlığı 0.8787'dir. Kaynama sıcaklığı 80,1°C (760 mmHg'de) ve katılaşma sıcaklığı 5,5°C'dir. Buhar yoğunluğu 2,7'dir ve buharın patlayıcı aralığı havada hacimce %1,4-7,1 aralığındadır. Sıvı formundaki benzen 26,1°C'de 100 mmHg buhar basıncında uçucudur (Aksoy, 2017). Benzenin molekül formülü C_6H_6 'dır. Benzen organik aromatik hidrokarbonların en küçüğüdür. Benzen karakteristik düzlemsel yapısını veren, bitişik karbon atomlarının p orbitallerinin üst üste binmesiyle oluşan, sigma bağları ve yüksek pi elektron yoğunluğuna sahip bölgeler içerir (Carey, 2019). Şekil 2.2. benzenin düzlemsel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2. 2. Benzenin düzlemsel yapısı (Carey, 2019)

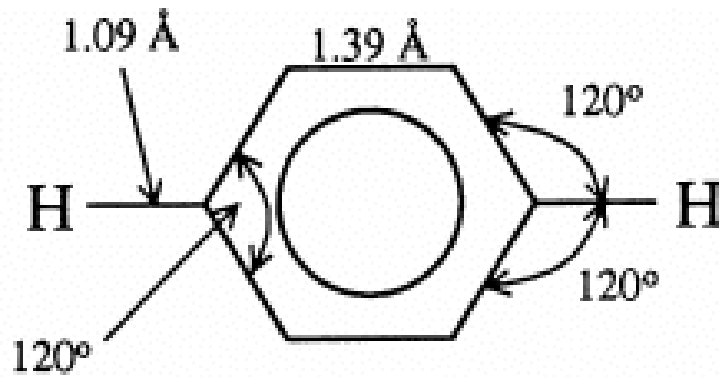
Modern bağ modelleri (değerlik bağı ve moleküler orbital teorileri) benzenin yapısını ve stabilitesini, elektronlarının altısının delokalizasyonu açısından açıklar. Delokalizasyon bir elektronun halkanın altı karbonunun tamamı tarafından çekilmesine işaret eder. Bu delokalizasyon elektronların daha güçlü tutulmasına neden olur, bu da benzeni doymamış bir hidrokarbon için beklenenden daha kararlı ve daha az reaktif hale getirir. Sonuç olarak, benzenin hidrojenasyonunun, alkenlerin (karbon-karbon çift bağları içeren diğer organik bileşikler) hidrojenasyonundan biraz daha yavaş gerçekleşmesi ve benzenin oksitlenmesi alkenlere göre çok daha zordur. Benzen reaksiyonlarının çoğu, halkanın kendisini sağlam bırakan ancak bağlı hidrojenlerden birinin yerini alan elektrofilik aromatik süstitüsyon adı verilen bir sınıfa aittir. Bu reaksiyonlar çok yönlüdür ve benzen türevlerini hazırlamak için yaygın olarak kullanılır(Carey, 2019). Benzenin girdiği bazı reaksiyonlar ve oluşan ürünler Şekil 2.3.'de verilmiştir.

Benzen, biyokütle ayrışma koşullarına göre fosil yakıtlarda doğal olarak bulunur. Bununla birlikte, petrokimya uygulamaları için kullanılan benzenin neredeyse tamamı insan yapımı hidrokarbon dönüşüm prosesleri ile oluşturulur. Benzen, diğer hidrokarbonlardan halka yapısının oluşturulması yoluyla ortaya çıkarılır. çatlama ve yeniden oluşum başlıca benzen üretme yollarıdır. Bunun yanı sıra daha çok benzen halkası içeren aromatiklerden de halka yeniden düzenleme yoluyla da elde edilebilir (Carey, 2019).



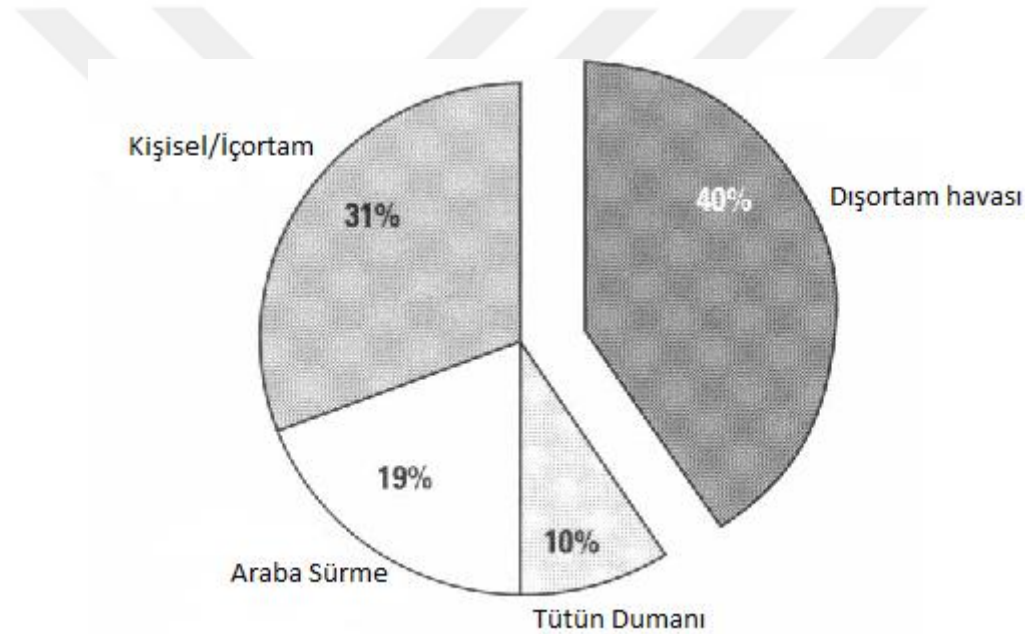
Şekil 2. 3. Benzen reaksiyonları (Wikibooks, 2017)

X-ışını kırınımı kullanılan deneysel çalışmalarda benzenin her karbon-karbon bağ mesafesinin 1,40 angstrom ($\text{\AA}$)' a eşit bir düzlemsel yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Bu değer, bir $\text{C} = \text{C} - \text{C} = \text{C}$ biriminin $\text{C} = \text{C}$ mesafesi (1,34 $\text{\AA}$) ile $\text{C} - \text{C}$ mesafesi (1,46 $\text{\AA}$) 'nin yarısı kadardır ve tümünün bağ açıları 120° 'dir. Şekil 2.4. benzen halkasının şekilsel yapısı ve bağ özelliklerini göstermektedir(Carey, 2019).



Şekil 2. 4. Benzen halkasının yapısı ve bağ özellikleri (Villaluenga ve Tabe-Mohammadi, 2000)

Benzen insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri sebebiyle dünya sağlık  rg t  tarafından dikkate alınması gereken önemli bir kirletici olarak sınıflandırılmıştır (WHO, 2010). Başlıca kaynakları petrol ve gazolin ,insan aktiviteleri, endstr riyel prosesler, otomobil egzozları olarak bilinmektedir. Bunun yanı sıra sigara dumanında salınımı olduğu belirlenmiştir (Wallace, 1989). Benzen tamamlanmamış yanmanın başlıca yan ürünlerinden biridir. Normal bir insanın bir günde maruz kaldığı benzen kaynakları şekil 2.5.' de verilmiştir. Bu grafiğe göre benzen maruziyeti en fazla dışortam havasında kaynaklanmaktadır. Bu oranı iç ortam havasında karşılaşılan maruziyet, araba sürme sürecindeki maruziyet ve sigara dumanı maruziyeti takip etmektedir(Wallace, 1996).



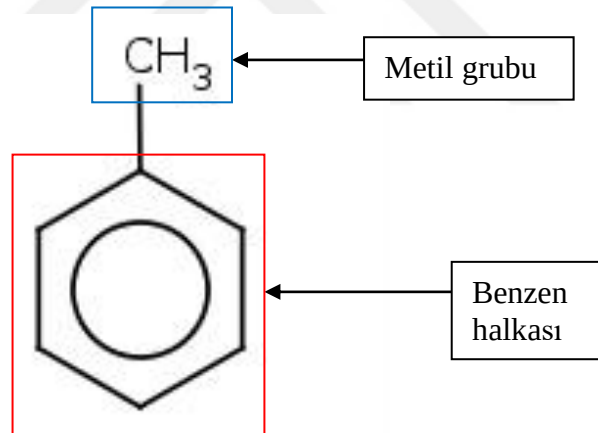
şekil 2. 5. Günlük benzen maruziyeti kaynakları (Wallace, 1996)

İnsanların benzene maruz kalması, birçok olumsuz sağlık etkisine sebep olabilir; özellikle kan ve kemik iliği üzerindeki toksik etkileri olduğu belirlenmiştir. Benzen maruziyetinin, özellikle lösemi, lenfoma, aplastik anemi, pansitopeni ve kromozomal anormallikler olmak üzere karsinogenez gelişme riskini arttırdığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra benzene maruz kalma pulmoner ödem, akut granüler tracheit, larenjit, bronşit ve masif kanama gibi çeşitli olumsuz solunum etkilerine yol açabilir. Ayrıca, karaciğer, böbrek ve beyin gibi çeşitli organları etkileyebilir. Bu nedenle, petrol rafinerilerinin yakınında yaşayan topluluklar, benzene maruz kalma olasılığının artması nedeniyle önemli sağlık risklerine sahiptir (D'Andrea ve Reddy, 2014).

2.1.1.2.1.3.2. Tolüen

Tolüen berrak, renksiz, alevlenebilir ve tatlı bir kokusu olan bir sıvıdır. Molekül formülü $C_6H_5CH_3$ şeklinde yazılır. Tolüen sudan daha az yoğunluğa (0,83 g/ml) sahiptir ve suda çok az çözünür (0.526 mg/ml) ve su yüzeyinde kalır. Tolüen'in buharı havadan daha ağırdır. Tolüen'in molekül ağırlığı 92.138 g/mol dür. 25 ° C'deki özgül ağırlığı 0,87'dir. Kaynama sıcaklığı 110,6°C (760 mmHg' de) ve katılma sıcaklığı -95,15 °C dir (EngineeringToolBox, 2018). Toluen kokusunun havada hissedilme konsantrasyonunun 8 ppm ve suda tat olarak algılanma konsantrasyonunun 0,04-1 ppm aralığında olduğu belirlenmiştir (Dorsey, 2000).

Tolüen aynı zamanda metilbenzen olarak da adlandırılır. Böyle adlandırılmasının başlıca sebebi yapısında bulunan karbon atomlarının sayısıdır. Molekül şekli olarak benzen halkasına ek olarak metil grubu içerir. Şekil 2.6. 'de tolüen'in kimyasal yapısı gösterilmektedir. Molekül yapısı düzlemseldir çünkü halkanın aromatik etkisini desteklemek için karbon atomlarının sp^2 hibritleşmesi göstermesi zorunluluğu vardır (Anonymus, 2020).



Şekil 2. 6. Tolüen'in kimyasal yapısı (Anonymus, 2021)

Tolüen 'in verdiği reaksiyonlar aromatik özellikteki diğer bileşiklerle benzer özelliktedir. Tolüen, elektrofillere benzenden daha reaktiftir. Bunun ana sebebi tolüen' in sahip olduğu metil grubunun elektron salma kapasitesinin aynı noktaya bağlı bir hidrojen atomunda ha fazla olmasıdır. Tolüen sülfanasyona girerek p-tolüen sülfanoik asiti ve demir II klorür varlığında klorinasyona girerek klorotolüen'in farklı izomerlerini (para ve orto) verir. Daha da önemlisi metil grubu oksidasyon daha duyarlıdır.

Potasyum permanganat ile reaksiyon vererek benzoik asit oluşumuna sebep olur. Serbest radikal durumunda metil grubu halojenasyona girer (Anonymus, 2020).

Dünyadaki tolüen üretiminin 10 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Üretimi petrolün katalitik dönüşümü, alifatik hidrokarbonların aromatzasyonu ve kok fırını endüstrisinin yan ürünü olarak gerçekleşir. Üretimin büyük kısmı, oktan oranlarını arttırmak için benzinin geri harmanlanmasında kullanılan bir benzen-tolüeneksilen karışımı formundadır. Ham tolüen %24 kadar benzen içerebilir. Bir dizi endüstriyel kullanıma sahiptir: boya, kauçuk, baskı, kozmetik, yapıştırıcılar ve reçine endüstrilerinde bir çözücü, taşıyıcı veya tiner olarak, diğer kimyasalların sentezi için bir başlangıç malzemesi ve yakıtların bir bileşeni olarak. Ortalama % 12 lik bir oranda çeşitli ev ürünlerinin içinde bulunur (WHO, 2000).

Atmosfere yayılan emisyonlar, üretim gibi nokta kaynakları ve benzin istasyonları gibi alan kaynaklarından kaynaklanmaktadır. Toplam kullanım ve kaynak dağılımı büyük ölçüde değişiklik gösterdiğinden, emisyonları ülke bazında tahmin etmek zordur. Yakıt kullanımı (benzin) en büyük emisyon kaynağıdır. Bunun dışında egzozlar ve sigara dumanı da diğer kaynaklar arasında yer almaktadır. Doğal sularda meydana gelen çoğu tolüen sonunda atmosfere salınmaktadır. Tütün dumanı ile birlikte boya ve tinerlerin mesleki olmayan kullanımları, iç mekan ortamlarında temel tolüen kaynakları arasındadır (WHO, 2000).

Tolüen de aynı bezen gibi ciddi sağlık problemlerine sebebiyet verebilir. Düşük ila orta konsantrasyonlara günden güne maruz kalmak yorgunluk, karışıklık, halsizlik, sarhoş tip eylemler, hafıza kaybı, bulantı ve iştah kaybına neden olabilir. Uzun süreli günlük tolüen maruziyeti bazı işitme ve renk görme kaybına neden olabilir. Kısa süreli ve çok yüksek konsantrasyonlara maruz kalmak ise kalıcı beyin hasarları, konuşma, görme veya işitme ile ilgili problemler, kas kontrolü kaybı, hafıza kaybı, zayıf denge ve zihinsel yetenek azalması, hatta ölüm gibi sonuçlar ortaya çıkarabilir (Benignus, 1981; Dorsey, 2000). Tolüenin ana etkisi beyin ve sinir sistemi üzerindedir, ancak orta veya yüksek tolüene maruz kalma ayrıca karaciğerlerde, böbreklerde ve akciğerlerde de zararlı etkiler gösterebilir (Dorsey, 2000).

2.1.1.2.2. Hidrokarbon Olmayan Organik Kirleticiler

Bu kirleticiler karbonil bileşikleri, oksijen içeren bileşikler, organohalid bileşikleri, kloroflorokarbonlar, organosülfür bileşikleri, organonitrojen bileşiklerini kapsamaktadır. Bileşiklerin ana özelliği içlerinde bir karbon atomu barındırmalarıdır.

Karbonil bileşikleri aldehit ve keton gruplarından oluşmaktadır. Bu gruba giren önemli kirleticilerden biri formaldehittir. Formaldehit, atmosferde hidroksil radikali HO ile reaksiyonlarından başlayarak atmosferik hidrokarbonların reaksiyonunun bir ürünü olarak üretilir. Acetaldehyde, Acrolein, Acetone, Methylethyl ketone diğer önemli karbonil bileşiklerindendir. Bir diğer grup ise oksijen içeren bileşiklerdir. Atmosferdeki oksijen içeren bileşikler arasında alifatik alkoller, fenoller, eterler ve karboksilik asitler bulunur. Her biri en az bir F, Cl, Br veya I atomu içeren halojen içeren hidrokarbon moleküllerinden oluşan organohalidler doymuş (alkilhalidler), doymamış (alkenil halojenürler) veya aromatik (aromatik halojenürler) olabilir. Organohalidleri çok çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikler sergiler. Kirletici olarak kabul edilen organohalid bileşiklerinin çoğu antropojenik kaynaklardan gelmekle birlikte, artık bu tür bileşiklerin organizmalar tarafından üretildiği bilinmektedir. Diklorometan diklorodiflorometan vinil klorür, Trikloroetilen ve poliklorlu bifenil (PCB) başlıca organohalidlerdendir. Diklorodiflorometan gibi yaygın olarak Freonlar olarak adlandırılan kloroflorokarbonlar (CFC'ler), karbona bağlı Cl ve F içeren uçucu 1- ve 2-karbon bileşikleridir. Bu bileşikler özellikle kararlıdır ve toksik değildir. Son yıllarda esnek ve sert köpüklerin üretiminde, soğutma ve iklimlendirme için sıvı olarak yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Hidrojen sülfür, H₂S üzerinde H için fenil ve metil gibi alkil veya aril hidrokarbon gruplarının ikame edilmesi, tioeterler (R-S-R) olarak da adlandırılan bir dizi farklı organosülfür tiyolüne (merkaptanlar, R-SH) ve sülfidlere yol açmaktadır. En önemli atmosferik organosülfür bileşiği, deniz organizmaları tarafından büyük miktarlarda üretilen dimetilsülfürdür. Oksidasyonu deniz atmosferinde SO₂'nin çoğunu üretir. Bunun dışındaki diğer önemli organosülfür bileşikleri metaantiol, 2-Propen-1-tiol, benzenetiol, tiyofen ve etilmimetilsülfürdür. Son olarak atmosferik kirletici maddeler olarak bulunabilen organik azot bileşikleri aminler, amidler, nitriller, nitro bileşikleri veya heterosiklik azot bileşikleri olarak sınıflandırılabilir. Bu organonitrojen bileşikleri antropojenik kirlilik kaynaklarından salınabilirler. Önemli miktarlarda antropojenik atmosferik azot, inorganik azotun reaktif organik türlerle reaksiyonlarından da kaynaklanabilirler. Örnekler arasında atmosferik NO₃ reaksiyonu ile üretilen nitratlar yer alır (Manahan, 2011).

2.2. Baca Gazı Kaynaklı Hava Kirleticileri Giderim Yöntemleri

Baca gazında bulunan inorganik ve organik hava kirleticilerinin giderimi için adsorpsiyon, absorpsiyon, yoğunlaştırma, termal ve katalitik oksidasyon gibi birçok

yöntem bulunmaktadır (De Nevers, 2000). Bu proseslerin özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge 2.2. 'de verilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları çok pahalı, bazıları ise ekstra kimyasal kullanımı olması ve kullanım ömürlerinin düşük olması sebebiyle istenilen verimlerde çalışmamaktadır (Kalte ve ark., 2016).

Çizelge 2. 2. Gaz hava kirleticisi giderim sistemlerinin karşılaştırması (Schnelle ve Brown, 2002)

Metot	Giriş Kirleticisi Konsantrasyonu (ppmv)	Verim (%)	Avantajlar	Dezavantajlar
Adsorpsiyon	250-5000	90-98	-İlk yatırım maliyeti düşüktür. -Çözücü yeniden kazanımı mümkündür.	Uygulaması sınırlıdır. Nem ve sıcaklık kısıtlamaları vardır.
Absorpsiyon	200-5000	50-98	-İnorganik ve bazı organiklerin arıtımı için uygundur.	Uygulanmasında sınırlamalar vardır.
Yoğunlaştırma	500-10000	50-95	-Ürün ve çözücü yeniden kazanımı için uygundur.	Uygulanmasında sınırlamalar vardır.
Termal Oksidasyon	20-100	95-99	-Yıkım kapasitesi çok yüksektir. -Uygulama alanı geniştir. - Isı enerjisi kullanılabilir.	Maliyeti çok yüksektir.
Katalitik Oksidasyon	50-100	90->95	-Maliyetleri çok fazla değildir. -Arıtım kapasiteleri yüksektir.	- Teknik sınırlamalar olabilir. -Organiklerin geri kazanımı mümkün değildir.

2.2.1. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon kirleticilerin bir katı yüzey vasıtasıyla giderimidir. Bir katının üzerindeki moleküller arası çekim kuvvetleri, yüzeyinde gazlar ve sıvı gibi diğer malzemeleri tutmak için mevcuttur. Adsorpsiyonda, bir gaz molekülünün termal hareketi, molekül yüzeye bağlandıkça ısıya dönüştürülür. Adsorpsiyon bu nedenle ekzotermik bir süreçtir. Bununla birlikte yüzeye adsorbe edilmiş gazın desorpsiyonuyla gerçekleşen sorbentin rejenerasyonu endotermiktir ve enerji sağlanmaktadır. Bazı adsorpsiyon işlemleri o kadar kuvvetli bir şekilde gerçekleşir ki, adsorbe edilen malzeme sadece bazı katı substratın uzaklaştırılmasıyla desorbe edilebilir. Böyle bir durumda, adsorban ve adsorbe edilmiş türler arasında kimyasal bağlar oluşur ve adsorpsiyon prosesine kemisorpsiyon denir (Flagan ve Seinfeld, 2012).

Adsorpsiyon özellikle çok seyreltik kirletici seviyelerine sahip büyük hacimli gazların arıtılması ve eser seviyelere kadar kirleticilerin uzaklaştırılması için çok uygundur. Adsorban olarak kullanım için en uygun katılar, büyük yüzey / hacim oranlarına, yani çok gözenekli yapılara sahiptir. Aktive edilmiş alüminalar, silika jeller ve moleküler elekler gibi polar adsorbanlar, polar gazlar için yüksek seçiciliğe sahiptir. Aktif karbon, yaygın olarak kullanılan ikinci bir adsorban sınıfıdır. Aktif karbon büyük ölçüde tek bir türün nötr atomlarından oluştuğu için polar olmayan molekülleri tercih etmek yerine polar molekülleri çekmek için potansiyel gradyana sahip değildir. Aktif karbon, tüm gazları kabaca orantılı olarak adsorbe etme eğilimindedir. Adsorpsiyon genellikle granül adsorban ile oluşturulmuş bir yatakta gerçekleştirilir. Adsorpsiyonun esas olarak fiziksel olduğu polar olmayan katılar, adsorpsiyonun kimyasal olduğu ve moleküllerin veya yüzeyin kimyasal yapısında hiçbir değişiklik meydana gelmeyen polar katılar, molekülleri adsorbe eden ve daha sonra reaksiyondan sonra serbest bırakan, yüzeyde değişmeyen veya yüzey atomlarının değiştirilmesini gerektiren katalitik olmayan veya katalitik olmayan kimyasal adsorbe edici yüzeyler olmak üzere üç farklı tür adsorban mevcuttur. En önemli polar olmayan adsorbanlar, hidrokarbonlar gibi polar olmayan moleküllerin bağlanmasında çok etkili olan karbondur. Silikon ve alüminyum oksitler gibi polar adsorbanlar, su, amonyak, hidrojen sülfür ve kükürt dioksit gibi polar molekülleri adsorbe etmek için kullanılır (Flagan ve Seinfeld, 2012).

2.2.2. Absorpsiyon

Gaz absorpsiyonu (emilimi) genellikle, temizlenecek gazın alttan girdiği ve üste konulan taze sıvıya karşı aktığı bir sütun veya kulede gerçekleştirilir. Sütun genellikle iki akış arasında daha iyi teması teşvik etmek için seramik ve boncuk gibi inert katılarla doludur (Flagan ve Seinfeld, 2012). Absorpsiyon prosesi kimyasal ya da fiziksel olarak gerçekleşebilir. Kirletici absorban (emici) içinde çözündüğünde fiziksel emilim meydana gelir. Kirletici ile çözücü veya çözücü içinde bulunan kimyasallar arasında bir reaksiyon gerçekleşiyorsa bu durumda emilimin kimyasal olduğu söylenir (Wang ve ark., 2004). Absorpsiyon prosesinin başlıca örnekleri ıslak ve kuru yıkayıcılardır. Gaz fazındaki bir kirleticinin temas eden bir sıvı faza emilmesi, sıvı fazda kirleticinin denge konsantrasyonundan daha az konsantrasyonda kirletici bulunması durumunda gerçekleşir. Başka bir deyişle, gaz fazındaki kirletici sıvı fazda bir miktar çözünürlüğe sahip olmalıdır. Sıvı faza emilimin gerçekleşmesi için, başlangıçta aynı kirleticinin sıvı fazdaki maksimum konsantrasyonundan kaçınılmalıdır. Bunun nedeni, faz sınırı

boyunca konsantrasyon farkının, iki faz arasında emilimin gerçekleşmesi için itici güç olmasıdır. Ek olarak, gazdan sıvıya (veya tam tersi) emilim (kütle transferi), gaz-sıvı matrisinin fiziksel özelliklerine (örn., dağılma, viskozite, yoğunluk) ve aynı zamanda yıkama sisteminin koşullarına (örn., sıcaklık, basınç, gaz ve sıvı kütle akış hızları). Bir kirleticinin emilimi, daha düşük sıcaklıklar, daha büyük sıvı-gaz temas yüzeyleri, daha yüksek sıvı-gaz oranları ve gaz fazında daha yüksek veya düşük kirletici konsantrasyonu ile artırılır. Bazı durumlarda, kirleticinin sıvı akışına ilave itici gücü vermek için yüksek basınçlar kullanılır. Bir kirletici ıslak bir yıkayıcıda fiziksel olarak emildiğinde, kirletici türlerde hiçbir tahribat meydana gelmediğine dikkat etmek önemlidir. Kirletici gaz fazından sıvı faza geçmiştir bu sebeple ıslak bir yıkayıcı sisteminde genellikle verilen kirleticinin giderimini sağlamanın sonucu olarak başka bir artırılmaya ihtiyaç duyulan sıvı meydana getirilir. Absorpsiyon amacıyla kullanılabilecek ıslak yıkayıcılardan bazıları yüksek verimli venturi yıkayıcı, jet venturi yıkayıcı sistemleri, paketlenmiş kuleler, spreyl kulesi yıkayıcılar, tepsi kuleleridir (Wang ve ark., 2004).

Kuru bir kimyasal yıkayıcı neredeyse her zaman kalsiyum veya sodyum bazlı bir absorban kullanır. Bu absorbanlar, asit gazlarının çoğunun yanı sıra bazı organik gazların giderimi için de iyi emici özelliklere sahip olan alkali absorbanlar olarak sınıflandırılır. Ayrıca, en sık kullanılan kuru alkali absorban sönmüş kireç veya Ca(OH)_2 'dir. Bazı durumlarda kuru absorban maddeye kuru (toz haline getirilmiş) aktif karbon da eklenir. Bu, kuru yıkayıcının ağır metalleri ve eser miktarda genellikle çok toksik organik maddeleri giderebilir. Kuru yıkama işleminden sonra katılar yıkama kulesinin dibinde birikir veya muhtemelen bir depoya ya da partikül arıtma sistemine yönlendirilir. Kuru bir yıkayıcının uzaklaştırma verimliliği öncelikle temizleyicide kullanılan asit / alkali oranına ve ayrıca çıkış havası sıcaklığına bağlıdır (Wang ve ark., 2004).

2.2.3. Yoğunlaştırma

Yoğuşma, bir buhar karışımının bir veya daha fazla uçucu bileşeninin doygunluk ve ardından bir faz değişikliği yoluyla kalan buharlardan ayrıldığı bir ayırma işlemidir. Gazdan sıvıya faz değişimi şu şekilde yapılabilir. Sistem basıncı verilen bir sıcaklıkta artırılabilir veya sistem sıcaklığı verilen bir basınçta düşürülebilir. Yoğuşma, uçucu bir bileşenin buhar fazı kısmi basıncının sıvı faz kısmi basıncından yüksek olduğu durumda gerçekleşir. Yoğunlaştırıcılar, öncelikle yakma fırınları veya emiciler gibi diğer

kontrollerden önce uçucu organik bileşikleri (UOB) gaz akımlarından uzaklaştırmak için kullanılabilirler. Ancak bazen yüksek UOB konsantrasyonlu gaz akımlarından kaynaklanan emisyonları azaltmak için tek başına da kullanılabilir. Tipik bir yoğuşma sistemi, kondenser, soğutma sistemi, depolama tankları, pompalardan oluşur (Wang ve ark., 2004). Yoğuşma sistemleri genellikle bir temas kondansatörü veya yüzey kondansatörü içerir. Temas yoğuşurma sistemleri, ortam veya soğutulmuş sıvıyı doğrudan gaz akışına püskürterek gaz akışını soğutur. Tipik olarak, paketli bir kolon kullanılması yüzey alanını ve temas süresini en üst düzeye çıkarır. Bazı temas kondenserleri bölmeli basit sprey odaları kullanır, diğerlerinde ise vakum üretmek için tasarlanmış yüksek hızlı jetler bulunur. Soğutucu madde ve kirleticinin doğrudan karıştırılması, soğutucu madde yeniden kullanılmadan önce ayrılmayı veya ekstraksiyonu gerektirir. Bu ayırma işlemi bir bertaraf sorununa veya ikincil emisyonlara yol açabilir (Wang ve ark., 2004). Yüzey yoğunlaştırma sistemlerinde soğutucu gaz akışı ile karışmaz, ancak bir tüpün veya plakanın bir tarafından akar. Yoğuşan buhar diğer tarafa temas eder, soğutulmuş yüzey üzerinde bir film oluşturur ve depolama, yeniden kullanım veya imha için bir toplama kabına boşaltılır. Yoğuşma tüplerinde veya tüplerin dışındaki kabukta gerçekleşebilir. Kondenserler genellikle kabuk veya plaka tipindedir. En yaygın olanı gaz akışına ters akan tüplerin iç tarafında akan soğutucu akışkan olanıdır. Yoğuşma tüplerin dışında gerçekleşir. Yüzey kondansatörleri daha az su gerektirir ve temas kondansatörlerinden 10-20 kat daha az yoğuşmuş ürün üretir. Yüzey kondansatörlerinin satılabilir bir ürün üretme olasılığı daha yüksektir. Bununla birlikte, bu kondansatör gerekli yardımcı ekipman nedeniyle daha fazla bakım gerektirir (Wang ve ark., 2004).

2.2.4. Termal Oksidasyon

Termal oksidasyon (termal yakma), organik buharların yüksek sıcaklıklarda oksitlendiği, yaygın olarak kullanılan bir hava kirliliği kontrol tekniğidir. Atık yakma işlemi, bir atık gaz akımındaki organik bileşiklerin, toplanmak yerine karbondioksit, su ve diğer inorganik gazlara dönüştürülmesindeki nihai bertaraf yöntemi olarak kabul edilir. Termal yakmada, kirletici yüklü atık gaz, organik kirleticilerin oksijen varlığında hava ile yakıldığı yüksek bir sıcaklığa (500°C'nin üzerinde) ısıtılır. Yakma işleminin önemli bir avantajı, uygun tasarım, mühendislik, kurulum, işletme ve bakım göz önüne alındığında, hemen hemen her gaz halinde organik akışın güvenli ve temiz bir şekilde yakılabilmesidir. Ayrıca, çok çeşitli emisyon akışlarında yüksek giderim verimlilikleri

mümkündür. Isı geri kazanım ünitesi tiplerine bağlı olarak, yakma fırınları ayrıca rejeneratif ve reküperatif olarak sınıflandırılmaktadır (Wang ve ark., 2004). Bir reküperatif termal yakma fırını, yakma işlemiyle üretilen ısıyı ön ısıtmaya aktarmak için bir kabuk ve tüp şeklinde bir ısı eşanjörü kullanır. Rejeneratif yakma fırınları atık ısının yaklaşık %70'ini egzoz gazlarından geri kazanabilir. Rejeneratif termal yakma fırınları, seramik veya diğer inert ambalaj içeren iki ila üç sabit yatağı birbirine bağlayan alev bazlı bir yanma odasından oluşur. Gelen gaz, önceden ısıtıldığı yataklardan birine girer. Isıtılan gaz yanma odasına akar, yanar ve sıcak baca gazları, yakma sırasında üretilen ısının geri kazanıldığı ve depolandığı paketlenmiş yataklardan akar. Paketlenmiş yataklar, bir çevrim sırasında ısı enerjisini depolar. Daha sonra bu yataklar ikinci döngü sırasında gelen organik yüklü gazı önceden ısıtırken serbest bırakırlar (Wang ve ark., 2004). Termal yakma, atık gazlardaki uçucu organik bileşik emisyonlarını kontrol etmek için kurulmuş bir yöntemdir. Termal yakma için giderim verimi tipik olarak %98 veya daha yüksektir. Giderim verimini etkileyen faktörler arasında sıcaklık, bekleme süresi, türbülans ve atık gazdaki kirletici madde türü yer alır (Wang ve ark., 2004).

2.2.5. Katalitik Oksidasyon

Katalitik oksidasyon (katalitik yakma), bir katalizör yardımıyla organik bileşikleri karbondioksite ve suya dönüştüren bir oksidasyon işlemidir. Bir katalizör, reaksiyon sırasında belirgin bir şekilde değiştirilmeden verilen bir sıcaklıkta reaksiyon hızını hızlandıran bir maddedir. Katalitik yakma fırınlarında, alev bazlı yakma konsepti, oksidasyon reaksiyonunu desteklemek için bir katalizör eklenerek modifiye edilir, bu da daha hızlı reaksiyona veya azaltılmış reaksiyon sıcaklığına izin verir. Daha hızlı bir reaksiyon daha küçük bir kap gerektirir, böylece genel olarak sermaye maliyetlerini ve düşük çalışma sıcaklıklarını azaltır ve yardımcı yakıt gereksinimlerini azaltır, böylece işletme maliyetlerini düşürür (Wang ve ark., 2004).

Katalitik oksidasyonda, kirletici yüklü emisyon akımı genellikle ilk olarak egzoz gazlarından ısıyı geri kazanmak için birincil ısı eşanjöründe önceden ısıtılır. Daha sonra sıcaklığı 300-500°C'ye çıkarmak için doğal gazla çalışan veya elektrikli bir ön ısıtıcıda emisyon akışına ilave ısı eklenir. Emisyon akımı daha sonra bir katalizör yatağından geçirilir, burada UOB kirleticileri oksijen ile reaksiyona girerek karbondioksit ve su oluşturur. UOB'nin katalitik oksidasyonu için tipik olarak kullanılan katalizörler arasında platin ve paladyum; klorlu bileşikler içeren emisyon akımları için metal oksitler dahil olmak üzere başka formülasyonlar da kullanılır. Yakma fırını içindeki

katalizör yatağı genellikle bir metaldir. Bu yatak kafes matı, seramik petek veya katalizör yüzey alanını en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmış diğer seramik matris yapısı olabilir. Katalizörler ayrıca küreler veya topaklar formunda da olabilir (Wang ve ark., 2004).

Katalitik oksidasyon, düşük konsantrasyonda uçucu organik bileşikler içeren emisyonların arıtılması için uygun bir yöntemdir. Termal yakma işlemlerine kıyasla daha uygun maliyetli bir çalışma sağlayabilir. Bununla birlikte, katalitik yakma, kirletici özelliklerine ve işlem koşullarına daha fazla duyarlı olması nedeniyle termal yakma kadar yaygın olarak kullanılmamaktadır (Wang ve ark., 2004). Genel olarak oksidasyon yöntemleri oldukça başarılı giderim verimlerine sahip olmalarına rağmen bazı dezavantajları mevcuttur. Bu sebeplerle ileri oksidasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Fotokatalitik oksidasyon yöntemi temel olarak katalitik oksidasyona benzer bir prensiple çalışan ileri bir oksidasyon yöntemidir (Fiorenza ve ark., 2016). Bu bölümün devamında fotokatalitik oksidasyon yöntemi detaylarıyla açıklanmıştır.

2.2.5.1. Fotokatalitik Oksidasyon

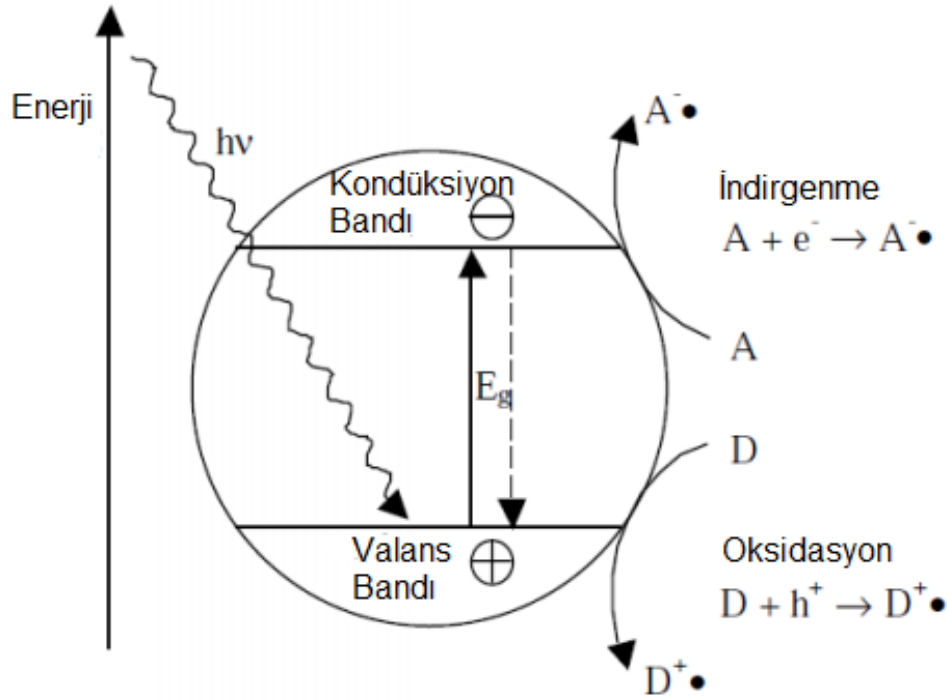
Yakma ve yoğunlaşma gibi geleneksel yöntemler sadece orta ve yüksek konsantrasyonlarda kullanılabilir. Adsorpsiyon ve absorpsiyon ise kirleticilere zarar vermez, ancak başka bir ortama aktarır. Bu yöntemlerin hiçbirisi düşük ve orta konsantrasyonlara sahip gaz akımlarından kirleticilerinin giderilmesi için uygun değildir. Fotokatalitik yöntemler bu sorunları ortadan kaldırmak ve düşük konsantrasyonlu kirleticilerin giderilmesi için uygundur (Gholami ve ark., 2014). Fotokatalitik oksidasyon yönteminin diğer yöntemlere kıyasla getirdiği avantajlar Şekil 2.7.'de verilmiştir. Bu avantajlar düşük maliyet, yüksek giderim verimleri, tekrar kullanılabilirlik ve çevreci bir yaklaşım olmasından dolayı fotokatalitik oksidasyonu tercih edilen bir hava kirletici giderim yöntemi yapmaktadır.



Şekil 2. 7. Fotokatalitik oksidasyon prosesinin avantajları (Kumar ve ark., 2014)

Heterojen fotokatalitik işlemler giderilmek istenen kirleticiyi karbondioksit ve suya dönüştüren kimyasal reaksiyonları içerir (Gholami ve ark., 2014). Fotokatalitik oksidasyon, aromatik bileşiklerin halokarbonların ve alkollerin yok edilmesi için etkili bir teknoloji olarak gösterilmiştir (Yates ve ark., 2007). Heterojen fotokatalitik oksidasyon hava kirleticilerini gidermek için genellikle suyun klivajından kaynaklanan hidroksil radikallerini ve superoksit O_2 iyonunu kullanır. Hava akımı içerisinde bulunan kirleticiler belirli bir nem oranında, ışığa maruz kalmış yarı iletken bir maddenin bulunduğu ortamdan geçirilir. Bu işlem sırasında yarı iletken madde ışığı absorbe ederek elektronların harekete geçmesini tetikler. Harekete geçen elektronlar valans bandı ile kondüksiyon bandı arasındaki yüklerin ayrılmasına sebep olur. Yük ayrılması sonucunda yarı iletken madde fotokatalitik özellikler kazanır. Yük ayrılması sırasında hava akımının içinde bulunan elektron alıcısı ve adsorblanmış halde bulunan verici moleküllerle reaksiyona girer. Elektron alıcısı moleküller kondüksiyon bandındaki elektronlar sayesinde indirgenirken, valans bandı ile kondüksiyon bandı arasındaki boşluk sayesinde verici moleküller oksitlenir. Burada genellikle elektron alıcısı hava ortamında bulunan O_2 iken yarı iletken madde üzerindeki yük ayrılmasıyla hava akımında bulunan su moleküllerinin verici olarak görev yapar. Bu reaksiyonlar sonucu açığa çıkan moleküller (OH^* ve O_2^{*-}) adsorblanan kirleticilerle etkileşerek uçucu organik bileşiklerin CO_2 ve H_2O 'ya, SO_2 'in $H_2SO_4(ads)$ veya $SO_3(g)$ 'e, NO 'un $N_2O_3(g)$, $N_2O_5(g)$ veya $HNO_3(ads)$ 'e, CO 'nun CO_2 'ye parçalanmasına sebep olur (Dijy ve Divya, 2015; Persson, 2015; Han ve ark., 2016). Şekil 2.8.'de fotokatalitik oksidasyon

prosesi şematik olarak gösterilmektedir. Burada A elektron alıcısını, D ise adsorblanan vericiyi temsil etmektedir.



Şekil 2. 8. Fotokatalitik Oksidasyon Proses Şeması (Dijy ve Divya, 2015)

Fotokatalitik oksidasyon yönteminin hem inorganik hem de organik hava kirleticilerinin gideriminde kullanılması mümkündür. Çalışmalar organiklerin gideriminde daha başarılı sonuçların elde edildiğini göstermiştir. Özellikle inorganik hava kirleticilerinin çok reaktif olması ve istenmeyen ürünler oluşturma özelliği nedeniyle bu yöntemle giderimleri çok fazla tercih edilmemektedir.

2.2.5.1.1. Fotokatalizörler

Fotokatalitik oksidasyon işlemi sırasında kullanılan yarı iletken yapılar, fotokatalizör'ün kimyasal özellikleri ve ışığı absorplama kapasitesine bakılarak seçilir. TiO_2 , ZnO , WO_3 , ZnS ve CdS gibi yarı iletkenler fotokatalizör olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Shayegan ve ark., 2018). Bu fotokatalizörler arasında en yaygın kullanılan fotokatalizör TiO_2 'dir. UOB'lerin giderimi için TiO_2 'nin fotokatalitik oksidasyonu sırasında gerçekleşen reaksiyonlar Çizelge 2.3.'de verilmektedir. Çizelge 2.3.'de verilen reaksiyonlarda h^+ ve e^- delik ve elektronları temsil etmektedir. Şekil

2.9.'de TiO₂ fotokatalizörlüğünde gerçekleşen fotokatalitik oksidasyon prosesi şematik olarak gösterilmektedir. Şekil 2.9.'deki ışık absorpsiyonu valans bandındaki elektronların kondüksiyon bandına geçmesini (A) tetikler. Yük ayrılması sonucu yarı iletken fotokatalitik özellikler yüklenir ve UOB giderimi için hidroksil radikalleri açığa çıkar. B-F arasındaki stepler TiO₂'nin doplanmasını göstermektedir (Persson, 2015).

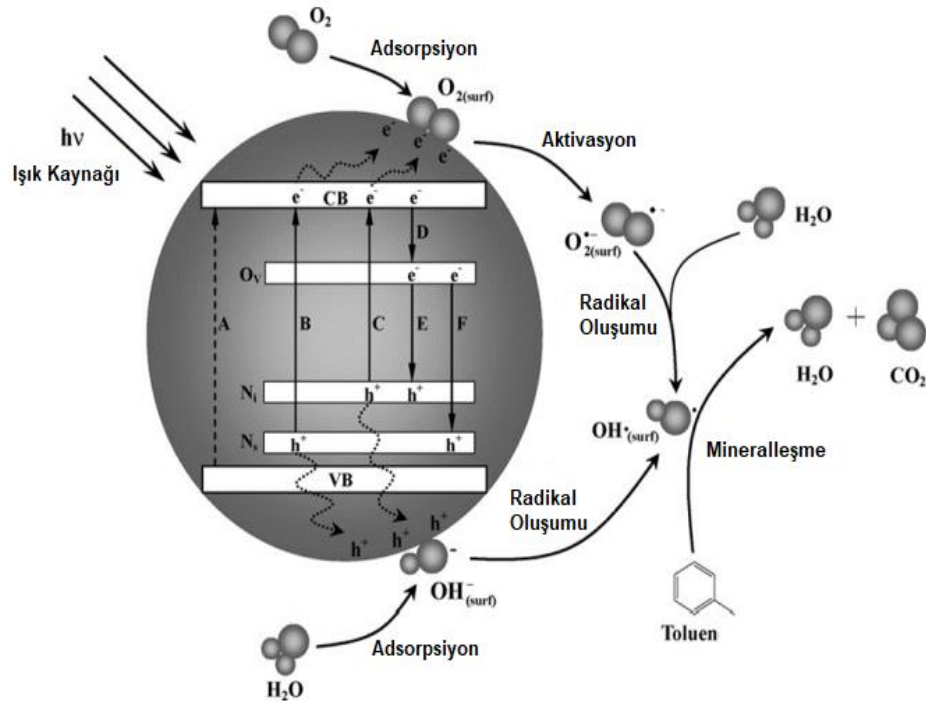
Çizelge 2. 3. TiO₂'in Fotokatalitik Oksidasyon Reaksiyonları (Shayegan ve ark., 2018)

Reaksiyonlar
Fotonik Uyarılma Reaksiyonu: $\text{TiO}_2 + h\nu \rightarrow h^+ + e^-$
Oksidasyon Reaksiyonu: $\text{OH}^- + h^+ \rightarrow \text{OH}^*$
Redüksiyon Reaksiyonu: $\text{O}_{2(\text{ads})} + e^- \rightarrow \text{O}_{2(\text{ads})}^-$
Suyun İyonlaşması: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH}^- + \text{H}^+$
Süperoksit'in Protonlaşması: $\text{O}_2^{*-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HOO}^*$
Elektron Uzaklaştırılması: $\text{HOO}^* + e^- \rightarrow \text{HOO}^-$
H ₂ O ₂ 'nin Oluşması: $\text{HOO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$
$\text{OH}^* + \text{kirletici} + \text{O}_2 \rightarrow \text{ürünler (CO}_2, \text{H}_2\text{O, vb.)}$

TiO₂ fotokatalizörü doğada rutil, anataz ve brokit gibi farklı kristal yapılarda bulunmaktadır. Bu kristal yapılar içerisinde fotoaktif özelliği en fazla olan anataz formu iken, termodinamik olarak daha stabil olan formun rutil olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra her yarı iletken olduğu gibi TiO₂'nin karakterizasyonu bant yapısına bağlıdır. Valans bandı ile kondüksiyon bandının enerji seviyeleri bir bant açıklığı ile birbirinden ayrılmaktadır. Bu bant açıklığı kristal yapıya göre değişiklik göstermekle birlikte, fotokatalitik aktivite ancak bu bant aralığını aşabilecek seviyedeki enerjinin ışık kaynağından sağlanarak fotokatalizörün aktive olmasıyla oluşabilmektedir. Bu sebeple UV ışığın dalga boyunu genişleterek gerekli enerjiyi elde etmek fotokatalitik oksidasyon verimliliği açısından oldukça önemlidir. Anataz formunda bir TiO₂ fotokatalizörünün aktivasyonu için 388 nm veya daha az seviyede dalga boyuna ihtiyaç vardır. Bu dalga boyunun genişletilmesi ile ışık spektrum 'unun %40'lık bir kısmının fotokatalitik aktiviteye dahil olması sağlanabilir (Verbruggen, 2015).

TiO₂ düşük maliyetli, kolay üretilebilir, yüksek stabiliteye sahip bir yarı iletkenidir. Tüm bu pozitif yönlerine rağmen TiO₂'nin fotokatalitik oksidasyonda kullanımı her durumda verimli sonuçlanmayabilir. Örneğin, geniş bant aralığı ve yüksek yük taşıyıcı yeniden birleştirme hızından kaynaklı görünür ışık ve doğal güneş ışığı altında uygulamalarında sınırlamalar mevcuttur. Ayrıca fotojenleştirilmiş elektronların

ve deliklerin hızlı bir şekilde yeniden birleştirmeye uğraması, fotonik aktiviteyi azaltarak fotokatalitik oksidasyon verimini de olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yük taşıyıcılarını ayıran, yeniden birleştirilme hızını yavaşlatan ve görünür radyasyon altında aktive olabilen fotokatalizörlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır (Shayegan ve ark., 2018).



Şekil 2. 9. TiO₂ Fotokatalizörlüğünde Gerçekleşen Fotokatalitik Oksidasyon Prosesi (Persson, 2015)

2.2.5.1.2. Modifiye Fotokatalizörler

Son yıllarda fotokatalitik oksidasyon prosesi ve yeni fotokatalizörler geliştirilmesi alanında yapılan çalışmaların sayısı gittikçe artmaktadır. Özellikle yeni, ucuz ve çevreci fotokatalizörlerin sentezlenmesi ve farklı yüzey yapılarına tutturulması kullanımı daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulan alanlar arasındadır. Bununla birlikte soy metaller kullanılarak yapılan doplama işlemleri ile plazmon rezonans özelliğine sahip ve görünür ışık altında aktive olabilen fotokatalizörlerin geliştirilmesiyle fotokatalitik oksidasyon işleminin stabilitesi ve verimliliği artırılabilir (Verbruggen, 2015).

Fotokatalizörlerin fotokatalik aktivitesini daha geniş dalga boylarına yayabilmek ve yeniden birleştirme için fotojenleşmiş yük taşıma eğilimini azaltabilmek amacıyla hem morfolojik tasarım (katalizörün yüzey alanı ile alakalı geliştirmeler) ve hem de elektronik modifikasyonlar (fotokatalizöre yük taşıma özelliklerini geliştirecek

eklemeler yapılması) uygulanabilir (Verbruggen, 2015). Morfolojik tasarımda yarı iletkenin yüzey alanını genişleterek ortamdaki gaz molekülleri ve ışık kaynağı ile olan temasın arttırılması ana hedeftir. Bu amaçla tasarlanmış fotokatalizör maddeler nanoparçacıklar, nanotüp ve nanoiplikler, nanolevhalar ve gözenekli/bağlı yüzeyler olarak gruplandırılabilirler. Nano boyuttaki titanyum oksit, ticari kullanım amaçlı üretilmiş TiO_2 pigmentlerinin boyutlarına göre 100 kat daha küçüktür (Rahimi ve ark., 2016). Çizelge 2.4.'de farklı morfolojik özellikteki TiO_2 fotokatalizörlerin UOB gideriminde elde ettikleri verimler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. 4. Farklı Morfolojik Özellikteki TiO_2 Fotokatalizörlerin UOB Gideriminde Kullanımı

Morfoloji	Deney Koşulları	Giderim Verimi	Kirletici	Kaynak
Fiber Cam ve Karbon Kumaş Fiber üzerine tutturulmuş TiO_2 (Gözenekli/Bağlı Yüzey)	Sıcaklık: 20-25 °C Nem: %15-45 Hava Akış Hızı: 41-255 m ³ /saat Lambalar: UV ve Vakum UV Işık Yoğunluğu: 1.6-4.3 mW/cm ²	Ortalama %25	Hekzan, Oktan, Bütanol, Toluen, Ksilen, Metil etil keton, Aseton	(Zhong ve ark., 2013)
Titanyum Nanoparçacıkları (Nanoparçacık)	Sıcaklık: 25 °C Nem: %60 Lambalar: UVA ve UVB Işık Gücü: 13.6W ve 3W	Ortalama %57	Etilen, Propilen, Toluen	(Hussain ve ark., 2011)
Titanyum Nanoparçacıkları (Nanoparçacık)	Sıcaklık: 25-80 °C Hava Akış Hızı: 100 ml/dk Lambalar: UVA ve UVB Işık Gücü: 13.6W ve 3W	Ortalama %64	Etilen, Propilen, Toluen	(Abbas ve ark., 2011)
Fiber Cam ve Karbon Kumaş Fiber üzerine tutturulmuş TiO_2 (Gözenekli/Bağlı Yüzey)	Sıcaklık: 23 °C Nem: %15-30 Lambalar: UVC Işık Gücü: 13.4W Işık Yoğunluğu: 29-39 mW/cm ²	Ortalama %22-45	Etanol	(Zhong ve ark., 2012)
Düz Cam Yüzey üzerine tutturulmuş farklı nano TiO_2 kristalleri (Gözenekli/Bağlı Yüzey)	Sıcaklık: 250 °C Nem: %40 Lambalar: Demir Halojen Lamba Işık Gücü: 500W Işık Yoğunluğu: 3 mW/cm ²	Ortalama %49	Toluen	(Bianchi ve ark., 2014)
Aktif Karbon Fiber üzerine tutturulmuş nano TiO_2 kristali (Gözenekli/Bağlı Yüzey)	Sıcaklık: 25 °C Nem: %15, 30, 45, 60 Lambalar: UV Işık Gücü: 15W ve 254 nm	Ortalama %14	Toluen	(Guo ve ark., 2008)
Cam üzerine tutturulmuş TiO_2 (Gözenekli/Bağlı Yüzey)	Nem: 0-35360 ppmv Bekleme Süresi: 18-145sn Lambalar: UVC Işık Gücü: 18W	Ortalama %63-97	Benzen, Toluen, Etilbenzen, Ksilen	(Korologos ve ark., 2012)

Zeolit üzerine tutturulmuş TiO₂ (Gözenekli/Bağlı Yüzey)	Nem: %50 Hava Akış Hızı: 1 L/dk Lambalar: 2 Vakumlu UV, 2 UVC Işık Gücü: 4W ve 254 nm	Ortalama %98	Benzen	(Huang ve ark., 2017)
Cam üzerine tutturulmuş TiO₂ (Gözenekli/Bağlı Yüzey)	Sıcaklık: 50 °C Lambalar: Düşük Basıncılı Cıva Işık Gücü: 12W	Ortalama %70	Benzen, Toluen, Etilbenzen, Ksilen	(Dhada ve ark., 2015)

Çizelge 2.4.'de verilen çalışmalar karşılaştırıldığında morfolojik özelliklerin ve ortam şartlarının giderim verimi üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir. Özellikle kirletici sayısı arttıkça verimin bundan etkilendiği ve her bir kirletici için değişiklik gösterdiği de söylenebilir. Bununla birlikte bu işlemler sırasında zararlı yan ürün oluşumu da olmaktadır. Bu nedenle morfolojik tasarıma ek olarak TiO₂'nin fotokatalizasyon işleminin eksiklerini gidermek için elektronik modifikasyonlar da uygulanabilir. Hem morfolojik açıdan uygun yüzey alanına sahip, hem de elektronik modifikasyona uğrayan fotokatalizörlerin verimliliğinin arttığı ve yan ürün oluşumunun azaldığı bundan önceki çalışmalarda kanıtlanmıştır. Bu amaçla fotokatalizör üzerine doplama işlemi uygulanır (Verbruggen, 2015). Doplama işlemi, metal doplanması, metal olmayan madde doplanması, metal/metal olmayan maddelerin birlikte doplanması ve kompozit doplama olarak dört sınıfta incelenebilir (Shayegan ve ark., 2018). Çizelge 2.5. 'de elektronik modifikasyona uğramış TiO₂ fotokatalizörlerinin UOB gideriminde kullanımıyla alakalı çalışmalar verilmektedir.

Çizelge 2. 5. Elektronik modifikasyona uğramış TiO₂ fotokatalizörlerin UOB gideriminde kullanımı

Fotokatalizör	Deney Koşulları	Giderim Verimi	Kirletici	Kaynak
Cam üzerine tutturulmuş Fe doplanmış TiO₂	Nem: %45 Hava Akış Hızı: 1 L/dk Lambalar: UVA ve Görünür Işık Işık Yoğunluğu: 0.4 mW/cm ² ve 2.7 mW/cm ²	Görünür Işık için ortalama %40 UV için ortalama %61	Benzen, Toluen, Etilbenzen, Ksilen	(Yang ve ark., 2015)
Mn, Co, Cu, Fe ve Ni doplanmış TiO₂	Nem: %50 Hava Akış Hızı: 1 L/dk Bekleme Süresi: 30 sn Lambalar: UVC ve Vakumlu UV Işık Gücü: 4W	Mn/TiO ₂ : %58 Co/TiO ₂ : %51.5 Cu/TiO ₂ : %50.9 Fe/TiO ₂ : %45.3 Ni/TiO ₂ : %50.3	Benzen	(Huang ve ark., 2015)
Cam Fiber üzerine tutturulmuş Fe doplanmış TiO₂	Sıcaklık: Oda Sıcaklığı Nem: %60 Lambalar: UV-Görünür Işık Işık Gücü: 300W	%40-96.5	Toluen	(Sun ve ark., 2012)
Ag doplanmış TiO₂ nanotüp	Lambalar: UV ve Görünür Işık Işık Gücü: 8W ve 500W Işık Yoğunluğu: 0.87 mW/cm ²	%98	Toluen	(Li ve ark., 2011)

V doplanmış TiO₂	Nem: %50 Hava Akış Hızı: 200 L/dk Lambalar: Görünür Işık Işık Gücü: 20W ve 400-700 nm Işık Yoğunluğu: 50 mW/cm ²	%80	Toluen	(Pham ve Lee, 2017)
Mn doplanmış TiO₂	Sıcaklık: 100 °C Nem: %23-25 ve %75-80 Bekleme Süresi: 0.55-3.11 saniye Hava Akış Hızı: 12 L/dk Lambalar: UV	%50	Ksilen	(Wu ve ark., 2013)
Pt doplanmış TiO₂	Sıcaklık: 60,80,100 °C Hava Akış Hızı: 20-70 L/dk Lambalar: 2 UVA-LED modülleri Dalga Boyu: 354 nm Işık Yoğunluğu: 90 mW/cm ²	%98 (%0.5 Pt doplanmış TiO ₂) ve %80 (%1 Pt doplanmış TiO ₂)	Etanol	(Murcia ve ark., 2012)
Tabak üzerine tutturulmuş C doplanmış TiO₂	Sıcaklık: 25 °C Lambalar: Görünür Işık Işık Gücü: 150W Dalga Boyu: >425nm	%58.5	Toluen	(Dong ve ark., 2011)
S doplanmış TiO₂	Sıcaklık: 19-25 °C Nem: %10-20, %50-60 ve %80-90 Hava Akış Hızı: 0.5-6 L/dk Lambalar: Florasan Görünür Işık Işık Gücü: 8W Dalga Boyu: 400-700 nm Işık Yoğunluğu: 1.9 mW/cm ²	%1.3-41 (Benzen) %1-85 (Toluen) %13-97 (Etilbenzen) %51-95 (Ksilen)	Benzen, Toluen, Etilbenzen, Ksilen	(Jo ve Kim, 2010)
Pyrex üzerine tutturulmuş N doplanmış TiO₂	Sıcaklık: 19-25 °C Nem: %10-20, %50-60 ve %80-90 Hava Akış Hızı: 0.5, 1 ve 2 L/dk Lambalar: Florasan Görünür Işık Işık Gücü: 8W Dalga Boyu: 400-700 nm Işık Yoğunluğu: 1.9 mW/cm ²	%24 (Benzen) %64 (Toluen) %93 (Etilbenzen) %96 (Ksilen)	Benzen, Toluen, Etilbenzen, Ksilen	(Jo ve Kim, 2009)
Fe ve N doplanmış TiO₂	Sıcaklık: 25 °C Nem: %60 Lambalar: Xe Lambası Işık Gücü: 150W	%97	Toluen	(Dong ve ark., 2010)
Ni doplanmış TiO₂-SnO₂ kompozit	Sıcaklık: 70 °C Hava Akış Hızı: 320 cm ³ /dakika Lambalar: Halojen Lamba Işık Gücü: 150W	%51	Toluen	(Khan ve Kim, 2009)
TiO₂-ZnO kompozit	Hava Akış Hızı: 2.54 L/dakika Lambalar: UVA Dalga Boyu: 365-400 nm Işık Yoğunluğu: 0.4, 0.6 ve 1 mW/cm ²	%93 (Toluen) %78 (Benzen)	Benzen ve Toluen	(Gholami ve ark., 2014)
N doplanmış ZnO- TiO₂ kompozit	Sıcaklık: 25 °C Lambalar: Beyaz LED Işık Gücü: 16W Dalga Boyu: 439.8 nm	%86 (Benzen) %87 (Toluen) %86 (Ksilen)	Benzen, Toluen, Ksilen	(Ferrari-Lima ve ark., 2015)

Çizelge 2.5.'de verilen çalışmalar doplama işlemleri sonucu farklı UOB' in giderim verimlerinin değişkenliğini net bir şekilde göstermektedir. Metallerin kullanılarak gerçekleştirilen doplama işlemi elektron ve deliklerin yeniden birleştirme

hızının azalmasını sağlayarak fotokatalitik aktiviteyi arttırır. Bunun yanı sıra valans ve kondüksiyon bant açıklığını aşmak için ihtiyaç duyulan enerji seviyesinin düşmesini sağlar. Geçiş metalleri ve soy metaller bu amaçla kullanılabilirler. Geçiş metalleri ile yapılan çalışmalarda en büyük problem bu metallerin fotokatalizörün kristal yapısını bozarak fotokatalitik aktiveyi düşürme ihtimalidir. Buna karşılık soy metallerin yük taşıyıcı yeniden birleştirme hızını düşürerek fotokatalitik aktiviteyi arttırdığı saptanmıştır (Murcia ve ark., 2013). Metal olmayan maddelerin kullanıldığı doplama işlemi sonucunda da oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu doplamada yaşanan en ciddi sorunlar yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulması, çevreye zararlı kimyasalların kullanılmasıdır (Shayegan ve ark., 2018). Bunun yanı sıra metal/metal olmayan maddelerin birlikte doplanması ve kompozit doplama işlemleri de birçok farklı kirleticici için denenmiş oldukça verimli sonuçlar elde edilmiştir. Unutulmaması gereken temel konu, doplama işlemi sonucu oluşacak fotokatalitik aktivitenin kullanılan dopantın miktarı, kimyasal yapısı, fotokatalizör oluşturulurken kullanılan yöntem gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterdiğidir (Vargas Hernández ve ark., 2017).

Bununla birlikte hem elektronik hem de morfolojik olarak modifiye edilmiş fotokatalizörlerle gerçekleşen ve diğer inorganik kirleticileri gidermeye yönelik bazı çalışmalarda mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları Çizelge 2.6.'da verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde özellikle çok sayıda gaz giderimi denenilen çalışmalarda giderim veriminin azaldığı görülmüştür. İnorganik gazların fotokatalitik giderim verimleri UOB giderim verimleriyle (Çizelge 2.5.) kıyaslandığında, bu prosesin organik gazların gideriminde çok daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çizelge 2. 6. Modifikasyona uğramış fotokatalizörlerin inorganik gaz kirleticici gideriminde kullanımı

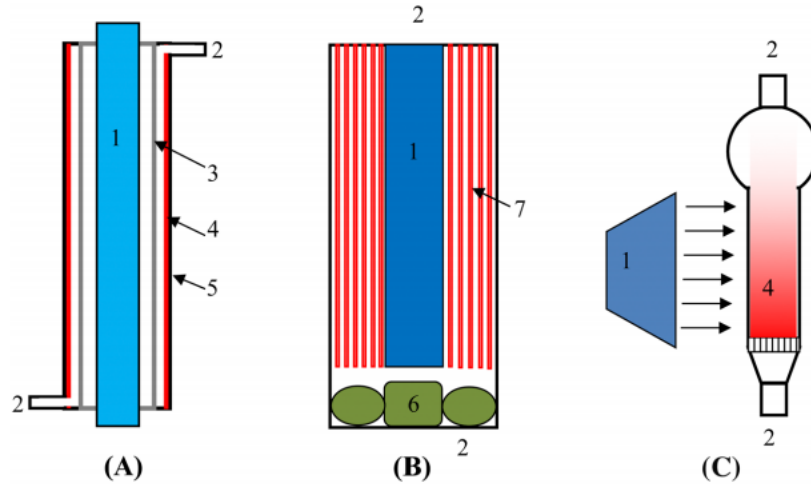
Fotokatalizör	Deney Koşulları	Giderim Verimi	Kirleticici	Kaynak
Kum parçacıkları üzerine yerleştirilmiş N-Zr-Ni doplanmış TiO₂	O ₂ kons.: %8 Sıcaklık: 60°C Işık Kaynağı: Florasan (40W) Bekleme Süresi: 5.7s	%60 (SO ₂) %56 (NO)	NO SO ₂	(Han ve ark., 2016)
Grafit karbonitrit-titanyumdioksit (g-C₃N₄-TiO₂)	Işık Kaynağı: Xenon arc lambası ve Hg lambası (500 W) Işık Yoğunluğu 35.8 mW/cm ² Hava Akış Hızı: 1.2 L/min	%80	NO _x	(Ma ve ark., 2016)
TiO₂/zeolite	Sıcaklık: 25 °C Işık Kaynağı: UV Işığı (40W) Işık Yoğunluğu: 3 mW/cm ² Hava Akış Hızı: 0.02 L/min	%72- 98	H ₂ S	(Liu ve ark., 2015)

NiO/SnO₂ Nanokompozit	Işık Kaynağı: UV Işığı Işık Gücü: 150W Gaz konsantrasyonu: 400 ppmV	%85-98	CO	(Mohamed ve Aazam, 2012)
Farklı oranlarda silikat kaplanmış TiO₂	Sıcaklık: 30 °C Işık Gücü: 1000 W Işık Kaynağı: Xenon Lamba Gaz Konsantrasyonu: 14 ppm Gaz Akış Hızı: 150 mL/dk	%71-86	SO ₂	(Krishnan ve ark., 2013)
Mezopoz altıgen ZnO	Işık Kaynağı: UV Işığı (2.4W) Gaz Akış Hızı: 500 mL/min Gaz Konsantrasyonu: 2000 ppb (NO _x ve SO ₂), 25 ppm (CO) Bağıl Nem Yüzdesi: %40	%56 (NO _x) %81 (SO ₂) %35 (CO)	NO _x SO ₂ CO	(Kowsari ve Abdpour, 2017)
Na₂CO₃ kaplanmış TiO₂	Işık Kaynağı: UV Işığı Işık Yoğunluğu: 3 mW/cm ² Gaz Akış Hızı: 100 mL/min Gaz Konsantrasyonu: 40 ppm	%70-90	SO ₂	(Wang ve ark., 2018)

2.2.5.1.3. Fotokatalitik Reaktörler

Fotokatalitik oksidasyon prosesinin verimi açısından önemli olan bir diğer faktör ise reaktör tasarımıdır. Özellikle araştırma amacıyla tasarlanan küçük çaplı reaktörler iki ana sınıfta incelenebilir. Bunlar kesikli ya da akışlı reaktörlerdir ve farklı geometrik şekillerde olabilirler. Dairesel olarak tasarlanan reaktörler hava kirleticilerinin giderimi için en çok kullanılan tiptir çünkü reaktörün ortasına yerleştirilen ışık kaynağı sayesinde giderim verimi artmaktadır. Bu tür reaktörlerde hidrolik çapın 5 mm'ye eşit veya bu değerden daha küçük olarak tasarlanması kütle taşınım direnci azaltarak kirletici giderimini arttırmaktadır. Şekil 2.10.'da dairesele olarak tasarlanmış bazı akışkan reaktörlerin profil görünüşleri verilmektedir. Şekil 2.10. (A)'da verilen dairesele akışlı reaktörlerdeki hava akış hızları iç çapın çok küçük olması sebebiyle genellikle 10 saniyelik bekleme süreleriyle 1 L/dakika olarak ayarlanır ve giderim verimi bu sayede %50'nin üzerine çıkabilir. Ancak eğer uygun fotokatalizör bir desteğin üzerine yerleştirilerek kullanılırsa daha yüksek hava akış hızlarında (10 m³/saat) çalışması mümkün olabilir. Şekil 2.10. (B)'de verilen profilde genellikle fotokatalizör geçirgen yapılar üzerine tutturularak ışık radyasyonundan faydalanmaları sağlanır. Bu tarz reaktörlerde daha yüksek hava akış hızları ve daha güçlü lambalar kullanılarak tasarım yapmak mümkündür. Şekil 2.10. (C)'de verilen reaktör akışkan yataklı olarak tanımlanır ve dışarıya yerleştirilmiş bir ışık kaynağı vasıtasıyla fotokatalizasyon işlemi

gerçekleşir. Bu reaktörler yüksek hava akış hızlarında çalıştırılırlar bu nedenle yüksek güce sahip ışık kaynaklarının kullanılması gereklidir (Dionysiou ve ark., 2016).



Şekil 2. 10. Farklı tasarımlara sahip dairesel reaktörlerin profil görünüşleri: (A) akışlı dairesel reaktör; (B) doldurulmuş boşluklu akışlı dairesel reaktör; (C) akışkan yataklı reaktör. (1) uv lambası, (2) hava giriş ve çıkışı (3) kuvarstan yapılan iç halka, (4) fotokatalizör katmanı, (5) dış halka, (6) fan, (7) uv yarısaydam fotokatalizör taşıyıcılar (Dionysiou ve ark., 2016)

İyi bir fotokatalizasyon işlemi sağlanabilmesi için reaktör tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken önemli hususlar vardır. Işık, fotokatalizör ve kirleticiler arasındaki temasın sağlanması, hava kirleticilerinin fotokatalitik oksidasyonla giderimi için en önemli husustur. Işın yayma geometrisi, temas süresi ve fotokatalizör destek malzemesinin seçimi reaksiyon hızını ve kararlılığını ciddi anlamda etkiler. Bu nedenlerle, fotokatalitik oksidasyon verimi açısından reaktör tercihleri de en az fotokatalizör tercihleri kadar önemlidir.

2.3. Fotokatalizör Sentezleme Yöntemleri

Fotokatalizörlerin hazırlanmasıyla ilgili oldukça fazla metot vardır. Fotokatalizörlerin fizikokimyasal özellikleri ve fotokatalitik özellikleri hazırlama tekniğine göre değişiklik gösterebilir. Fotokatalitik özelliğe sahip yarıiletkenler, sol-jel işlemi, hidrotermal ve solvotermal teknikler, sonokimyasal yöntem, mikrodalga yöntemi, kimyasal buhar biriktirme yöntemi ve elektrodepozisyon yöntemi dahil olmak üzere farklı sentetik yöntemlerle tozlar, lifler ve filmler şeklinde hazırlanabilir (Medina Ramirez ve ark., 2015).

2.3.1. Sol-jel Yöntemi

Sol-jel yöntemi, metal oksit nano partiküllerin hazırlanmasına ek olarak karışık oksit kompozitlerinin hazırlanması için de en çok kullanılan sentetik yaklaşımlardan biridir. Bu yöntem sayesinde malzemelerin dokusal ve yüzey özellikleri kontrol edilebilir. Sol-jel yöntemi esas olarak istenilen ürünün özelliğine göre birkaç adımda gerçekleştirilir ve bunlar hidroliz, yoğunlaşma ve kurutma işlemidir (Rao ve ark., 2017). Sol-jel yöntemleri, metal oksitler, nitrürler ve karbürler gibi seramik malzemelerin hazırlanmasında yaygın olarak uygulanır. Bu teknik, geleneksel işleme teknolojilerine göre çeşitli avantajlar sunar. Bunlar düşük reaksiyon sıcaklığı, iyi kompozisyon kontrolü, yüksek saflık seviyesi ve geniş alan uygulamaları için süreç geliştirme yeteneğidir (D'Arienzo ve ark., 2017).

Sol jel yöntemi bir dizi kimyasal reaksiyondan bazı ısı işlemlerden sonra, kalsine edilen bir jele dönüşen bir solun oluşmasıyla sonuçlanır. Bu reaksiyonlar bir öncü madde'nin (inorganik veya metal-organik) hidrolizi ve yoğunlaştırılmasıyla gerçekleşir ve nihai malzeme elde edilir (D'Arienzo ve ark., 2017). Sol jel yönteminin ana basamakları; ön başlatıcının hidrolizi, aktif türlerin su ya da alkol ile yoğunlaştırılması, jelleşme, yaşlanma, kurutma, yüksek sıcaklık işlemi (kalsinasyon) olarak sıralanabilir. Bu adımların hepsinin dikkatlice analiz edilmesi son ürün oluşumunu ciddi şekilde etkileyebileceği için çok büyük önem arz etmektedir (Toygun ve ark., 2013).

Sol-jel proses performansı birçok farklı etken sebebiyle değişiklik gösterebilir. Bunlar çözücünün türü, ön başlatıcının özellikleri, ortamın asiditesi, çözücüdeki her türün konsantrasyonu, katkıların türü ve konsantrasyonu, karışımın yaşlanma zamanı, sıcaklık ve uygulanan ısı işlemler gibi koşullardır (Toygun ve ark., 2013).

2.3.1.1. Sol-jel Prosesinin Bileşenleri

Sol-jel prosesinde sıvı bir fazdan jel fazına geçiş gerçekleşir. Bu amaçla genellikle inorganik reaktanlar bu sol ve jelleri oluşturma amacıyla kullanılmaktadır. Bu reaktanlar inorganik bir metal katyonu içerirler ve ön başlatıcı olarak isimlendirilirler. Bu amaçla kullanılacak ön başlatıcılar iki ana grupta toplanabilir. Bunlar metal tuzları ve metal aloksitlerdir. Metal tuzları (M_nX_m) bir metal grubu ile anyonik grubun birleşmesinden oluşur. Metal aloksitler ise bir metal ile aloksit grubunun birleşmesinden oluşmaktadır. Genel formülü $M(OR)_x$ şeklinde yazılır. Bu bileşiklerin

içeriğinde bulunan OR grubu sayesinde reaksiyonlarda daha aktif rol almaları sayesinde sol-jel yönteminde çok daha fazla tercih edilirler (Toygun ve ark., 2013).

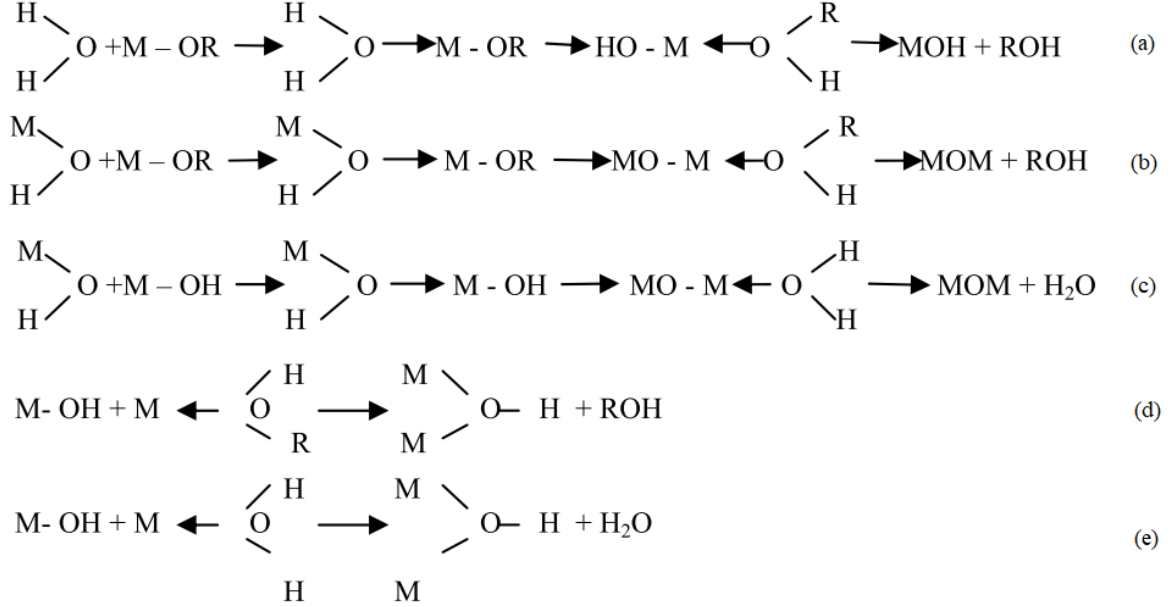
Sol-jel prosesindeki bir diğer önemli bileşen ise çözücülerdir. Çözücülerin seçimi kullanılan ön başlatıcının türüne göre değişiklik gösterir. Genellikle su veya organik çözücüler kullanılır. Metal tuzu ön başlatıcı olarak kullanıldıysa su uygun bir çözücü iken, metal aloksit tercih edildiyse çözücü olarak alkol kullanılması uygundur. Su ise sol-jel prosesinde önemli bir yerdedir çünkü kimyasal tepkimelere direk katkı sağlamaktadır. Bu çözücünün miktarı tepkimenin hızının artması veya azalmasını etkilemektedir (Toygun ve ark., 2013).

Sol-jel prosesinde kullanılan bir diğer bileşen ise katalizörlerdir. Tepkime hızına ve ürün oluşumuna destek olması için bu prosese eklenebilir. Asidik veya bazik yapıda olabilir. Bu yöntemde kullanılan başlıca asidik katalizörler asetik asit, nitrik asit ve hidroklorik asittir. Bazik katalizör olarak genellikle amonyum hidroksit kullanılır (Toygun ve ark., 2013). Özellikle çözeltinin pH'ı reaksiyonun hızı açısından çok önemlidir. pH değeri 5 ten yüksek çözeltilerde yoğunlaşma daha hızlı gerçekleşirken pH değeri 5 'in altına düştüğünde hazırlanan çözelti daha yavaş yoğunlaşmaktadır (Schubert, 2015).

2.3.1.2. Sol-jel Prosesi Reaksiyonları

Sol-jel yönteminde ön başlatıcı çeşitli reaksiyonlar vererek ve dönüşümlerden geçerek istenilen fotokatalizör elde edilir. Bu işlemler sırasıyla; ön başlatıcının hidrolizi, iyonların birbirini izleyen bimoleküler eklenmelerle polimerleşmesi, dehidrasyon ile yoğunlaşma, çekirdeklenme ve büyümedir. Şekil 2.11. 'de bir ön başlatıcının gerçekleştirdiği hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları gösterilmektedir. Ön başlatıcının hidrolizasyonu sırasında ortamda reaksiyonun hızını etkileyecek bir katalizör bulunmadığı durumda metal aloksit türleri su ile reaksiyon vererek hidroliz prosesi gerçekleşir. Bu reaksiyon ile aloksi grubuna sudan protein transferi ile oluşan alkol (hidroliz) ortaya çıkar (Şekil 2.11.,a). Sonrasında ortaya çıkan MOH türleri ile çözeltideki metal aloksit reaksiyon (aloksilasyon) verebilir (Şekil 2.11.,b). Ya da ortamda bulunan diğer MOH türleri ile de reaksiyon (oksilasyon) oluşabilir (Şekil 2.11.,c). Bunun yanı sıra ortaya çıkan MOH ile çözünmüş haldeki metaller arasında da reaksiyon (olasyon) meydana gelebilir (Şekil 2.11.,d ve e). Bu yoğunlaşma reaksiyonlarının termodinamiğini ayrılan grupların özellikleri belirler (Bergek ve ark., 2017). Hidroliz reaksiyonları kullanılan ön başlatıcının reaktifliğinden oldukça fazla

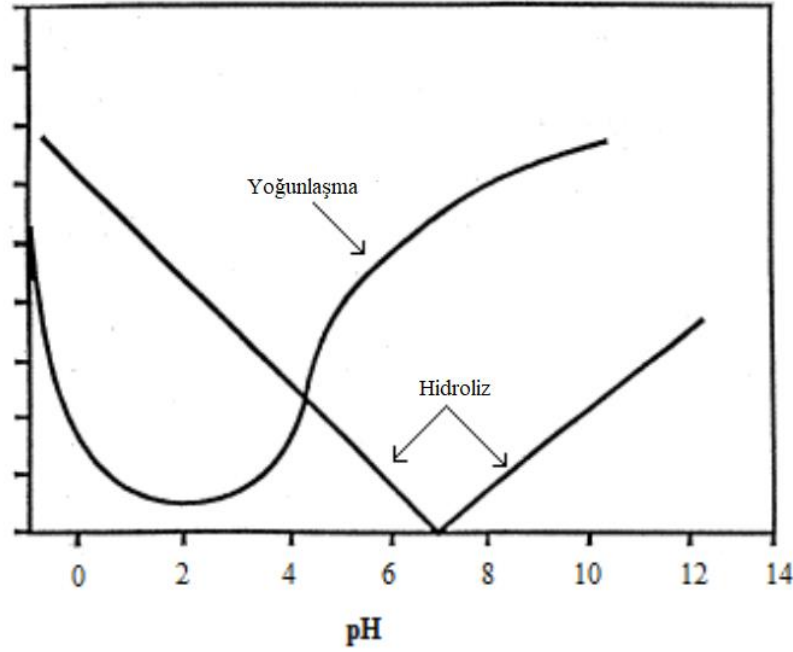
etkilenir. Bu sebeple ön başlatıcı olarak elektronegatifliği yüksek metal aloksit türleri kullanıldığında hidroliz süresi hızlanır. Buna bağlı olarak da jelleşme daha yavaş gerçekleşir.



Şekil 2. 11. Ön başlatıcının hidrolizi ve yoğunlaşması sırasında gerçekleşen reaksiyonlar (Toygun ve ark., 2013)

Katalizör eklemesi olamadan da reaksiyonların gerçekleşmesi mümkündür ancak katalizör ile daha hızlı ve hatasız gerçekleşebilir. Sol-jel prosesi sırasında gerçekleşen hidrolizasyon ve yoğunlaşma reaksiyonları çözeltinin pH değerinden oldukça fazla etkilenmektedir. Şekil 2.12. de verilen reaksiyon kinetiğine göre pH değerinin 7'den küçük olduğu durumlarda hidroliz reaksiyonunun etkinliği artarken, pH değerinin artmasıyla yoğunlaşma prosesinin etkinliği artar. Özellikle baz katalizör kullanımı jelleşmenin daha hızlı gerçekleşmesini sağlar. Bunun yanı sıra asit katalizörlüğünde gerçekleşen reaksiyonlarda hafif bağ yapılı fotokatalizörler üretilirken baz katalizörlüğünde gerçekleşen reaksiyonlarda daha kuvvetli bağlarla oluşmuş yüksek yoğunluklu fotokatalizör parçacıklar üretilmektedir.

Sol-jel reaksiyonlarda aloksit-su oranı da reaksiyonların hızını etkilemektedir. Bu oranın yüksek bir değerde olması durumunda hidroliz reaksiyonunu hızlandırması beklenir. Bu değer 2'den daha düşükse alkol üreten yoğunlaşma reaksiyonu etkili olurken, değer 2 ya da üstünde ise su üreten yoğunlaştırma reaksiyonunun gerçekleşir.

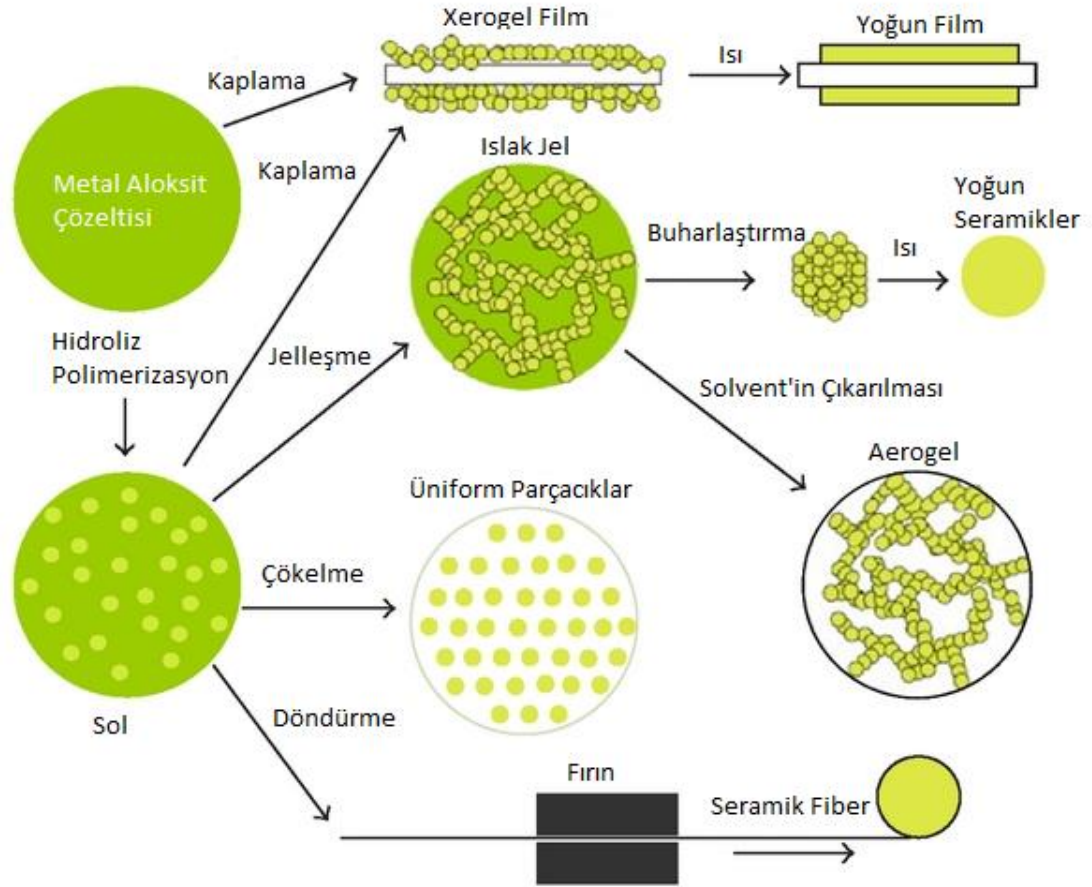


Şekil 2. 12. pH değerine göre reaksiyon özellikleri (Toygun ve ark., 2013)

2.3.1.3. Sol-jel Prosesinin Oluşturduğu Yapılar

Sol-jel prosesinde hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları sonrası oluşan yapı (sol) jelleşme, yaşlandırma, kurutma ve ısıtma gibi işlemlerden geçer ve son ürünler bu işlemlere bağlı olarak değişiklik gösterir. "Sol", bir sıvıdaki katı parçacıkların kolloidal süspansiyonudur. Kolloidal süspansiyonda etkileşimlere van der Waals kuvvetleri hakimdir ve parçacıklar sıvı içinde Brown hareketi gerçekleştirir. Bu tür çözeltiler, seramik malzemelerin yapılabileceği polimerler veya parçacıklar üretmek için kullanılabilir (Shirsath ve ark., 2017). Şekil 2.13. de sol-jel yöntemi kullanılarak elde edilebilecek yapılar gösterilmiştir.

Jelleşme aşamasında, alkol veya su yoluyla hidrolize ve polimerize edilen sulu çözeltideki jel öncüllerinden yoğunlaşmalar elde edilir. Jelleşme sırasında kümelenmenin çok küçük olduğu durumlarda, atom düzeyinde modelleme yaklaşımları kullanılır. Son yıllarda teorik modeller geliştirmek için dikkate değer bir çaba sarf edilmiştir. Hiyerarşik olarak yapılandırılmış jeller ve düşük yoğunluklu jeller söz konusu olduğunda, bunlar doğrudan moleküler modellerle analiz edilemez; orta ölçekli bir yaklaşım kullanılmalıdır. Buna karşılık, nispeten yoğun jeller, atomik seviyedeki simülasyonlar veya kaba tane simülasyonları ile modellenebilir (Aguilar, 2018).



Şekil 2. 13. Sol-jel yöntemi ile elde edilen ürünler (Asim ve ark., 2014)

Bazı yöntemlerle sol-jel yöntemi ile oluşturulan sol'den farklı jeller elde etmek mümkündür. Kserojeller, oda sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ve atmosferik basınç altında kurutulmuş jele denmektedir. Kserojel, katı yapının düşük geçirgenliğinden kaynaklanan çatlamayı önlemek için hafif bir kurutmanın sonucudur. Kriyojeller ise dondurarak kurutma işleminden kaynaklanır. Aerogel, süperkritik bir kurutma işlemi sonucu oluşturulur. Kurutma adımı, çözücünün kritik noktasının üstüne geçmesini sağlamak için bir otoklav içinde gerçekleştirilir (Phalippou, 2000).

Jelin yaşlanması, jel ağının, sıcaklığın ve çözücünün tipinin değiştirilmesiyle kontrol edilebilen ilave bir polimerizasyon ile güçlendirildiği jelleşme aşamasının bir uzantısıdır. Jelin kurutulması işlemi, sabit sıcaklık, basınç ve nem koşulları altında jel yapısının eşzamanlı çöküşü ile jel sistemindeki suyun giderilmesini kapsamaktadır. Genellikle, kuru jeli kristalli bir malzemeye dönüştürmek için bir kalsinasyon işlemi uygulanır. 100–200 °C aralığında mikro gözeneklerin duvarlarından fiziksel olarak emilen çözücü ve suyun desorpsiyonu, 300-500 °C aralığında artık organik grupların karbon dioksit'e ayrışması, 400-500 °C aralığında küçük gözeneklerin çökmesi, 700-900

°C aralığında daha büyük gözeneklerin çökmesi ve 100-700 ° C aralığında sürekli polikondensasyon, kalsinasyon sırasında gerçekleşebilecek aşamalardır (Aguilar, 2018).

2.3.1.3.1. Kaplama Yöntemleri

Sol-jel prosesinde kaplama işlemi genellikle sıvı formadaki çözeltilerden katı substratlar üzerinde biriken ince filmler ile sağlanır. Bu ince filmler, substrat yüzeyinin yansıtıcılığını değiştirme, sertliğini değiştirme veya yüzey kimyasını değiştirme özelliğine sahiptir. Genellikle daldırma (dip) kaplama ile oluşturulurlar, döndürme (spin) kaplama veya diğer ince film oluşturma teknikleri de uygulanabilir. Düzgün ve hatasız kaplama elde etmek için, alt tabaka toz ve diğer parçacıklardan arındırılmış olmalı ve sol-jel çözeltisi ile eşit şekilde ıslatılmalıdır. En yaygın uygulama filmi çözeltiyle tamamen ıslatan bir alt tabaka üzerine biriktirmektir (Aegerter ve Mennig, 2013).

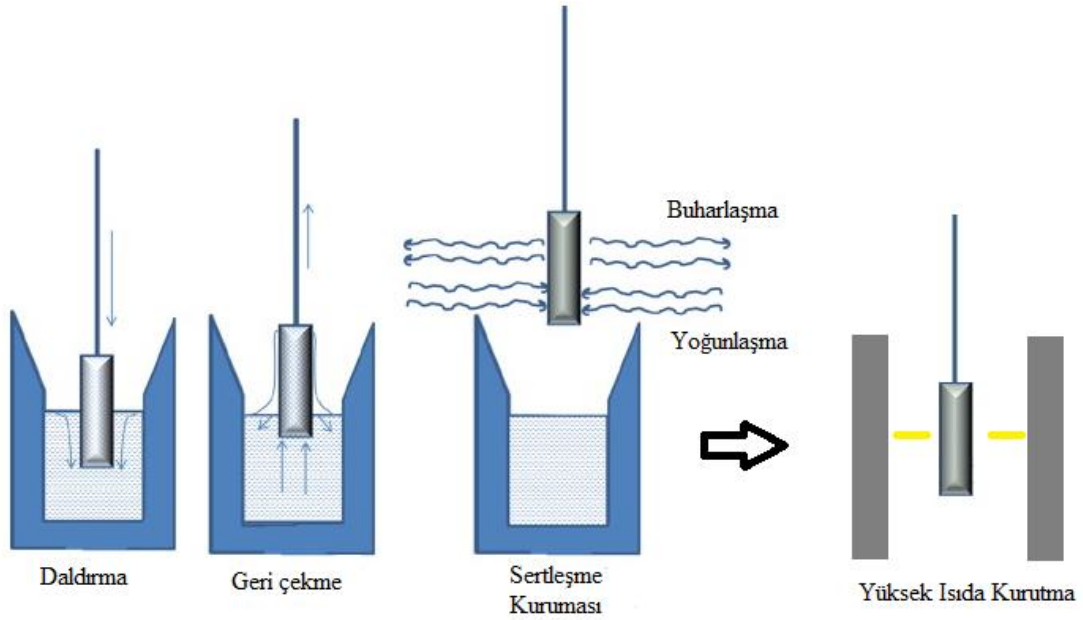
2.3.1.3.1.1. Daldırma ile Kaplama

Daldırma ile kaplama, substratın sıvı kaplama ortamından çekilmesiyle ıslak bir sıvı filmin yüzey üzerine bırakılmasını işlemidir. Yüzeyde film oluşturma süreci, Şekil 2.14. 'de gösterildiği gibi birkaç teknik aşamada gerçekleşir. Substratın daldırılmasıyla başlanarak, substratın kaplama sıvısından çekilmesi üzerine tutarlı bir sıvı film yapışır, bu daha sonra kurutma ve eşlik eden kimyasal reaksiyonlarla birleştirilir. Nihai kaplama malzemesini elde etmek için, normalde başka bir sertleştirme veya sinterleme aşaması gereklidir (Aegerter ve Mennig, 2013).

Daldırma aşamasında sabit bir hızla substrat kaplama çözeltisine daldırılır. Substratın türüne bağlı olarak, bu adımdan önce bir ön işleme (temizleme) tabi tutulur. Bu aşamada seçilen hız genellikle 0,5-7,5 m/s aralığında olmalıdır (Gutoff ve Cohen, 2010). Daldırma işleminden sonra substrat çözelti içerisinde bir süre (tavsiye edilen süre 30 saniye) bekletilir. Bu sürenin sonunda substrat çözeltilerden sabit bir hızla (1-15 mm/saniye) geri çekilir. Alt tabaka çıkarılırken ince film kaplama üzerine birikmeye başlar. Kaplamanın kalınlığı doğrudan alt tabakanın çıkarılma hızına bağlıdır. Yavaş çekme yapılırsa kaplama tabakası inceler (Kakaei ve ark., 2019).

Sertleşme kuruması adımı, drenaj, buharlaşma ve hidroliz ile gerçekleştirilen gerçek sol-jel geçişini temsil eder. Diğer yöntemlerin aksine, uçucu çözücüler kullanılması durumunda tam geçiş sadece birkaç saniye veya daha kısa sürede gerçekleşir. Buharlaşma ve bunun sonucunda ortaya çıkan soğumadan dolayı, ıslak

filmin yüzeyi üzerinde buhar akışı oluşur, kurutmayı artırır ve su içeriğini neredeyse sabit tutar. Kurutmanın bu aşamasında, atmosferdeki herhangi bir türbülans veya varyasyon kaçınılmaz olarak film özelliklerinde değişimlere yol açabilir (Aegerter ve Mennig, 2013).



Şekil 2. 14. Daldırma ile kaplama yöntemi aşamaları (Anonymus, 2013)

Sertleşme kurumasından sonra ve çoğu durumda arzu edilen kaplama malzemesinin elde edilmesi için ilave bir ısı işlem gereklidir. Kurutma genellikle oda sıcaklığında veya 250°C 'ye kadar ılımlı sıcaklıklarda gerçekleştirilirken, özellikle sol-jel kaplamalar için ısı işlem genellikle 400 ila 600°C veya daha yüksek sıcaklıklarda ve hatta bazen daha farklı gaz atmosferleri içeren özel koşullar gerektirir. Kurutma ve ısıtma işlemi seri bir işlemle veya sürekli bir fırında gerçekleştirilebilir. Ancak her zaman alt tabakanın ulaşılabilir maksimum ısıtma ve soğutma oranları bu işlemdeki hızı sınırlayıcı faktörler arasındandır. Bu nedenle, hızlı ısınma çevrimine ihtiyaç duyulursa ve daha yüksek maliyet tolere edilebiliyorsa, daha yüksek termal şok direncine sahip substratlar tercih edilebilir (Aegerter ve Mennig, 2013).

Kaplama işleminin başarısı genellikle yüzey pürüzlülüğü ve kaplamanın kalınlığına bakılarak değerlendirilir. Kaplamanın kalınlığını hesaplamak için Denklem 2.1 kullanılır (Aegerter ve Mennig, 2013). Kaplama işleminden sonra oluşan filmin kalınlığı; hazırlanan çözeltinin yoğunluğu ve viskozitesi, daldırma hızı, yüzey gerilimi ve yerçekimine bağlı olarak belirlenir (Brinker, 2013; Güngör ve Güngör, 2015).

$$h = c \cdot \frac{(\eta U)^{\frac{2}{3}}}{\gamma^{\frac{1}{6}} (\rho g)^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{Denklem 2.1})$$

Burada;

h: İnce film kalınlığı,

c: Sabit (0,944),

η : Viskozite,

U: Daldırma hızı,

γ : Yüzey gerilimi,

ρ : Yoğunluk,

g: Yerçekimi ivmesi

2.3.1.3.1.2. Döndürme ile Kaplama

Döndürme ile kaplama, bir substrat üzerine bir film üretmek için kullanılabilecek en basit yöntemlerden biridir. Fotolitografi için ince dirençli katmanlar bu teknikle kaplanır. Döndürerek kaplama işlemi, bir çözücü içinde biriktirilecek malzemenin seyreltilmesiyle başlar. Çözelti daha sonra substrat yüzeyine dağıtılır. Yonga plakası daha sonra yüksek hızda döndürülür. Filmin kalınlığı, döndürme hızı, yüzey gerilimi ve çözeltinin viskozitesi ile belirlenir. Çözücü kısmen döndürme işlemi sırasında buharlaşma nedeniyle ve kısmen de yüksek sıcaklıklarda yapılan ısıtma işlemleriyle uzaklaştırılır. Döndürme ile kaplama nispeten düzlemsel bir yüzey ile sonuçlanır. Bu teknik genellikle düzlemselleştirme amacıyla kullanılır. Spin kaplama sol-jellerin biriktirilmesi için kullanılabilir. Bu işlemde, bir çözücü içinde çözülmüş bir polimer bileşiğinin katı parçacıkları alt-tabaka yüzeyi üzerine döndürülerek kaplanır. İşlem, alt tabaka yüzeyinde jelatinimsi bir ağ oluşturur. Daha sonrasında kurutma işlemi ile çözücü çıkarılır ve jeli katılaşarak katı bir film oluşturur. Bu teknik, kurşun zirkonat titanat gibi çeşitli seramiklerin biriktirilmesi için kullanılabilir (Nguyen, 2012). Biriken tabakanın kalınlığı kaplama çözeltisinin viskozitesi ve dönme hızı ile kontrol edilir. Spin kaplamanın ana dezavantajlarından biri, substratın boyutudur. Boyut arttıkça, yüksek hızlı döndürme ve filmin inceltmesi zorlaşır. Spin kaplamanın malzeme verimliliği çok düşüktür. Genel olarak, işlem sırasında malzemenin % 95-98'i fırlatılır

veya atılır bu sebeple çözeltinin sadece %2-5'i substrat üzerine dağıtılır (Yilbas ve ark., 2019).

2.3.1.3.1.3. Diğer Kaplama Yöntemleri

Sol-gel yönteminde kullanılabilecek diğer kaplamalar; spreycaplama, kapiler kaplama, pyrosol prosesi, aerosol-jel prosesi, elektroporetik kaplama ve doktor bladedir. Spreycaplama teknikleri endüstride organik laklar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Preslenmiş cam parçalar, lambalar veya kapcamı gibi düzensiz şekilli cam formların kaplanması için de kullanılabilir. Philips, TV ekranlarında fonksiyonel sol-gel kaplamalar için birleşik sıkma ve püskürtme işlemi geliştirmiştir. Ancak geniş alan cam yüzeylerde optik kaplamaların hazırlanması için endüstriyel düzeyde kullanılmamaktadır. Yakın bir zamanda yapılan çalışmalar 100 nm ila 220 nm arasında kalınlığa sahip cam benzeri kaplamaların düz yüzeyler üzerinde hazırlanabileceğini gösterilmiştir. Pilot ölçekle yüksek hacimli nozullar kullanılarak otomatik düz püskürtme ile yüksek kaynama noktasına sahip sollarla kaplama yapılabilmektedir. Püskürtme ile optik kaplamaların hazırlanması daldırma kaplama tekniğine kıyasla çeşitli avantajlar sunar. İşleme hızı daldırma ile kaplamadan 10 kat daha hızlıdır, sollarının atığı çok daha küçüktür, kaplama solları daha uzun ömürlüdür ve kaplama aşaması bir hat içi işlem oluşturmak için uygundur (Schmidt ve Mennig, 2000).

Kapiler (kılcal) kaplama tekniğinde, sıvı kaplama ortamı bir yarık aplikatör tüpüne pompalanır, yarık yoluyla yüzeye laminar bir hareketle akar ve dış tarafta sürekli ve homojen bir sıvı film oluşturur. Sıvı bir toplayıcı oluğuna boşalır ve yeniden filtreleme ve geri dönüşüm için bir kaba geri gönderilebilir. Bir substrat, sıvı film ile temas ettirilir, böylece onunla aplikatör tüpü arasında dar bir menisküs oluşturulur ve bu ikincisi, substrata göre yatay olarak düzgün bir şekilde hareket ettirilir. Sıvı bir film, uygulama tüpü veya substrat çevrilirken substrata aktarılır ve kaplama, çözücü buharlaştırılmasından sonra oluşturulur. Kılcal kaplama tekniğinde, sürüklenen film kalınlığını kontrol eden sıvı dinamiği, daldırma kaplama ile hemen hemen aynıdır (Floch ve Belleville, 2004).

Pyrosol işlemi, bir aerosol'un pirolizine dayanır. Aerosol, kaynak bileşiği içeren bir çözeltinin ultrasonik spreyleneşmesi ile üretilir. Daha sonra, kaplanacak ısıtılmış substrata yakın bir taşıyıcı gaz ile taşınır ve piroliz ile ayrıştırılır. Çözeltinin buharlaştırılması, kaynak bileşiğin çökmesine yol açar, kaynak bileşiğin süblimleşmesi, heterojen katı / gaz reaksiyonu substrat yüzeyi ve kaynak bileşik buharı

benzeri bir reaksiyona yol açar. İşlem atmosfer basıncı altında gerçekleştirilir (Chabrol ve ark., 2004).

Aerosol-jel işlemi ultrasonik olarak üretilmiş aerosol'ün gaz halinde taşınmasına dayanır. Bunu takiben bu aerosolün oda sıcaklığında birikmesi, bir substrat yüzeyinde sıvı bir film oluşmasına yol açar. Daha sonra, sol-jel filmi katı bir tabakaya (kserojel) dönüştürülür (Langlet, 2004).

Elektroporetik kaplama işleminde, yüklü parçacıklar bir DC gerilimi uygulanarak bir elektrot üzerine bırakılır. Bu işlem, ekranlar için fosforların hazırlanması, elektrokromik ekranlar için katı elektrolitler, lityum sekonder piller için katotlar, süper iletkenler, ferroelektrik malzemeler ve biyomalzemelerin hazırlanması gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak uygulanmaktadır (Matsuda ve Tatsumisago, 2004).

Doktor blade işleminde, diğer partiküller ile seramik partiküllerinin bir süspansiyonundan oluşan bir karışık bulamaç (sol), doktor bıçağının ötesindeki bir substrat üzerine yerleştirilir. Bıçak ve substrat arasında sabit bir nispi hareket sağlandığında, bulamaç substrat üzerine yayılır ve kuruduktan sonra jel-tabaka ile sonuçlanan ince bir tabaka oluşturur. Doktor blade dakikada birkaç metreye kadar hızda çalışabilir ve alt tabakayı 20 ila 100 mikron arasında değişen çok çeşitli ıslak film kalınlıkları ile kaplamak için kullanılabilir (Berni ve ark., 2004).

2.3.2. Diğer Fotokatalizör Sentezleme Yöntemleri

Hidrotermal yöntem, inorganik malzemeleri mükemmel kristal yapılar ve düzenli şekillerle sentezleme özelliği nedeniyle fotokatalitik malzemelerin sentezinde yaygın ve çevre dostu bir yol olarak kullanılmaktadır (Li ve ark., 2017). Hidrotermal sentez, ortam sıcaklığı ve basıncının üzerinde kapalı ve ısıtılmış bir çözeltide kimyasal reaksiyonlar yoluyla maddelerin sentezini ifade eder. Hidrotermal sentez, yüksek sıcaklık ve basınçta sentez sırasında hem katalizör hem de bazen katı fazların bir bileşeni olarak hareket eden suyu içerir. Hidrotermal sentez, nispeten yumuşak çalışma koşulları (300 °C'den küçük reaksiyon sıcaklıkları), tek aşamalı sentetik prosedür, çevre dostu olma ve çözeltide iyi dağılım gibi birçok avantaj sunar. Ayrıca hidrotermal sentez, diğer çözelti sentez yöntemlerine kıyasla enstrümantasyon, enerji ve malzeme öncüleri açısından ucuzdur (Li ve Liu, 2010).

Sonokimya, ultrasonun neden olduğu, 5000 K'nin üzerindeki sıcaklıklara erişebilen benzersiz sıcak noktalar, 1000 atmosferi aşan basınçlar ve 1010 K/s'den fazla ısıtma ve soğutma oranlarından kaynaklanan aşırı geçici koşullardan kaynaklanır.

Sonokimyasal sentez nanomalzeme üretmek için ultrasonik radyasyonu kullanır. Uçucu olmayan bir çözücünde uçucu organometalik bileşiklerin ultrasonik ışınlanması, metal-karbonil bağlarının ayrışmasına ve tek tek elementel metal atomlarının salınmasına neden olur. Bu atomlar, alev uyarımından kaynaklanan emisyonu benzer görünür ışık hatları oluşturmaktadır ve bu kabarcık emisyonlarını karakterize etmek için atomik emisyon hatları kullanılmıştır. Uçucu olmayan çözücüler özellikle çökmekte olan kabarcıktaki enerjiyi emdikleri için gereklidir. Yüzey aktif cisimlerinin, desteklerin veya diğer reaktanların kontrolü, çeşitli metalik nanomalzemeler üretilmesi için uygun ortamı sağlarlar (Xu ve ark., 2013).

Mikrodalga Işınlama yöntemi, yüksek sıcaklık veya yüksek basınca ihtiyaç duyulmadığından nanomalzemelerin sentezine basit ve hızlı bir yol sağlar. Ayrıca, mikrodalga ışınlama özellikle termal gradyan etkilerini en aza indiren kontrollü büyük ölçekli bir sentez için uygun bir yöntemdir. Bir maddenin mikrodalga ışıması ile ısıtılması, malzemenin mikrodalga radyasyonunu emme ve onu ısıya dönüştürme yeteneğine bağlıdır. Bu yöntem ile öncüllerin hızlı ayrışması sayesinde istenen nanokristalin ürünlerini üretmek için çekirdeklenme ve büyümenin gerçekleşebileceği aşırı doymuş çözeltiler oluşturulur (Herring ve ark., 2013).

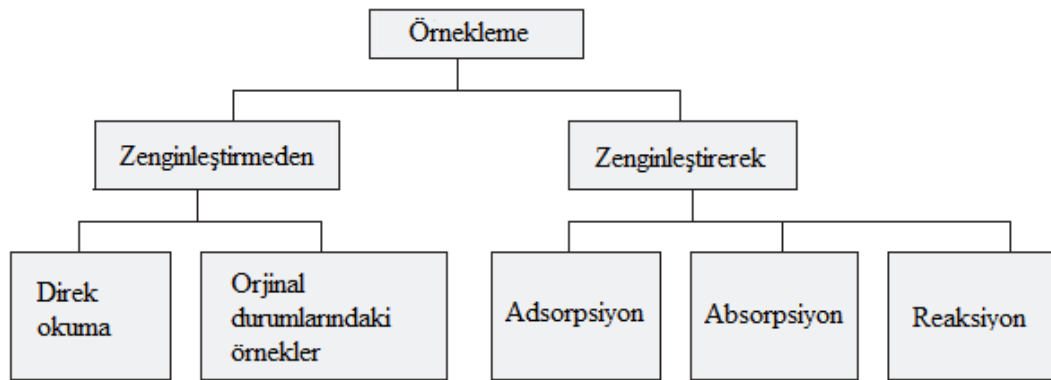
Kimyasal buhar biriktirme (CVD), bir katının, buhar veya gaz fazından gelen kimyasal bir reaksiyon yoluyla ısıtılmış bir yüzeye bırakıldığı iyi bilinen bir işlemdir. Bu işlemde reaksiyonunun devam etmesi için aktivasyon enerjisine ihtiyacı vardır ve bu birkaç yöntemle verilebilir. Termal CVD'de, reaksiyon 900 °C'nin üzerinde bir yüksek sıcaklıkla aktive edilir. Tipik bir cihaz, gaz besleme sistemi, biriktirme odası ve bir egzoz sistemi oluşturur. Plazma CVD' sinde reaksiyon, 300 ila 700 °C arasındaki sıcaklıklarda plazma ile aktive edilir. Lazer CVD' de, lazer termal enerjisi emici bir alt tabakayı ısıttığında piroliz meydana gelir. Foto-lazer CVD' de kimyasal reaksiyon, reaktan moleküllerindeki kimyasal bağları kırmak için yeterli foton enerjisine sahip ultraviyole radyasyon ile indüklenir. Bu işlemde, reaksiyon foton ile aktive edilir ve oda sıcaklığında birikme meydana gelir. Nano kompozit tozlar bu yöntem ile hazırlanabilir (Yadav, 2017).

Elektrokimyasal biriktirme veya kısaca elektrodpozisyon, istenen elektrik ve korozyon direncini elde etmek için metal iyonlarının bir elektrolitten elektrokimyasal olarak indirgenmesi yoluyla meydana gelen bir malzeme üzerine metalik bir kaplamanın oluşmasını içeren bir film büyüme sürecini ifade eder. Benzer teknolojiler

çoğunlukla elektrokaplama olarak bilinir. Çoğunlukla, elde edilen metalik tortu kristal formundadır (Al-Bat'hi, 2015).

2.4. Baca Gazı Örneklemeye Yöntemleri

Bacalarda oluşan gazların örneklenmesi iki farklı şekilde yapılabilir. Bunlar adsorpsiyon veya absorpsiyon gibi yöntemlerle zenginleştirerek örnek alma ve direk okuma gibi zenginleştirmeden örnek almaktır. Şekil 2.15. 'de gazların örneklenme prensipleri gösterilmektedir (DFG, 2012).



Şekil 2. 15. Gazların ve buharların örneklenme prensipleri (DFG, 2012)

Adsorpsiyon veya absorpsiyon yoluyla zenginleştirme sırasında, analit orijinal durumunda toplanır. Ek olarak, analiz edilen maddelerin ilgili reaksiyonları da türevlendirme ve zenginleştirme için kullanılabilir. Gaz numunesinin zenginleştirilmeden toplanması ve daha sonra laboratuarda analiz edilmesi durumunda, normalde zenginleştirme teknikleri ile toplanan örneklerin işlenmesi için aynı analitik yöntemler kullanılabilir (DFG, 2012).

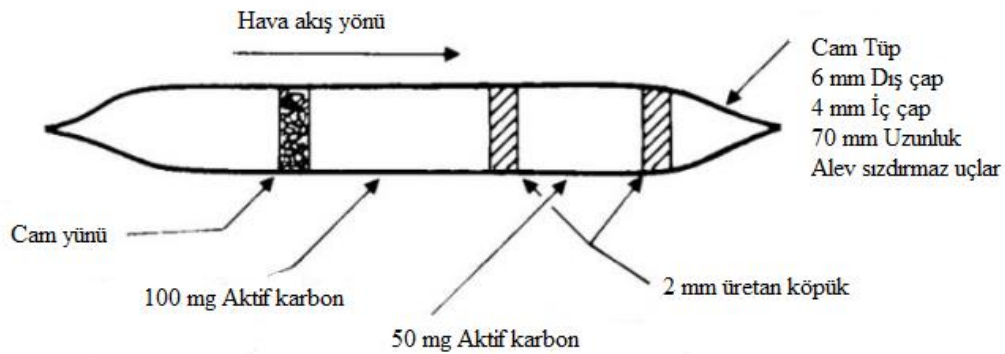
2.4.1. Zenginleştirerek Örneklemeye

Zenginleştirme ile numune almak için, gaz formundaki maddeler katı bir toplama fazına adsorbe edilir veya bir çözelti içine emilir. Sonrasında bu numunelerin analiz edilebilecek şekilde hazırlanması gerekir.

2.4.1.1. Adsorpsiyon Tüpleri ile Numune Alma

Adsorpsiyon tüpleri kullanarak numune almak için, tüpü tutturmak için bir numune tutucunun yanı sıra numune tutucuyu pompaya bağlamak için bir hortumla birlikte bir pompaya ihtiyaç vardır. Numune tutucu, normalde camdan yapılan adsorpsiyon tüpünü korumak ve örnekleme cihazını sabitlemek amacına sahiptir. Adsorpsiyon amacıyla kullanılacak tüpler örneklenmek istenen gazın özelliğine ve kullanılması planlanan desorpsiyon yöntemine göre değişiklik gösterir. Eğer tüp üzerinde tutulan gaz, çözücü desorpsiyonu yöntemi ile ekstrakte edilecekse aktif karbon, silika jel, XAD-2, XAD-4 gibi adsorbanlar kullanılabilir. Eğer tüp üzerinde tutulan gaz, termal desorpsiyon yöntemi ile ekstrakte edilecekse Tenax (TA, GR), Kromozor, Porapak gibi adsorbanlar daha uygun tercihlerdir (DFG, 2012).

Adsorpsiyon tüplerinde genellikle ön bölüm 100 ila 800 mg aktif kömür ve arka bölüm 50 ila 400 mg aktif kömür içerir. 100/50 mg tüp en sık kullanılan tüp olup, 70 mm uzunluğunda iki ucuda kapalı bir cam tüpten oluşur. Tüpün 6 mm dış çapı, 4 mm iç çapı ve 2 mm ürethan köpükle ayrılmış iki adet 20/40 ağ ile aktifleştirilmiş hindistan cevizi kabuğu kömürü içerir. 100 mg'lık ön kısım, bir cam yünü tıpası ile tutulur ve 50 mg'lık arka kısım, 2 mm'lik ikinci bir ürethan köpüğü veya bir cam yünü tıpası ile tutulur. Borunun her iki ucu genellikle alev sızdırmazdır. Şekil 2.16. 'da bu özelliklere sahip bir aktif karbon tüpünün şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 2. 16. Aktif karbon tüpü şematik görüntüsü

Yüksek derecede uçucu bileşiklerin uzun süreler boyunca veya yüksek hacimsel akış hızında örneklenmesi arzu edildiğinde, tüpün oranlarının ve kömür içeriğinin, taban boyutlarına benzer şekilde ölçeklenmesi şartıyla, verimli toplama kapasitesine, nominal olarak aynı doğrusal akış hızı ve kömür yatağı ile temas süresine sahip daha büyük

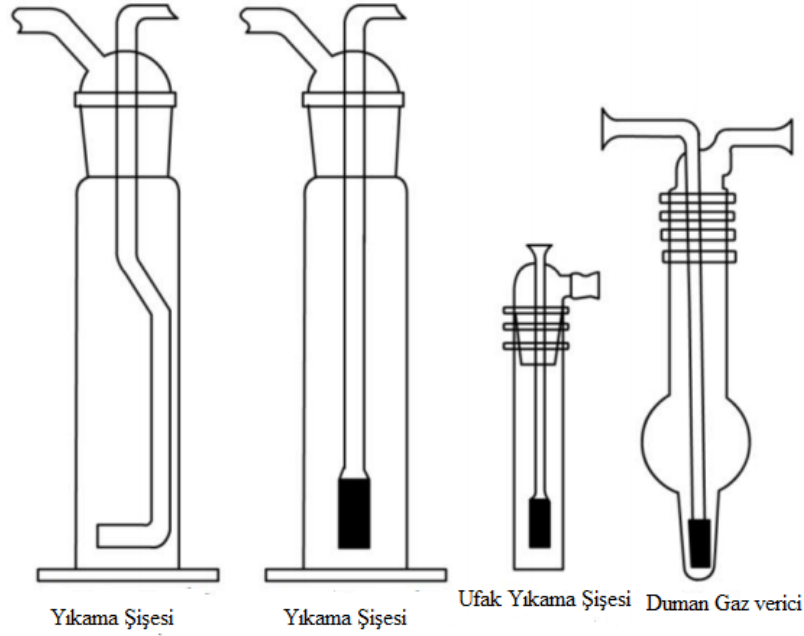
cihaz kullanılabilir. Örnekleyici tüpünün arka kısmı genellikle ön bölümde bulunan aktif kömür kütlelerinin % 50'sini içerir. Arka bölüm, ön bölüme giren buharları adsorbe eder ve atılım meydana gelebileceğine dair bir uyarı görevi görür. Farklı aktif kömür partilerinin adsorptif kapasitesi ve ekstraksiyon verimliliği değişebilir. Ticari tüpler kullanılıyorsa, aynı partiden ve yeterli sayıda örnekleme kapasitesi sağlamak için yeterli sayıda satın alınmalıdır. Belirli bir çalışma için aynı partiden yeterli tüpün olmasına dikkat edilmelidir. Örnekleme tüpündeki basınç düşüşü, 1000 mL/dk akış hızında 25 mm Hg'den (3,3 kPa) ve 200 mL/dk akış hızında 4,6 mmHg' den (0,61 kPa) az olmalıdır. Örnekleme pompası olarak istenen örnekleme oranında ayarlanabilen ve istenen örnekleme oranını yeterli bir süre koruyabilen her türlü pompa uygundur.

Su buharı organik bileşik buharlarının toplanmasını engelleyebilir. %60'ın üzerindeki nem oranı, bazı kimyasallar için aktif kömürün adsorpsiyon kapasitesini %50'ye kadar düşürebilir. Numune tüpünde yoğunlaştırılmış su damlacıklarının bulunması örneğin doğru alınmadığı göstermektedir. Yüksek organik buhar seviyeleri, aktif karbonu doygun hale getirerek örnekleme süresini kısaltabilir (ASTM, 1995).

2.4.1.2. Yıkama Şişeleri ile Numune Alma

Yıkama şişeleri, gaz kirleticileri zenginleştirmek için uygun sıvılar kullanır. Kişisel hava örnekleme için ve numunenin tükenmesini önlemek için yıkama şişesi kırılmaz olmalıdır (DFG, 2012). Bu absorplama ekipmanlarının çok çeşitli şekil ve boyutları kullanılmaktadır. Şekil 2.17. 'de çeşitli yıkama şişesi örnekleri verilmiştir.

Bu yıkama şişeleri genellikle kirletici gazın en verimli şekilde toplanmasını sağlar. Piyasada bulunan örneklere ek olarak, normal gaz dispersiyon tüpleri kullanılarak ev yapımı cihazlar oluşturulabilir. Dispersiyon tüpünün eritilerek şekillendirilmiş kısımları, çeşitli gözenek boyutuna sahip bir disk veya silindir formunda kolayca temin edilebilir. Kaba ve ekstra kaba camlar, minimum kafa kaybıyla iyi kirletici dispersiyonu sağlar. Optimum akış hızı, emici ortam ve kirletici türü koşulları altında, camlı emicilerin çoğu, %90' dan fazla toplama verimliliğine sahiptir. Genellikle standart gaz yıkama şişeleri 125-500 mL kapasiteli, 1-5 L/dakika gaz akış hızlarında kullanılabilen ve %90-100 toplama verimine sahip cihazlardır (APTI435, 1983).



Şekil 2. 17. Yıkama şişesi örnekleri (APTİ435, 1983)

Gaz-sıvı emilimi, gaz halindeki bir kirleticinin sıvı bir ortamda çözülme işlemidir. Eğer kirletici ve emici arasında kimyasal bir reaksiyon meydana gelirse, işleme kimyasal emilim denir. Eğer kimyasal bir reaksiyon gerçekleşmiyorsa emici içindeki kirleticinin fiziksel çözeltisine fiziksel emilim denir. Herhangi bir absorpsiyon işleminin toplama verimliliği, emme cihazının özelliklerinin ve emilen-emici çiftin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bir fonksiyonudur. Toplama verimliliği, her bir numune analizi durumu için istenen doğruluğu veren bir yöntemle belirlenmelidir (APTİ435, 1983).

2.4.2. Zenginleştirmeden Örnekleme

Zenginleştirme olmadan örnekleme, sonucu elde etmek için kullanılan analitik yöntemleri birbirinden ayırır. Yöntem, sonucu anında yerinde (örneğin, doğrudan okuma yoluyla) veya uygun bir kaptaki numune alındıktan sonra laboratuvarında analiz yoluyla verebilir.

2.4.2.1. Gaz Depolama Tankları ve Gaz Numune Torbaları ile Numune Alma

Maddelerin zenginleştirilmesinin mümkün olmadığı veya gerekli olmadığı hava örnekleme için gaz depolama kapları veya gaz numune torbaları kullanılabilir. Gaz saklama torbaları farklı boyutlarda mevcuttur. Bu nedenle örnekleme, torbaların bir

pompaya bağlanmasını ve hava örneğinin 1-3 L/dak akış hızında çekilmesini gerektirir. Torbayı yıkmak için hava hacminin, gaz saklama torbası veya kabından en az dört kat daha yüksek olması önerilir.

Bu tip örnekleme, işyerlerinin havasında kalıcı olarak oluşan organik gazların belirlenmesi için de kullanılır. Ayrıca birçok madde için kısa süreli maruziyetlerin ölçülmesini sağlar. Örneklemeden sonra, ya hemen ya da daha sonra laboratuvarda analiz edilir veya belli bir hacimde gaz saklama torbasından ayrılır ve analizden önce yeterli adsorpsiyon materyalleri üzerinde zenginleştirilir ve sonrasında analiz edilir (DFG, 2012).

2.4.2.2. Test Tüpleri ile Numune Alma

Test tüpleri kullanılarak havadaki tehlikeli maddelerin belirlenmesi için, bir maddenin tüpü doldurulması ile meydana gelen reaksiyon kullanılır. Renkte bir değişikliğe yol açan bu etki, ilgilenilen maddenin oluşumunu doğrulamak veya konsantrasyonunu belirlemek için kullanılabilir. Örnekleme prosedürü temel olarak bir pompa kullanılarak test tüpünden tanımlanmış bir hacim çizerek gerçekleştirilir. Renkli katmanın uzunluğu, incelenen maddenin konsantrasyonu ile doğru orantılıdır.

Test tüpleri kullanmanın avantajı, ölçülen konsantrasyonun örneklemeden hemen sonra ve doğrudan elde edilmesidir. Uygulamada, test tüplerinin kullanımı havada bazı maddelerin belirlenmesi için uygun olduğu kanıtlanmıştır. Bu maddeler karbon monoksit, karbon dioksit, hidrojen sülfür, ozon, azot dioksit, amonyak, klor, fosfin, hidrojen siyanür ve kükürt dioksittir (DFG, 2012).

2.4.2.3. Direk Okuma Ekipmanları ile Numune Alma

Doğrudan okuma cihazları, belirli bir madde için seçici olarak veya bir madde karışımı için seçici olmayan bir şekilde çalışabilir. Bu tür cihazlarla çalışırken farklı görevlerin yer aldığını düşünmek önemlidir. Örneğin, maddenin konsantrasyonunu göstermeden uyarı ve sinyal verebilen cihazlar, bir gaz için varsayılan veya eşik sınır değerine ulaşıldığında optik veya akustik sinyaller verebilir. Bu basit doğrudan okuma cihazları nispeten ucuzdur ve kullanımı kolaydır. Ancak, belli bir ölçüm sonucu elde edilen ortalama değerler veya kısa süreli maruz kalma değerleri kullanılarak bir maruz kalma değerlendirmesi yapamaz.

Doğrudan okuma cihazlarının ikinci grubu, uyarı fonksiyonunun yanı sıra, maruziyet değerlendirmesi için zamana bağlı konsantrasyonun depolanması olanağına

sahiptir. Bu sayede cihaz ortalama ve kısa vadeli maruz kalma değerlerinin incelenmesini sağlar. Ayrıca, kısa süreli maruz kalma tepe noktaları somut olarak belirli çalışma faaliyetlerine tahsis edilebilir. Direkt okuma yapabilen bazı aletler; alev iyonizasyon dedektörü (FID), fotoiyonizasyon dedektörü (PID), kızılötesi (IR) spektral fotometre ve elektrokimyasal gaz sensörüdür (DFG, 2012).

2.5. Baca Gazı Analiz Yöntemleri

Bacalardan çıkan gaz türlerine göre hem numune alma teknikleri hem de bu numunelerin analiz yöntemleri değişiklik göstermektedir. Bu bölümde bacalardan salınan bazı önemli gaz kirleticilerin analizleri ile ilgili bazı yöntemler açıklanmıştır.

2.5.1. Azot ve Kükürt Bileşiklerinin Analizi

Gaz halindeki kükürt ve azot kirleticilerinin analizi için kullanılan yöntemler kimyasal ve fiziksel olarak sınıflandırılabilir. Kimyasal proses endüstrilerinde kullanılan tekniklerden yararlanılarak geliştirilen kimyasal yöntemler, gazı uygun bir ortamda hapsedmeyi ve ardından hapsedilmiş materyalin kimyasal veya elektrokimyasal analizini içerir. Fiziksel yöntemler, kirleticinin kendisinin veya başka bir bileşikle etkileşimin ardından fiziksel veya optik bir özelliğin doğrudan ölçülmesini içerir. Ölçümden önce kromatografik ayırma yapılabilir (Harrison, 1986).

Gaz halindeki kükürt ve azot bileşiklerinin kimyasal analizi için, genellikle numune konsantrasyonu gereklidir. Bu hava numunesinin absorplama çözeltisi veya absorban filtre kağıdı gibi uygun bir yakalama ortamından geçirilmesi ile sağlanır. Akış hızı, absorban hacimi, zaman gibi örnekleme parametrelerinin seçimi kirleticinin beklenen konsantrasyon aralığına, ortalama konsantrasyonun gerekli olduğu süreye, ortamın toplama verimliliğine ve analitik yöntemin sınırlamalarına bağlı olarak değişir. Fiziksel ve elektrokimyasal enstrümantal yöntemler, bu tür ölçümler için daha uygun olabilir. Bunun ana nedeni modern enstrümanların hassasiyeti kentsel havadaki ölçümler için oldukça fazladır. Hava cihaza sürekli olarak çekilir ve algılama cihazına giren kirletici gaz miktarı izlenir (Harrison, 1986).

Gaz halindeki sülfür ve azot kirleticilerinin analizine yönelik kimyasal yöntemler geniş çapta asidimetrik, kolorimetrik ve kulometrik teknikler olarak sınıflandırılabilir. Asidimetrik teknikler SO_2 'nin rutin analizi için yaygın olarak kullanılmaktadır ve SO_2 'nin sülfürik aside (H_2SO_4) dönüştürüldüğü bir oksitleyici çözeltide (örn. seyreltik H_2O_2) emiliminden sonra üretilen serbest asitin (H^+ iyonu)

belirlenmesini içerir. Serbest asit titrasyonu veya elektriksel olarak iletkenlik ve pH ölçümleri ile belirlenebilir. Kolorimetrik teknik, gazın çözeltisi, hidrolizi veya oksidasyon ürünlerinin renk oluşturunca bir reaktif ile etkileşimini ve ardından rengin spektrofotometrik ölçümünü içerir. Optik absorbans, ilgilenilen bileşenin konsantrasyonu ile orantılıdır. Bu teknikle NO₂, H₂S gibi kirletici türlerinin analiz edilmesi mümkündür. Kulometrik analiz, bir elektrokimyasal hücrede potasyum iyodür veya bromür çözeltisi ile reaksiyona giren kirletici gazların kuvvetli oksitlenmesi veya azaltılması sırasında üretilen elektrik akımının ölçülmesini içerir (Harrison, 1986).

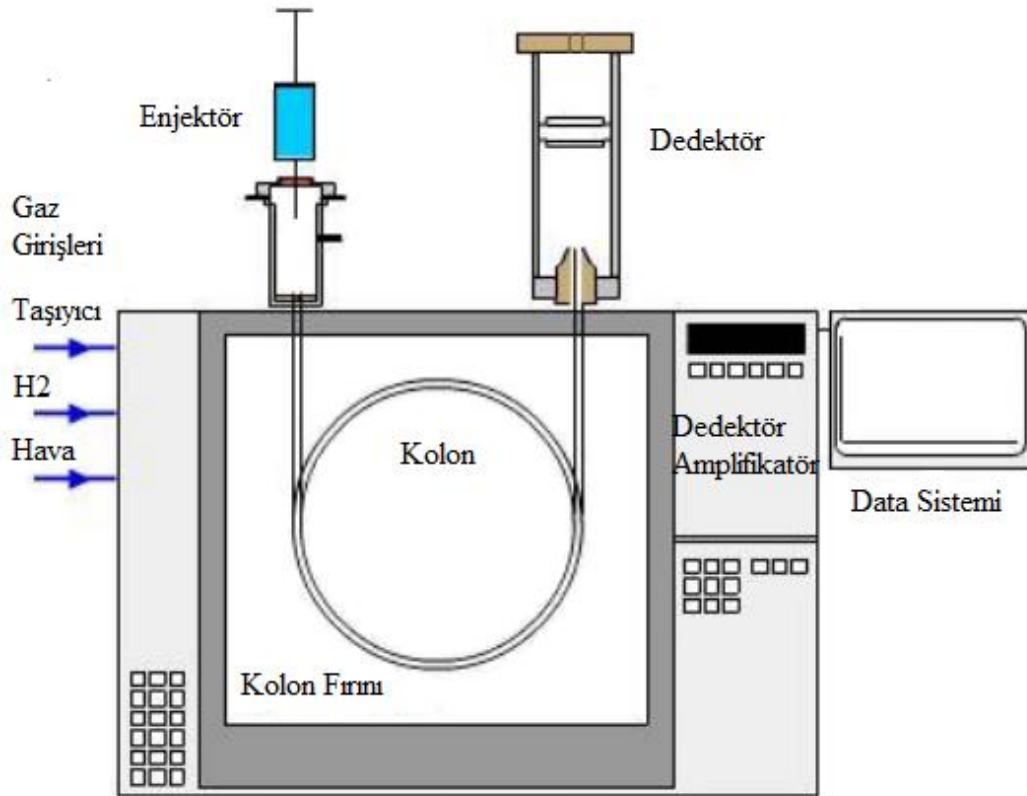
Gaz halindeki kükürt ve azot kirleticilerin analizi için günümüzde kullanılan fiziksel yöntemlerin çoğu optik ölçümler içermektedir. Optik teknikler arasında kemilüminesans, flüoresans ve absorpsiyon spektroskopisi bulunur. Kemilüminesans fenomeni, bir ekzotermik kimyasal reaksiyon enerjisinin bir kısmı ışık olarak salındığında ortaya çıkar. Floresan emisyonu, moleküller bir dalga boyunda ışıma enerjisini emdiğinde ve bu enerjinin bir kısmını başka bir dalga boyunda yeniden yaydıklarında ortaya çıkar. Gazlarda, flüoresans düşük basınçlı bir fenomendir, emisyon normal olarak atmosferiğe yakın basınçlarda saptanamayan seviyelere kadar söndürülür. Uygun şekilde yoğun bir monokromatik ışık kaynağı verildiğinde, yöntem ilke olarak, flüoresans emisyonunun meydana geldiği güçlü bir emme bandına sahip olan izleme gazlarının seçici analizi için temel sağlayabilir. Absorpsiyon spektrumları, bu bölgelerde emilen bileşikler için spesifik parmak izleridir ve bir numune gazının emme spektrumunda yer alan bilgiler, numunedeki emici bileşiklerin her birinin spesifik bir ölçümünü vermek için yeterlidir (Harrison, 1986).

2.5.2. Hidrokarbonların Analizi

Gaz formunda bulunan hidrokarbonların analizleri için enstrümantal teknikler hızla gelişmiş ve gelişmeye devam etmektedir. Uzun bir dayanak noktası olan gaz kromatografisi (GC), elemente özgü dedektörler ve kolonlar kullanarak oldukça hızlı bir şekilde istenilen analitin analiz edilmesini sağlar. Ayrıca, gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC/MS) ve sıvı kromatografisi-kütle spektrometresi (LC/MS) gibi tirelenmiş teknikler, bir zamanlar sadece bir vizyon olan ayırmaları sağlamaktadır. Diğer spektrometrik teknikler – yakın kızılötesi (NIR), fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) ve nükleer manyetik rezonans (NMR), gerçek zamanlı veri sağlamak için çevrimiçi olarak olarak kullanılmaktadır. Kullanılacak metot genellikle analitin karbon

sayısına bağlıdır. Bu sebeple farklı tür hidrokarbonlar için özel teknikler geliştirilmiştir (Drews, 1998).

Uçucu özellikteki hidrokarbonların numuneleri genellikle katı adsorban yüzeyler üzerine alınır. Buna ek olarak gaz sızdırmaz şırıngalar, cam aspiratörler ve PTFE torbalar numune alma ekipmanı olarak kullanılmaktadır. Analiz edilmesi istenilen bileşiğe göre numune alma ekipmanları değişiklik gösterebilir (McIntyre ve Lester, 1986).



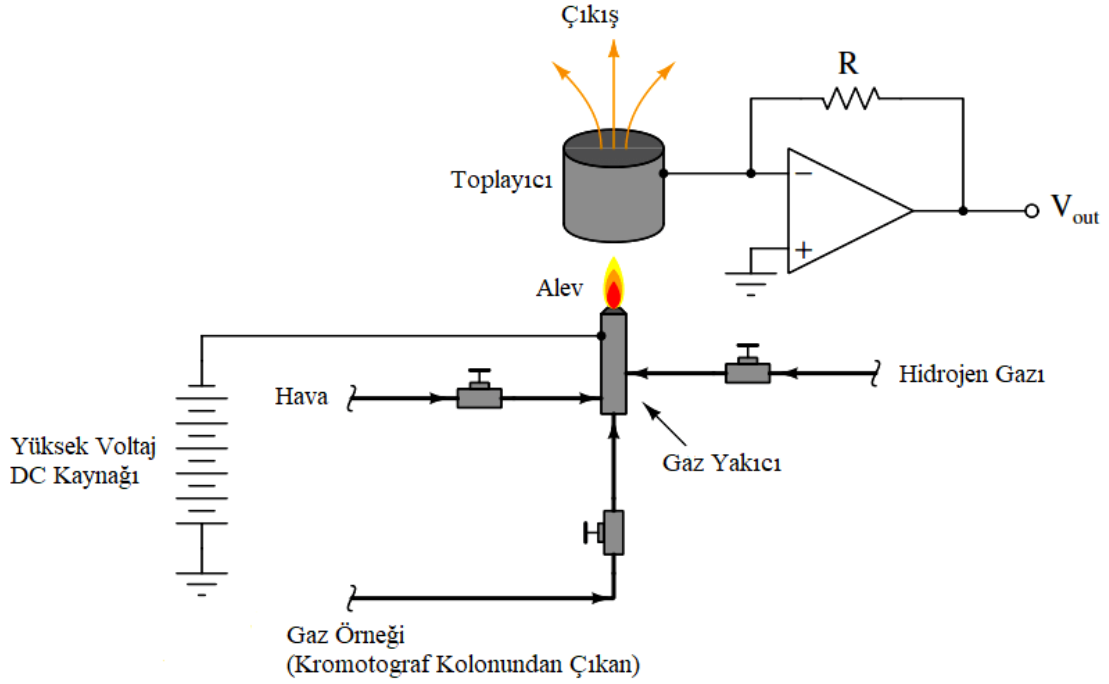
Şekil 2. 18. Gaz kromatografisi (GC) sisteminin şematik görünümü (Chromacademy, 2019)

Kompleks çevresel hava örneklerinin analizinde gaz-sıvı kromatografisi uygulanabilir bir sistemdir. Geleneksel paketlenmiş kolonlar birçok uygulamada kullanılmaktadır. Tespit edilebilen geniş bileşen aralığının gerekli şekilde ayrılmasını sağlamak ve tutma sürelerinin doğru ölçümünü sağlamak için farklı özelliklerdeki kılcal kolonlar sıklıkla kullanılmaktadır (McIntyre ve Lester, 1986). Basit bir gaz kromatografisi (GC) kromatografik işleminin şematik görünümü Şekil 2.18. de verilmiştir. Bu sistemde de numune giriş kısmından sisteme enjekte edilir ve burada buharlaştırılır. Bu aşamada numunenin ciddi bir miktarı taşıyıcı gaz ile kolon içerisine

alınır. Numune içerisindeki bileşenler diferansiyel bölünme ile sabit ve hareketli fazlara parçalanırlar. Ayrılan bileşenler kolon içinden, fizikokimyasal parametrelerin algılanarak sinyal oluşturulan bölüm olan detektöre aktarılır. Detektörde oluşturulan sinyal güçlendirilerek data sistemine gönderilir ve orada kromatogram elektronik olarak oluşturulur (Chromacademy, 2019).

Gaz kromatografisinde yaygın olarak kullanılan alev iyonizasyon detektörü (FID), hidrokarbonların ortam hava konsantrasyonlarının ölçümü için özel olarak tasarlanmış cihazlarda kullanılmak üzere uyarlanmıştır. Bu tür analizörlerin önemli bir özelliği, numunedeki toplam ve metan olmayan hidrokarbonlar arasında ayırım yapabilmesidir. Sürekli numune hava akımı besleme prensibi üzerine çalışan toplam hidrokarbonları belirlemek için kullanılabilen ekipmanları mevcuttur. Bu ekipmanlar bir FID' ye basınç ve akıştaki değişimleri engellemek için hidrokarbon bileşenlerinin konsantrasyonu ile doğrusal orantılı bir elektriksel tepki verir (McIntyre ve Lester, 1986). Tipik bir FID analizörünün şematik bir diyagramı Şekil 2.19.'de verilmiştir. Ortam seviyelerinde hidrokarbonların sürekli ölçümü için FID ile donatılmış birkaç ticari cihaz mevcuttur. FID, geniş bir konsantrasyon aralığında hidrokarbonlar için yaklaşık olarak doğrusal olan sürekli bir yanıt sağlayabilir.

Alev iyonizasyon dedektörleri, numune türlerinin yanmasında serbest kalan iyonlar ile çalışır. Burada numune içindeki bileşiklerin taşıyıcı gazın bulunmadığı bir alev içinde iyonize olacağı varsayılmaktadır. Kalıcı bir alev, kromatograf kolonundan çıkan tüm gaz moleküllerini iyonize etmeye yarar. FID sensörleri ile kullanılan yaygın taşıyıcı gazlar, bir alev içinde ihmal edilebilir iyonlar üreten helyum ve azottur. Alev iyonuyla karşılaşan numune molekülleri elektriksel olarak iletken hale gelir. Bu iletkenlik, dedektör devresinin ölçülebilir bir elektrik sinyaliyle yanıt vermesine neden olur (INSTTools, 2021).



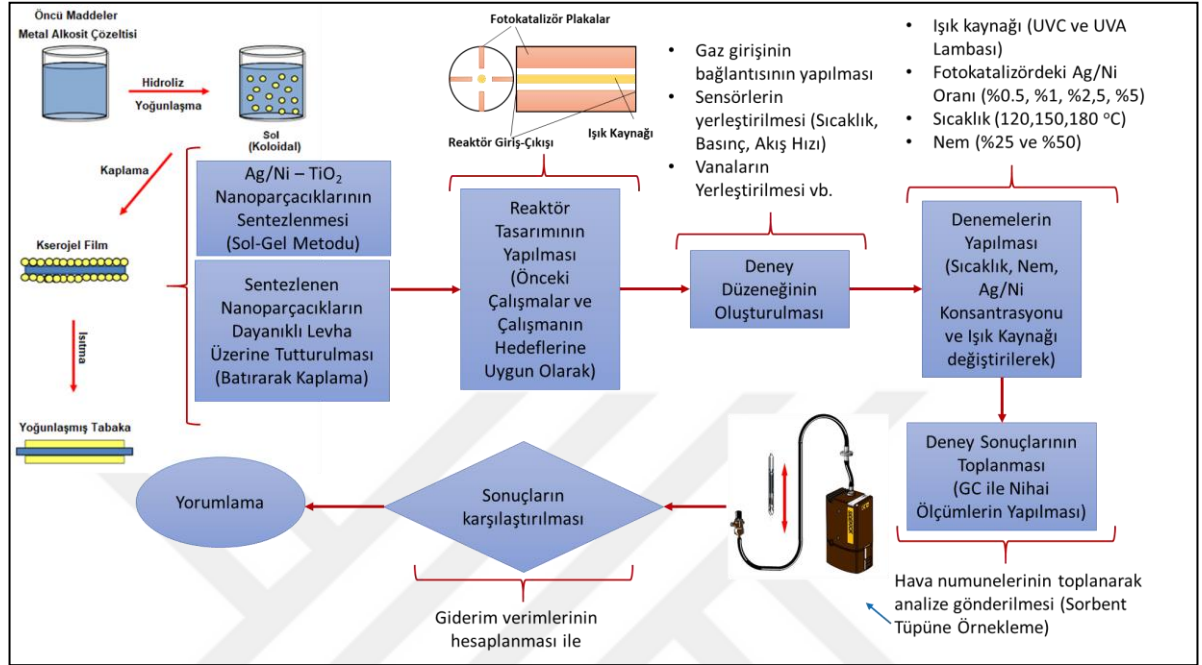
Şekil 2. 19. Tipik bir FID analizörünün şematik görünümü (INSTTools, 2021)

Çevresel numunelerdeki organik bileşiklerin kesin olarak tanımlanması gerekiyorsa, kütle spektrometrisi (MS) yapılması neredeyse bir gerekliliktir. Bu güçlü teknikle bile, mevcut olabilecek birçok benzer bileşik arasında ayırım yapmak genellikle zordur ve bu nedenle bu uygulamada MS tekniklerinin geliştirilmesine yönelik kayda değer çaba gösterilmektedir.

Tipik bir GC-MS sistemi belli işlevleri yerine getirir. Bunlar bir karışımdaki ayrı ayrı bileşiklerin gaz kromatografisiyle ayrılması, ayrılan bileşenlerin iyonlaştırma bölmesine aktarılması, iyonizasyon, kütle analizi, iyonların bir elektron çarpanı ile saptanması, ve bir bilgisayar sistemi tarafından veri toplama, işleme ve görüntülemedir (Mani ve ark., 2017).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında Şekil 3.1’de verilen akım şeması takip edilerek gerekli işlemler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 1. Tez çalışmasının akım şeması

3.1. Fotokatalizörlerin Hazırlanması

Bu çalışma kapsamında cam plakalar üzerine ince film olarak kaplanan Ag-Ni doplanmış TiO₂ nanoparçacıkları sentezlenmiştir. Bu amaçla sol-jel prosedürü takip edilmiş ve kaplama işlemi laboratuvarında tasarlanan daldırarak kaplama cihazı (dip coater) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda farklı Ag-Ni doplama yüzdelere sahip fotokatalizörler hazırlanmıştır. Doplama yüzdeleri %0.5, %1, %2.5, %5 olarak belirlenmiştir. Bu yöntemde doplama işleminden önce ilk olarak TiO₂ içeren bir sol elde edilir, ardından istenilen metaller başka bir solüsyon yardımıyla TiO₂ içeren çözeltiye eklenerek doplanır. Bu çalışmada TiO₂ içeren solün hazırlanması amacıyla ön başlatıcı olarak titanyum-n-bütoksit (Ti((OC₄H₉)₄)) kullanılmıştır. Çözücü olarak 2-propanol ve saf su belli oranlarda çözeltiye eklenmiştir. Doplama solü için ise nikel nitrat (Ni₂(NO₃)) ve gümüş nitrat (AgNO₃) etil alkolde çözülerek iki farklı çözelti hazırlanmış ve ilk çözeltiye eklenmiştir.

3.1.1. Sol Hazırlama Prosedürü

Aşağıda solların hazırlanması sırasında kullanılan molar oranlar ve sol hazırlama prosedürü verilmiştir. Çizelge 3.1’de sol hazırlama prosedüründe kullanılan kimyasalların miktarları verilmiştir.

Sol A ($\text{Ti}((\text{OC}_4\text{H}_9)_4)$):1-butanol:2-propanol:saf su:acacH = 1:7:3:4:0.5)

Sol B (ethanol: $\text{Ni}_2(\text{NO}_3)$ = 20:1, ethanol: AgNO_3 = 20:1)

Çizelge 3. 1. Sollerde kullanılan kimyasal miktarları

SOL A Kimyasal Miktarları				
Ti(OC ₄ H ₉) ₄	58,47 mL			
1 Butanol	106,76 mL			
2-propanol	38,23 mL			
Saf Su	12,01 mL			
AcacH	8,60 mL			
SOL B Kimyasal Miktarları				
	%0,50	%1	%2,50	%5
AgNO ₃	0,29 g	0,58 g	1,17 g	1,75 g
Ni(NO ₃) ₂	0,29 g	0,58 g	1,17 g	1,75 g
Etanol	7,40 mL	14,80 mL	29,61 mL	44,41 mL

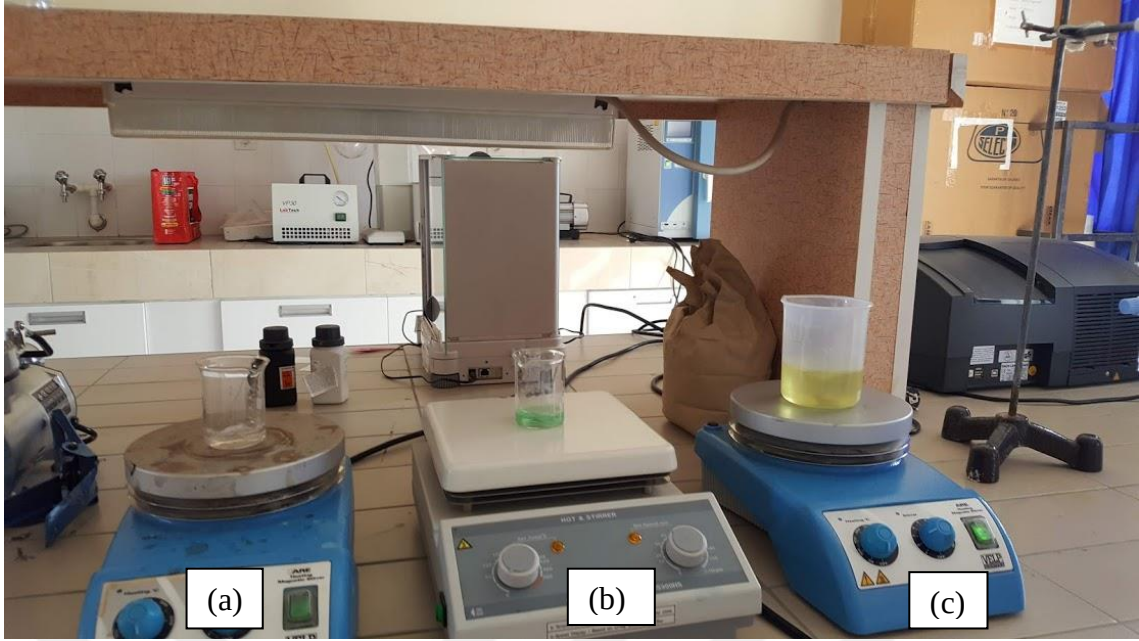
• Sol A için Titanyum bütoksit ve asetil aseton 1-bütanol içerisinde çözüldü. (Şelatlama – Titanyumun kimyasal yapısının korunması amacıyla uygulandı.)

• Hazırlanan çözelti 1 saat boyunca 20 rpm hızda manyetik karıştırıcıda karıştırıldı.

• Ardından ihtiyaç duyulan miktarda su, 2-propanol içerisinde çözüldü ve diğer çözeltileri eklendi. (Hidroliz ve yoğunlaşma)

• Sol A hazırlanırken bir yandan planlanan yüzdelerde Ag ve Ni içeren Sol B’de hazırlandı. (%0.5, %1, %2.5, %5 - Titanyum öncü maddesine $[\text{Ti}((\text{OC}_4\text{H}_9)_4)]$ göre AgNO_3 ve $\text{Ni}_2(\text{NO}_3)$ yüzdeleri)

• Sol B hazırlanırken belirlenen miktarlarda tartılan AgNO_3 ve $\text{Ni}_2(\text{NO}_3)$ etil alkol içerisinde ayrı ayrı çözüldü ve Ni içeren çözelti bir saat 50 rpm’de karışırken, Ag içeren çözelti iki saat 50 rpm’de karıştırıldı. Şekil 3.2. ‘de sollar hazırlanırken kullanılan ekipmanlar ve solların görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. 2. Sollerin görünümü (a) Ag içeren Sol B çözeltisi (b) Ni içeren Sol B çözeltisi (c) Ti içeren Sol A çözeltisi

- Sol B iki aşamalı olarak Sol A içerisine eklendi. İlk olarak Ni içeren çözelti, sol A karışımının ilk bir saatin sonunda su ve propanol ekleme aşamasından sonra eklendi ve bir saat 20 rpm’de karıştırıldı. Ag içeren çözelti bu sürenin sonunda çözeltiye eklendi ve birlikte 1 saat daha 20 rpm’de karıştırıldı. Bu işlemin sonunda elde edilen sol kaplama için hazırdır. Şekil 3.3.’de işlemlerin sonunda elde edilen sol’ün son görüntüsü verilmiştir. Sol’ ün rengi içerisine doplanan Ag ve Ni yüzdesine göre değişiklik göstermiştir. Ag ve Ni yüzdesi yüksek olan sol daha yeşil bir görünüm almıştır.

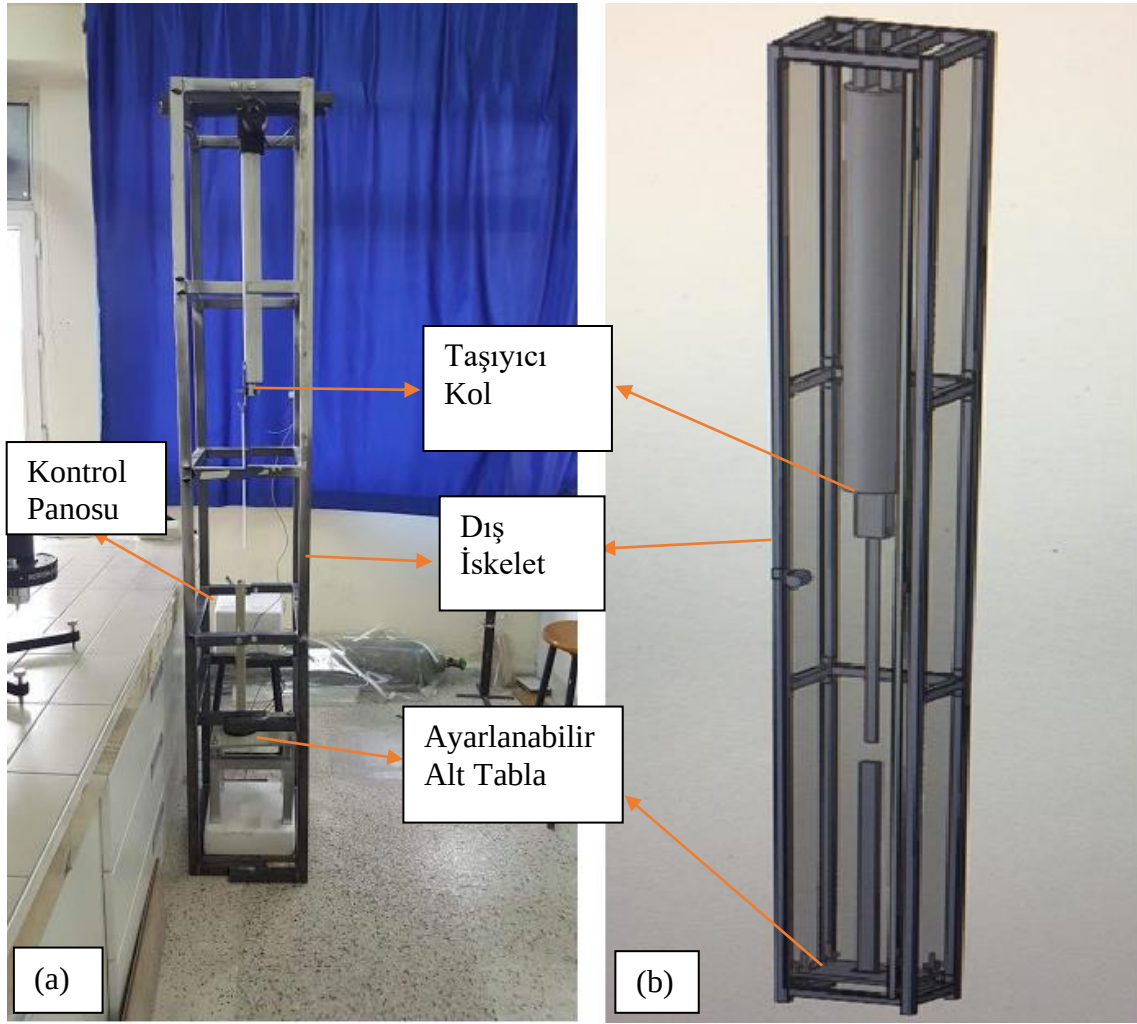


Şekil 3. 3. Sollerin son görünümü (a) %0,5 doplama yapılmış sol, (b) %5 doplama yapılmış sol

3.1.2. Kaplama ve Isıl İşlem Prosedürleri

Sol hazırlandıktan sonra aşağıda adımları verilen kaplama prosedürü takip edilmiştir.

- Hazırlanan sol kaplama işlemi için daldırma kabına dolduruldu. (Solün şeffaf ve homojen olması önemlidir.)
- Kaplama işlemi öncesi 200x30x4 mm boyutlarındaki cam plakalar, 2-propanal ve ardından saf ile yıkanarak yüzeyleri temizlendi ve kurutuldu.
- Batırarak kaplama işlemi laboratuvar ortamında geliştirilen daldırma ile kaplama cihazı (Şekil 3.4.) kullanılarak yapıldı. Cam plakalar sol içerisine kaplamanın kalınlığının kontrolü için 2 mm/saniye hızla daldırıldı ve yaklaşık 30 saniye bekletildikten sonra gene aynı hızla geri çekildi.

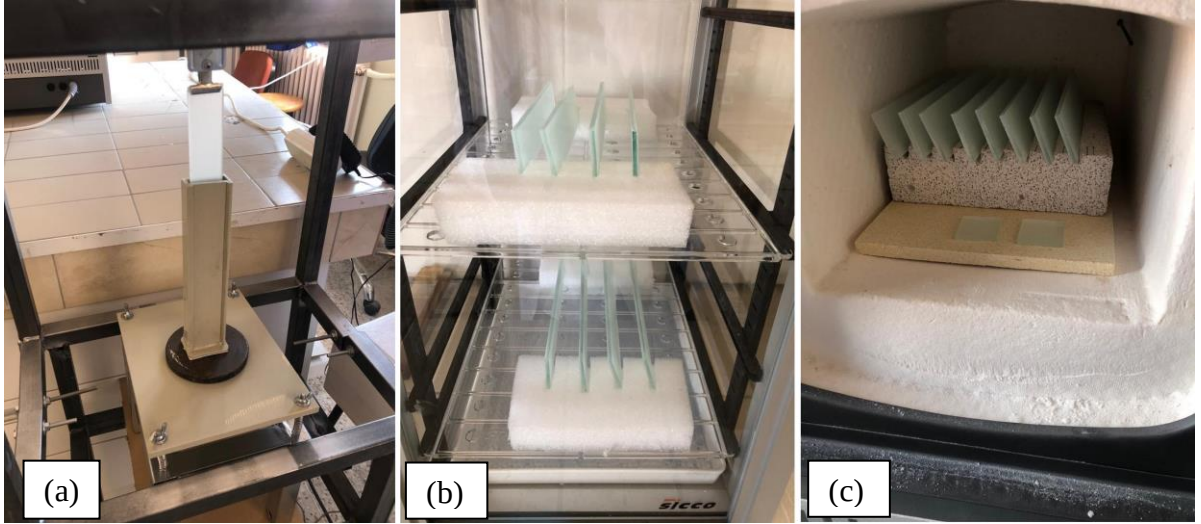


Şekil 3. 4. Daldırma ile kaplama cihazı (a) Cihaz fotoğrafı, (b) AutoCAD çizimi

- Geri çekme işleminin ardından plakalar oda sıcaklığında desikatör içerisinde 1 saat kurutulduktan sonra, katılaşmanın sağlanabilmesi için ısıtma işlemine tabi tutuldu. 600°C'ye ayarlanmış kül fırınında 1 saat kadar bekletilerek fotokatalizörler hazırlandı. Şekil 3.5.'de kaplama, kurutma ve ısıtma işlemleri sırasında çekilen görüntüler verilmektedir.

- Kaplama işleminden sonra ince film kalınlığını tahmin etmek için sol 'ün yoğunluğu, yüzey gerilimi ve viskozitesi ölçüldü.

- Elde edilen fotokatalizörler reaktör boyutuna uygun olması için ısıya dayanıklı bir yapıştırıcı ile yapıştırılarak kurutuldu. Her bir doplama yüzdesi için 4 adet olmak üzere toplamda 16 adet olarak hazırlandı.



Şekil 3. 5. Cam plakaların sırasıyla (a) kaplama sırasındaki, (b) kurutma sırasındaki ve (c) ısıtıl işlem öncesi görüntüleri

3.1.3. Fotokatalizör Karakterizasyonu

Hazırlanan fotokatalizörlerin karakterizasyonu için SEM-EDX ve XRD analizleri yaptırılmıştır. SEM-EDX analizleri Zeiss EVO LS10 marka cihaz kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.6. 'da bu cihazın fotoğrafı verilmiştir. Zeiss EVO LS10, genellikle Çevresel SEM olarak adlandırılan değişken basınçlı tarama elektron mikroskopudur (VP-SEM). Temiz odanın biyolitografi bölümünde bulunur. Yüksek vakum modunda ve 1-30kV'de 6nm çözünürlük kapasitesine sahip olan EVO, geleneksel SEM örneklerinin kabul edilebilir yüksek çözünürlüklü görüntülerini üretir, ancak iletken olmayan, hidratlı, büyük boyutlu veya olağandışı örneklerin analizinde gerçekten parlar. Bu sebeple iletkenliği yüksek olmayan numunelere kaplama işlemi uygulanabilir. Genişletilmiş basınç modunda, görüntüleme 3000 Pa'ya kadar ayarlanmış basınçlarda yapılabilir Deben CoolStage II ile birlikte kullanılırsa biyolojik ve diğer ıslak numuneler değişken basınçlı ikincil elektro (VPSE) veya geri saçılma dedektörleri kullanılarak görüntülenebilir. Oxford Inca EDX kullanılarak eleman analizi tüm modlarda yapılabilir. (Gateway, 2009). Bu çalışmada numunelere karbon kaplama yapılarak 1-3 mikrometre 'ye kadar yaklaşılarak bakılmıştır. Ayrıca yüzeyde malzeme dağılımını daha net görmek amacıyla EDX haritalandırma özelliği kullanılmıştır.



Şekil 3. 6. Zeiss EVO LS10 SEM-EDX analiz cihazı (Gateway, 2009)

XRD analizleri BRUKER D8 ADVANCE X-Işını Difraktometresi kullanılarak yapılmıştır. Bu cihaz birçok üniteye sahiptir. Şekil 3.7. 'de BRUKER D8 ADVANCE X-Işını Difraktometresi cihazının fotoğrafı verilmiştir. Cihazda bakır hedefli X-ışını tüpü bulunmaktadır. Ayrıca bu tüpteki sıcaklık değişimlerinin kontrolü için su soğutucu bulunmaktadır. Ayrıca cihazın yüksek çözünürlüğe sahip Grafit Monokromatör'ü bulunmaktadır. Bu monokromatör monokromatize X-ışını elde edilmesini sağlamaktadır. Cihazın sahip olduğu çapraş ışın optik yapısı odak y ada paralel ışın geometrisinde çalışmasına müsaade eder. Genle olarak kritalli ve düzgün yüzeyler için "Bragg-Brentano odak ışın geometrisi" yöntemi ile oldukça güçlü kırınım bantları elde edilmesine karşın; prüzlü ve zayıf kritaller ve ince filmler için ise "Paralel odak ışın geometrisi" tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra 2θ tarama yöntemi ve sabit bir grazing açısı (GID-minimum $0,5^\circ$) ile yöntemiyle farklı kalınlıklardaki ince daha güçlü kırınım grafikleri elde etmek mümkündür. Bu teknik sayesinde, ince film ve polikristal numunelerin ölçümleri hassa bir şekilde yapılabilmektedir. Toz ya da ince film numuneler için X-ışını kırınım deseni elde edildikten sonra, kalitatif analizlerde ICDD kartlarında bulunan yaklaşık 200.000 madde ile karşılaştırma yapılarak fazların belirlenmesi sağlanmaktadır. (SelcukUniversitesi, 2020). Bu çalışma kapsamında elde edilen ince filmlere "Paralel odak ışın geometrisi" yöntemi ile bakılmış ve sabit

grazlama açısı (GID-minimum $0,5^\circ$) kullanılmıştır. Bu işlemlerle elde edilen X- ışını grafiklerine kaltitaif analiz yapılmış ve içerisindeki madde fazları ve özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 3. 7. BRUKER D8 ADVANCE X-Işını Difraktometresi Cihazı (TheJamesHuttonInstitute, 2020)

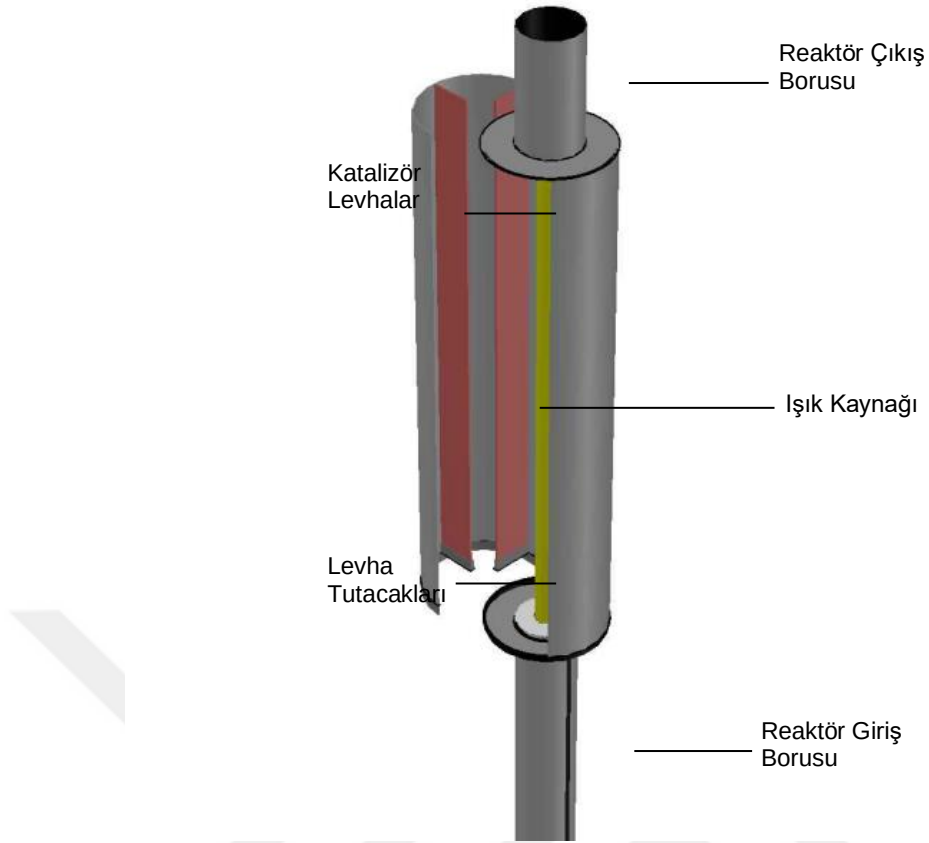
3.1.4. Kaplama Özellikleri

Bu çalışma kapsamında Fotokatalizör hazırlama işlemi sırasında yapılan kaplamanın özellikleri Atomik Güç Mikroskopi (AFM) kullanılarak yapılan çekimlerle belirlenmiştir. Bu mikroskopla çekilen görüntüler yüzeydeki malzeme dağılımının uniformluğu hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca yüzey film kalınlığı film kalınlığı Denklem 2.1’de verilen formül yardımıyla sol ’ün viskozitesi, yoğunluğu ve viskozitesi, daldırma hızı, yüzey gerilimi ve yerçekimi verileri kullanılarak hesaplanmıştır.

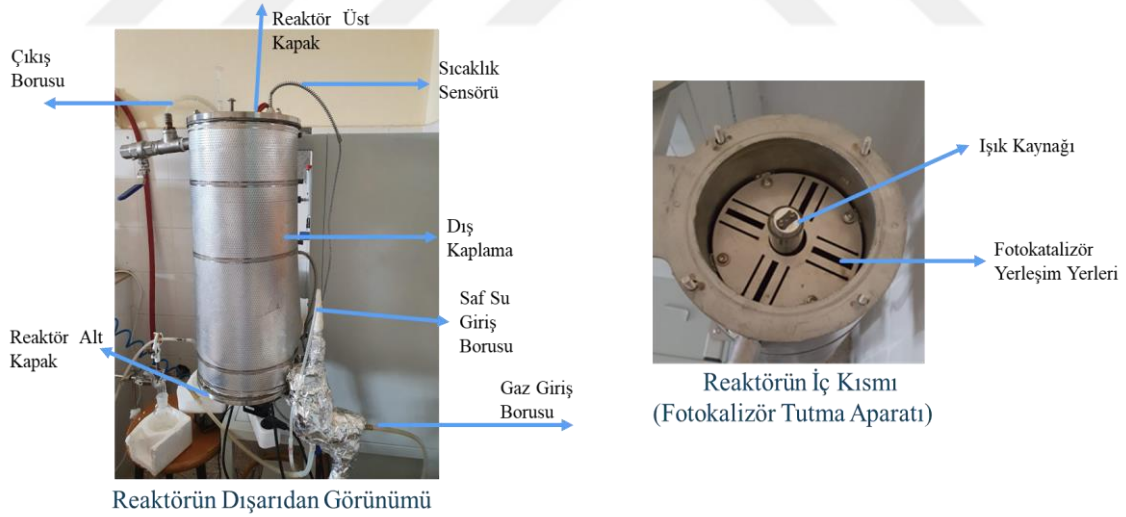
3.2. Fotokatalitik Oksidasyon Reaktörünün Tasarlanması

Tez kapsamında ikinci aşama olarak çalışmanın ihtiyaçlarına uygun reaktörün tasarlanması gelmektedir. Tasarım yapılırken öncelikle ışık kaynağı ve fotokatalizör arasındaki etkileşimin maksimumda tutulması hedeflenmektedir. Bu amaçla reaktör geometrisi silindirik olarak belirlenmiş ve reaktörün tam ortasına ışık kaynağının yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Dört adet fotokatalizör levhanın reaktörün iç kısmına birbirlerine 90 derece açıyla bakacak şekilde ve ışık kaynağıyla aynı boyda dik vaziyette konumlandırılması planlanmıştır. Şekil 3.8.'te görsel tasarımı yapılan reaktörün 3 boyutlu AutoCAD çizimi verilmiştir. Özellikle dairesel geometriye sahip reaktörlerin kullanıldığı sistemlerde reaktör çapları 10 cm 'e yakın değerlerde seçilmiştir. Bunun yanı sıra reaktörlerde kullanılan akış hızlarının genellikle 3 L/dakikadan küçük değerlerde seçildiği görülmüştür (Chapuis ve ark., 2002; Huang ve ark., 2017; Ji ve ark., 2017; Passalia ve ark., 2017). Bu bilgiler ışığında özel bir firmaya yaptırılan reaktörün özellikleri aşağıda sıralanmıştır. Şekil 3.9.'de tasarlanan reaktörün iç ve dış görünümünün fotoğrafları verilmiştir.

- Reaktör paslanmaz çelik malzemeden üretilmiştir.
- Reaktör içine fotokatalizörleri tutmak için özel bir parça yapılmıştır.
- Reaktörün iç kısmı fotokatalizörler ve ışık kaynağı arasında 7 mm boşluk olacak şekilde yapılmıştır.
- Reaktör içindeki hava debisi 1-5 L/dk arasında ayarlanabilmektedir.
- Reaktörün iç çapı 14,5 cm, boyu ise 45 cm olarak yapılmıştır.
- Reaktör giriş-çıkış kısımlarında sızdırmaz kapaklar ve borular kullanılmıştır.
- Reaktör giriş ve çıkışlarından örnekler bu boruların ucuna yerleştirilen yıkama şişeleri ile alınmaktadır.
- Reaktör içine sıcaklık sensörleri yerleştirilmiş ayırıcı ısı azalmasını önlemek için ekstra ısıtıcı konulmuştur.



Şekil 3. 8. Tez kapsamında tasarlanan reaktörün 3 boyutlu AutoCAD çizimi

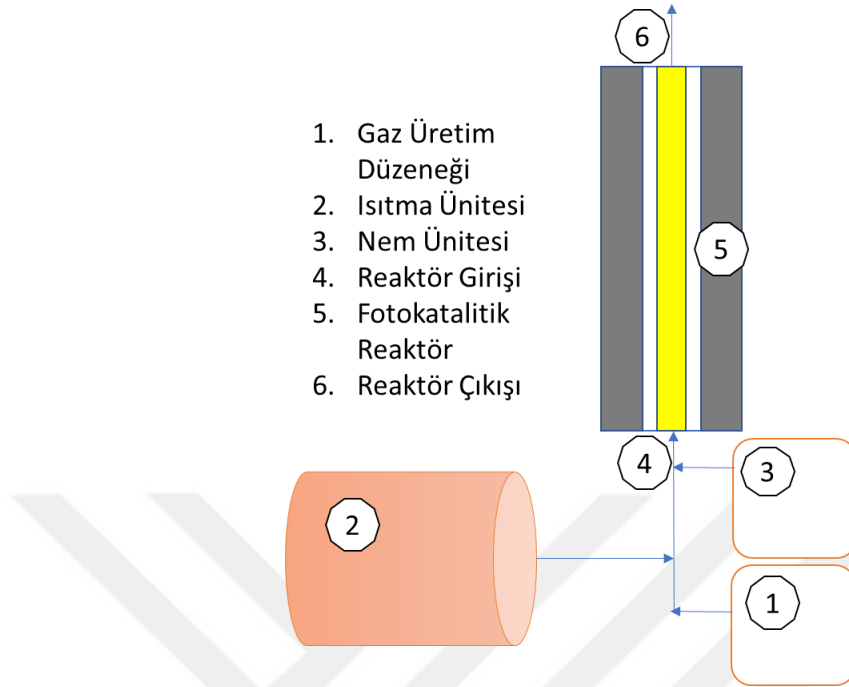


Şekil 3. 9. Reaktörün dış ve iç görünimleri

3.3. Deney Düzenekinin Oluşturulması

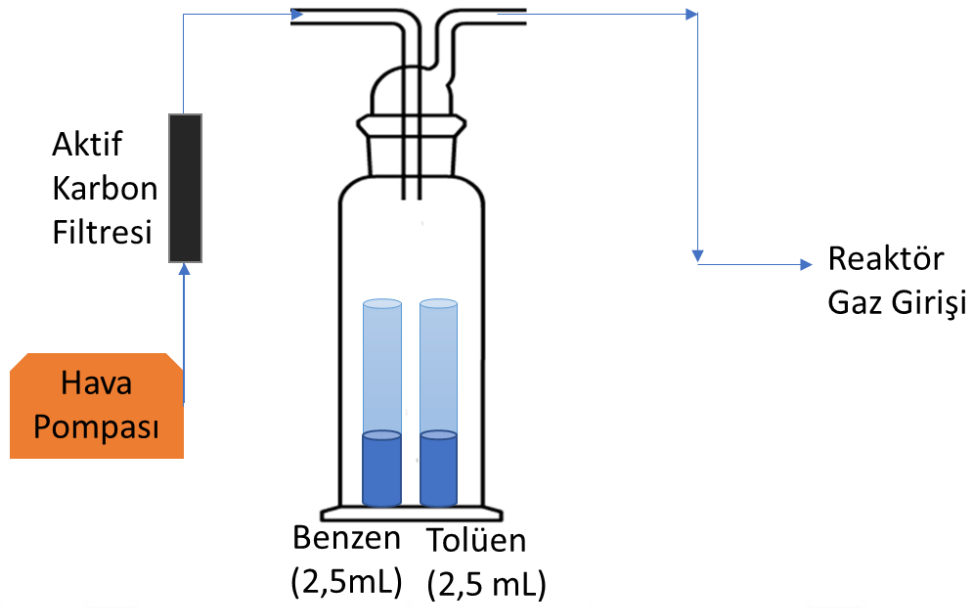
Deney düzeneği sisteme verilecek belirli miktarda gazın, ısıtma ve nemlendirme işlemlerinden geçirildikten sonra reaktöre sokulması ve sürekli bir akış sağlanarak ısıtılan reaktörden çıkması olarak belirlenmiştir. Gazın içeride kalma süresi reaktör

hacmi ve akış hızına göre belirlenmiştir. Şekil 3.10.'da bu deney çalışması kapsamında oluşturulan deney düzeneği şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3. 10. Fotokatalitik oksidasyon ile hava kirletici giderim sistemi deney düzeneği

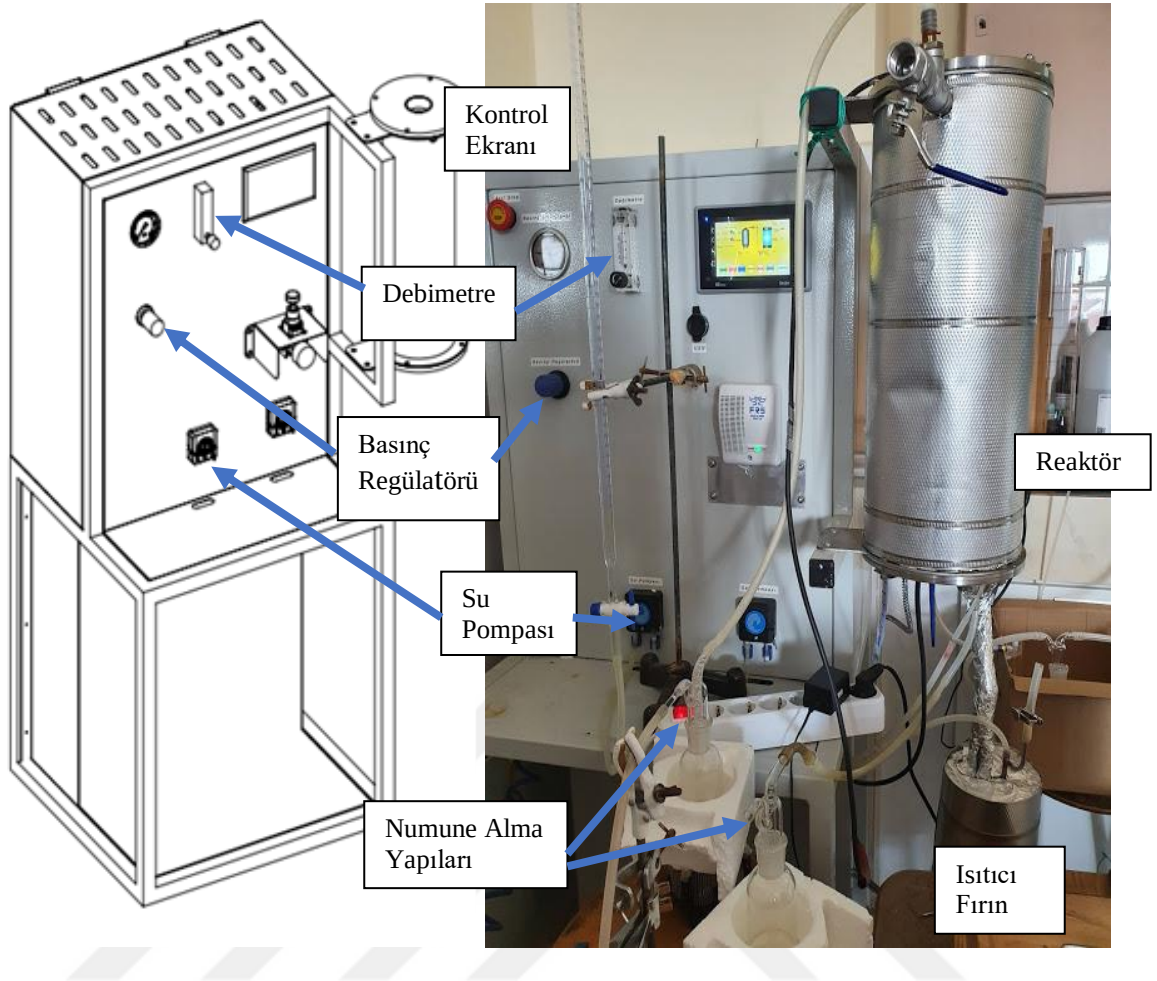
Fotokatalitik oksidasyon ile giderim sisteminde benzen ve tolüen hava ile karıştırılarak reaktör içine verilmektedir. Bu düzenekte sisteme verilen kirletici gazın üretimi şematik olarak Şekil 3.11’de verilmiştir. Bir pompa vasıtasıyla 35 mL/dk debide aktif karbon filtresinden geçirilen hava, sıvı haldeki benzen ve tolüen (2,5mL) içerisine verilmiş ve yıkama şişesi içerisinde gaz oluşumu sağlanmıştır. Oluşan gaz bir boru vasıtasıyla direk olarak sisteme sokulmaktadır. Gaz üretimi sırasında kullanılan hava öncesinde aktif karbon filtresinden geçirilerek temizlenmekte ve o şekilde sıvıların içerisine verilmektedir. Sisteme giren hava debisi 1 L/dk kompresör ile sağlanmış ve içeri gönderilen gazın seyreltilerek daha düşük konsantrasyon değerlerinde reaktörden geçirilmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte içeri girmeden önce gazın ısıtılması için reaktör girişi öncesine bir ısıtma ünitesi yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 11. Gaz üretim sistemi şematik gösterimi

Sistemin nemi peristaltik pompa vasıtasıyla reaktör içerisine belli bir debide sürekli saf su verilerek sağlanmaktadır. Deney düzeneğine eklenen dijital kontrol ekranı sayesinde reaktör içi sıcaklık, nem oluşumu için sisteme verilen saf su debisi, basınç, hava debisi gibi parametrelerin kontrolü otomatik olarak yapılabilmektedir.

Şekil 3.12.' de özel bir firmaya yaptırılan giderim sisteminin AutoCAD çizimi ve son görünümü verilmiştir.



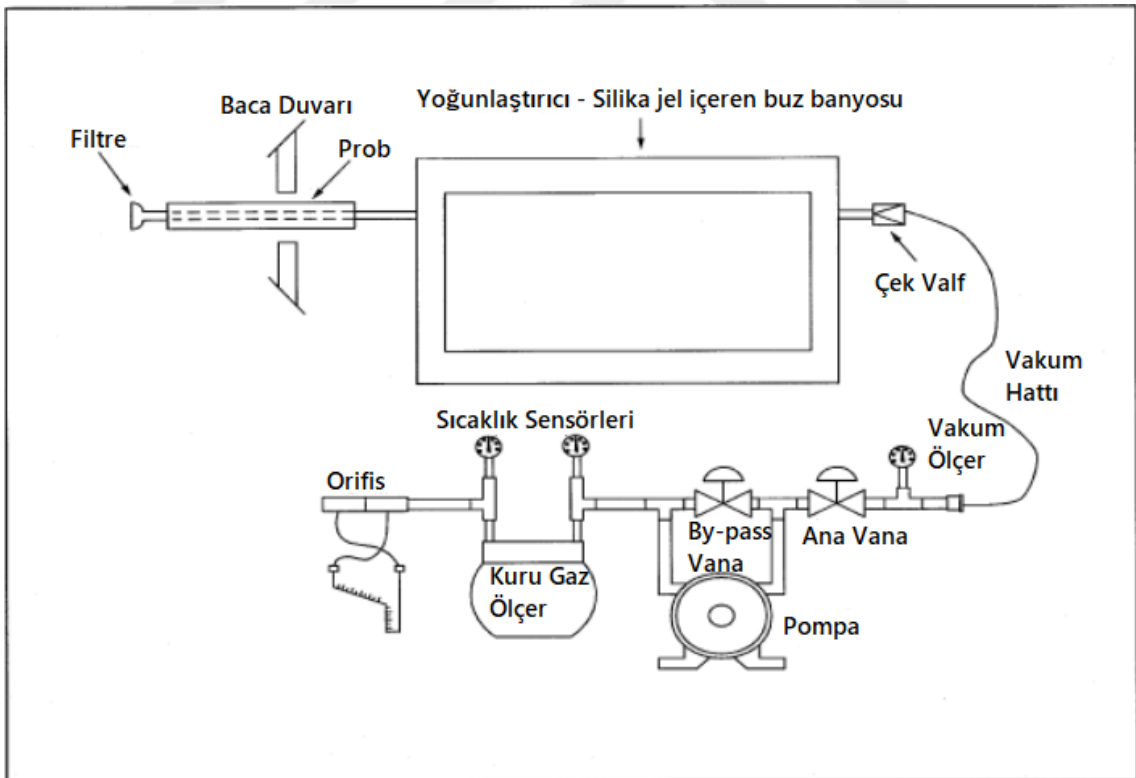
Şekil 3. 12. Hava kirlenici giderim sistemi AutoCAD çizimi ve son halinin görünümü

3.3.1. Nem Oranın Ayarlanması

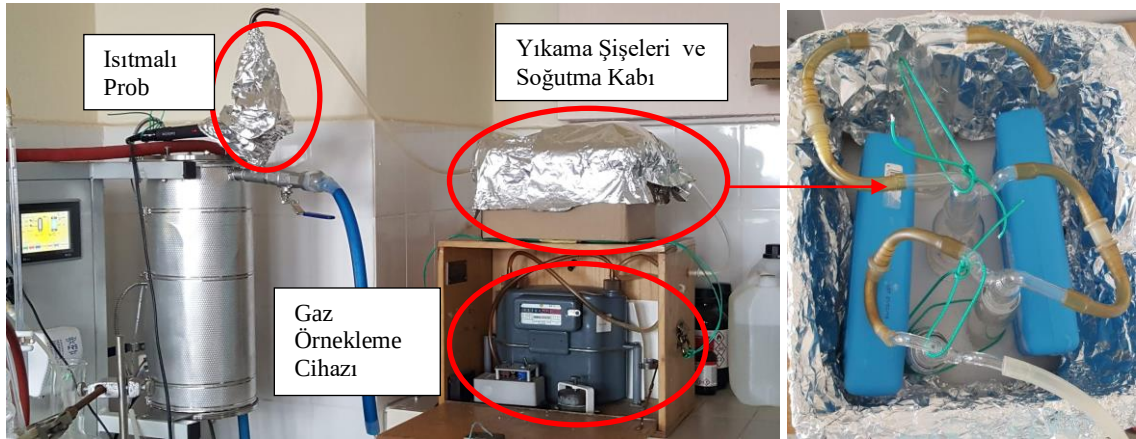
Cihaz içerisindeki nem oranının belirlenebilmesi için EPA ‘nın baca gazları içerisindeki nem oranının belirlenmesi ile alakalı yöntem (Method 4) kullanılmıştır (EPA, 2017a). Metot için ihtiyaç duyulan malzemeler ısıtmalı örnek alma probu, yıkama şişesi, soğutma ünitesi, hassas terazi, silika jel, gaz örnekleme cihazını (gazometre) içermektedir. Bu metot aşağıdaki aşamaları içermektedir. EPA yönteminde gösterilen deney düzeneği Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Bu kapsamda oluşturulan deney düzeneği ise Şekil 3.14’ de verilmiştir.

- Isıtmalı probun sistem çıkışına bağlanması sağlandı.
- Isıtma sisteminin sıcaklığı 120 °C civarında olması amaçlanmıştır.
- Terazinin doğruluğu kontrol edildi. (100 mg’lık bir ağırlıkla)
- Yıkama şişelerinin ilk 2 tanesine 50 ml su konuldu ve ağırlıkları tartılarak kayıt altına alındı.

- 3. Yıkama şişesi boş bırakıldı.
- 4. Yıkama şişesine 100 g silika jel konuldu ve ağırlıklarının tartılarak kayıt altına alındı.
- Örneklem hattı cihaza bağlandı ve ilk hacmi okunarak kaydedildi.
- İzokinetik şartların sağlanabilmesi için sistemdeki hava akış hızı 0,6 L/dk (örneklem cihazı ile aynı hız) olarak ayarlandı.
- Yaklaşık olarak 50 dk gaz örneklemme cihazı çalıştırıldı ve yıkama şişelerinden 30 L gaz geçirildi.
- Deney boyunca yıkama şişelerinin olduğu yoğunlaştırma kabının sıcaklığı 20 °C' nin altında tutuldu.
- Deney sonunda cihaz kapatıldı ve gazometre sayacının son hacmi kaydedildi.
- Yıkama şişelerini ve silika jel şişesinin son ağırlıkları tartılarak kaydedildi.
- Baca sıcaklığı ve gazometre sıcaklığı kaydedildi.



Şekil 3. 13. EPA Metot 4 baca gazında nem oranı belirleme deney düzeneği (EPA, 2017a)



Şekil 3. 14. Nem oranı belirleme deney düzeneği

Sonuçların Hesaplanması:

Bu yöntemle göre nem oranı belirlenmesi için yapılan deneyde aşağıda sıralanan formüllerden faydalanılarak yoğunlaşan su buharı hacmi, silika jelde toplanan su hacmi ve örneklenen gaz hacmi değerleri hesaplandı. Denklem 3.8’de verilen nem içeriği hesabı kullanılarak reaktör içerisindeki nem oranı belirlendi.

Yoğunlaşan Su Buharı Hacmi:

$$V_{wc(std)} = ((V_f - V_i) \cdot P_w \cdot R \cdot T_{std}) / P_{std} \cdot M_w \quad (\text{Denklem 3.2})$$

$$V_{wc(std)} = K_1 \cdot (V_f - V_i) \quad (\text{Denklem 3.3})$$

Burada;

$$K_1 = 0.001242 \text{ m}^3/\text{ml}$$

Silika Jelde Toplanan Su Hacmi:

$$V_{wsg(std)} = ((V_f - V_i) \cdot R \cdot T_{std}) / P_{std} \cdot M_w \cdot K_2 \quad (\text{Denklem 3.4})$$

$$V_{wsg(std)} = K_3 \cdot (W_f - W_i) \quad (\text{Denklem 3.5})$$

Burada;

$$K_2 = 1.0 \text{ g/g}$$

$$K_3 = 0.001244 \text{ m}^3/\text{g}$$

Örneklenen Gaz Hacmi:

$$V_{m(std)} = (V_m \cdot Y \cdot P_m \cdot T_{std}) / (P_{std} \cdot T_m) \quad (\text{Denklem 3.6})$$

$$V_{m(std)} = K_4 \cdot Y \cdot V_m \cdot P_m / T_m \quad (\text{Denklem 3.7})$$

Burada;

$$K_4 = 0.3592 \text{ } ^\circ\text{K/mm Hg}$$

Nem İçeriği hesabı aşağıdaki denkleme göre yapılmaktadır.

$$B_{ws} = (V_{wc}(std) + V_{wsg}(std)) / (V_{wc}(std) + V_{wsg}(std) + V_m(std)) \quad (\text{Denklem 3.8})$$

Bu denklemlerdeki parametreler:

B_{ws} = Gaz akışında hacim olarak su buharı oranı.

M_w = Suyun molekül ağırlığı, 18.0 g/g-mole

P_m = Kuru gaz sayacındaki mutlak basınç (bu metot için barometrik basınç ile aynı), mm Hg

P_{std} = Standart mutlak basınç, 760 mm Hg

R = İdeal gaz sabiti, metrik birimler için 0.06236 (mm Hg)(m³)/(g-mole)(°K)

T_m = Sayataki mutlak sıcaklık, °K

T_{std} = Standart mutlak sıcaklık, 273°K

V_f = Kondenser suyunun son hacmi, ml.

V_i = İlk su hacmi, eğer varsa kondenser suyunun hacmi, ml.

V_m = Kuru gaz sayacı ile ölçülen kuru gaz hacmi, dcm (dcf).

$V_m(std)$ = Standart koşullara göre düzeltilmiş kuru gaz sayacı ile ölçülen kuru gaz hacmi, dscm (dscf).

$V_{wc}(std)$ = standart koşullara göre düzeltilmiş yoğunlaştırılmış su buharı hacmi, scm (scf).

$V_{wsg}(std)$ = standart koşullara göre düzeltilmiş silika jelde toplanan su buharının hacmi, scm (scf).

W_f = Silika Jelin son ağırlığı veya silika jelin olduğu impingerin son ağırlığı, g.

W_i = Silika Jelin ilk ağırlığı veya silika jelin olduğu impingerin ilk ağırlığı, g.

Y = Kuru gaz sayacı kalibrasyon faktörü

ΔV_m = Her bir travers noktasındaki kuru gaz ler ile llen artan kuru gaz hacmi, dcm (dcf).

ρ_w = Su yoğunluğu, 0.9982 g/ml

Farklı sıcaklıklarda yapılan cihazın otomatik ayarladığı su debisine göre yapılan nem ölçümleri sonucu elde edilen nem içeriği yüzdeleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Cihazın otomatik olarak belirlediği nem yüzdeleri tercih edildiğinde elde edilen nem oranı yüzdeleri incelendiğinde otomatik ayar sonucu çıkan değerlerin sistemde bulunması istenilen nem içeriği yüzdelerinden (%25 ve %50) farklı olduğu görülmüştür. Bu sebeple otomatik olarak tercih yapılmasının uygun olmadığına karar verilmiştir. Sistemde istenilen yüzdede nemin sağlanabilmesi için ihtiyaç duyulan su miktarı belirlenerek, çalışılacak tüm sıcaklıklar için bu su miktarının sisteme verilmesi planlanmıştır. Sisteme verilecek su debisi %25 nem yüzdesini sağlamak için **0.2 g/dk** ve %50 nem yüzdesini sağlamak için **0.5 g/dk** olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. 2. Cihazda otomatik ayar yapıldığında nem içeriği ölçüm sonuçları

Sıcaklık (°C)	Nem İçeriği	
	%25 nem tercihi için deneysel verilerden hesaplanan nem içeriği (%)	%50 nem tercihi için deneysel verilerden hesaplanan nem içeriği (%)
120	%13,5	%14,75
150	%29,22	%45,16
180	%54,33	%63,72

3.4. Deneysel Çalışma Koşulları ve Numune Alma

3.4.1. Çalışma Koşulları

Reaktör içerisinde sürekli ve piston akımlı bir akış vardır. Sistemde her deney için bekleme süresi 10 dk olarak ayarlanmıştır. Kirletici gazlar reaktöre vermeye başladıktan sonra gaz fotokatalizör dengesinin sağlanması amacıyla her deney öncesi 45 dk karanlık ortamda çalıştırılmıştır. Bu süre her bir katalizör için 120 °C ve nemsiz karanlık ortamda yapılan deneyler ile belirlenmiştir. Bu kapsamda fotokatalizör 1 (%0,5 Ag/Ni Doplanmış TiO₂) kullanılan denemede 10 ve 45. dakikalarda, diğer fotokatalizörlerin kullanıldığı denemelerde ise 45. dakikada örnekler alınmıştır.

Sonrasında ışık kaynağı açılarak çıkış örnekleri 10 dakikalık bekleme süresinin sonunda alınmıştır. Her deney sonrası katalizörleri temizlemek amacıyla reaktöre giren kirletici gaz ile su akışı durdurulmuş ve reaktör 30 dakika boyunca sadece hava ile çalıştırılmıştır. Bu süre zarfında UV ışık kaynağı açık bırakılmıştır. Yapılan benzer çalışmalarda bu metot yüzeyin temizlenmesi için kullanılabilircek yöntemlerden biri olarak sunulmuştur. Bu yöntemin yanı sıra katalizörün temiz hava ile havalandırılması,

H₂O₂ buharına maruz bırakma, 500 °C'ye ısıtma, nemli bir atmosferde ozona maruz bırakma gibi yöntemler de önerilmektedir.(Kozlov, 2014).

Deneyler sırasında iki farklı ışık kaynağı kullanılmış (Osram Hns 15w UVC G13 ve Osram UVA 15W/78 G5), farklı ortam sıcaklıkları, doplama yüzdeleri ve nem oranlarında çalışmıştır. Tez kapsamında yapılan deneyler ve değiştirilen parametreler Çizelge 3.3 'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışma kapsamında değiştirilen parametreler ve deney numaraları

Işık Kaynağı	Deney No	Fotokatalizör	Işık Kaynağı	Deney No	Fotokatalizör	Sıcaklık (°C)	Nem Oranı (%)
UVC (254 nm)	1	%0,5 Ag/Ni Doplanmış TiO ₂ (Fotokatalizör 1)	UVC (254 nm)	25	%2.5 Ag/Ni Doplanmış TiO ₂ (Fotokatalizör 3)	120	25
	2			26			50
	3			27		150	25
	4			28			50
	5			29		180	25
	6			30			50
UVA (365 nm)	7		UVA (365 nm)	31		120	25
	8			32			50
	9			33		150	25
	10			34			50
	11			35		180	25
	12			36			50
UVC (254 nm)	13	%1 Ag/Ni Doplanmış TiO ₂ (Fotokatalizör 2)	UVC (254 nm)	37	%5 Ag/Ni Doplanmış TiO ₂ (Fotokatalizör 4)	120	25
	14			38			50
	15			39		150	25
	16			40			50
	17			41		180	25
	18			42			50
UVA (365 nm)	19		UVA (365 nm)	43		120	25
	20			44			50
	21			45		150	25
	22			46			50
	23			47		180	25
	24			48			50

Giriş örnekleri ise nemsiz ortamdan farklı günlerde 6 adet alınmıştır. Sisteme verilen Benzen ve Tolüen 'in giriş konsantrasyonu buna ek olarak hesapla da belirlenmiştir. Bu hesaplamada zorlanmış kütle taşınımı (Forced Mass Convection) kabulleri kullanılmıştır (Incropera ve ark., 2007). Fazlar arası molar akışın (kmol/m²s) hesaplanması için geliştirilen eşitlik Denklem 3.9 'da verilmiştir. Burada N_A molar akışı, k kütle transfer katsayısını, c ise molar konsantrasyonları ifade etmektedir.

$$N_A = k_c(C_{As} - c_{A\infty})$$

(Denklem 3.9)

Kütle taşınım katsayısının belirlenebilmesi için iki eşitlik kullanılmaktadır. Bunlar Schmidt (S_c) ve Sherwood (S_h) sayısı olarak adlandırılmaktadır. Denklem 3.10 ve 3.11’de bu sayıların hesaplanması için kullanılan eşitlikler verilmiştir.

$$S_c = \nu/D_{AB} \quad (\text{Denklem 3.10})$$

$$S_h = k_c \cdot d_h / D_{AB} \quad (\text{Denklem 3.11})$$

Akış Laminar ve $0.6 \leq S_c \leq 50$ ise Denklem 3.12’de verilen eşitlik kullanılır.

$$S_h = 0,664 Re^{1/2} S_c^{1/3} \quad (\text{Denklem 3.12})$$

Burada;

ν : Kinematik viskozite (m^2/s)

D_{AB} : A’nın B içinde çözünürlüğü (m^2/s)

d_h : Kabin hidrolik çapı

Re : Reynold’s Sayısı ($Re = u \cdot d_h / \nu$)

u : Kaba verilen havanın hızı (m/s)

k_c değeri hesaplandıktan sonra N_A değeri molar konsantrasyonlar üzerinden hesaplanır. Molar konsantrasyonlar hesaplanırken kullanılan eşitlikler Denklem 3.13, 3.14, 3.15 ve 3.16’da verilmiştir. Eşitliklerdeki T_s sıvı-gaz arayüz sıcaklığını ($^{\circ}K$), T_{∞} ise ortam sıcaklığını ($^{\circ}K$), p_{As} sıvı-gaz arayüz sıcaklığındaki sıvı buharının kısmi basıncını, $p_{A\infty}$ ortam sıcaklığındaki sıvı buharının kısmi basıncını ve R ideal gaz yasası katsayısını ($0.08205 \text{ atm} \cdot m^3/kmol \cdot ^{\circ}K$) ifade etmektedir.

$$c_{As} = p_{As} / RT_s \text{ (kmol/m}^3\text{)} \quad (\text{Denklem 3.13})$$

$$c_{A\infty} = p_{A\infty} / RT_{\infty} \text{ (kmol/m}^3\text{)} \quad (\text{Denklem 3.14})$$

$$p_{As} = p_A^{sat}(\text{yüzey sıcaklığı}) \quad (\text{Denklem 3.15})$$

$$p_{A\infty} = 0.25 \times p_A^{sat}(\text{ortam sıcaklığı}) \quad (\text{Denklem 3.16})$$

Yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda elde edilen fazlar arası molar akış değeri gazların molekül ağırlıkları ve yüzey alanı (A) kullanılarak yüzeyden buharlaşan benzen ve tolüen miktarları (kg/s) hesaplanmıştır. Sisteme verilen

hava debisi ve gaz üretim sisteminin debi değerleri dikkate alınarak sisteme verilen gaz haldeki benzen ve tolüen miktarları mg/dk olarak hesaplanmıştır. Bulunan değerler çözücü içine çekilen 10L 'lık hacim de dikkate alınarak mg/L cinsinden hesaplanmıştır. Hesaplamalar ortam sıcaklığını ve sıvı-gaz arayüz sıcaklığını eşit kabul edilerek yapılmıştır. Ortam sıcaklığı 20 °C ve 25 °C için 2 adet hesaplama yapılmış ve sonuçları Çizelge 3.4' de paylaşılmıştır. Deneyler süresince ortam sıcaklığı kaydedilmiştir. Alınan giriş örneklerinin sonuçları bu çizelgede gösterilen teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3. 4. 20 °C ve 25 °C sıcaklıklarda sistem içine verilen kirletici konsantrasyon hesabı sonuçları

	20 °C		25 °C	
	Benzen	Toluen	Benzen	Toluen
Re	1,0222408	0,1022241	0,9856877	0,0985688
v (m ² /s)	0,0000151	0,0000151	0,0000156	0,0000156
d _h (m)	0,0110000	0,0110000	0,0110000	0,0110000
D _{AB} (m ² /s)	0,0000090	0,0000080	0,0000093	0,0000093
u (m/s)	0,0013994	0,0001399	0,0013994	0,0001399
Q _{gaz} (L/dk)	0,0350000	0,0350000	0,0350000	0,0350000
Q _{hava} (L/dk)	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000
A (m ²)	9,49E-05	9,49E-05	9,49E-05	9,49E-05
S _c	1,6731266	1,8729029	1,6828183	1,8837822
S _h	0,1892774	0,0211878	0,1835665	0,0205488
k _c	1,55E-04	1,55E-05	1,55E-04	1,55E-05
p _{As} (atm)	0,0986842	0,0289474	0,1251316	0,0373684
p _{A∞} (atm)	0,0246711	0,0072368	0,0312829	0,0093421
c _{As} (kmol/m ³)	0,0044056	0,0012923	0,0051177	0,0015283
c _{A∞} (kmol/m ³)	1,10E-03	3,23E-04	1,28E-03	3,82E-04
N _A (kmol/m ² s)	5,12E-07	1,50E-08	5,94E-07	1,78E-08
Sıvı yüzeyinden buharlaşan kirletici miktarı (kg/s)	3,80E-09	1,31E-10	4,41E-09	1,55E-10
Sistem içine giren miktar (mg/dk)	7,70E-03	3,50E-02	8,95E-03	3,15E-04
Sorbent tüpüne çekilen miktar (mg)	0,128382	0,004442	0,149132	0,005254
Çözücü içi kons. (mg/L)	128,382477	4,442309	149,132197	5,253525

3.4.2. Numune Alma

Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde örnekler UGI G4 MK2S Kuru Gaz Ölçer ile alınmıştır. Örnekler Hygitest marka aktif karbon sorbent tüpü (Coconut Charcoal) ile alınmıştır. Tüplerin görünümü Şekil 3.15' de verilmiştir. Tüplerin



Şekil 3. 16. Analizler sırasında kullanılan cihazın görünümü (AntTeknik, 2021)

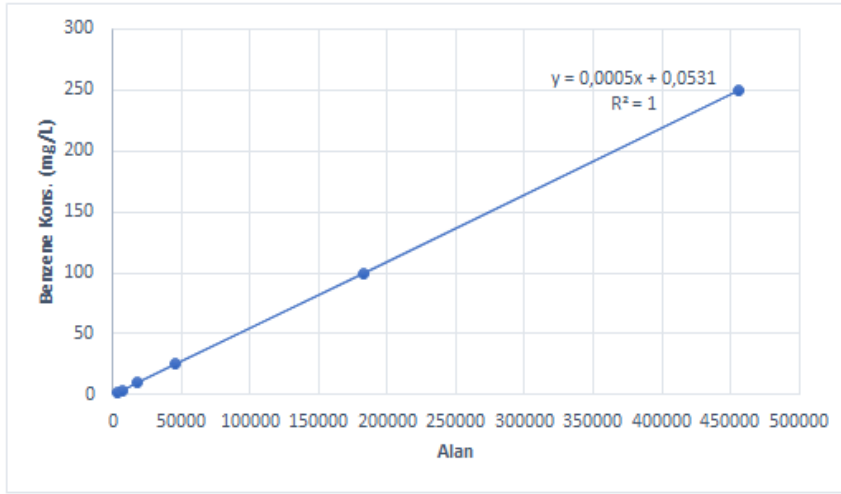
3.5.1. Ekstraksiyon

Numuneler solvent ekstraksiyonu ile ekstrakte edilmiştir. Bu amaçla kullanılan yöntemin detayları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

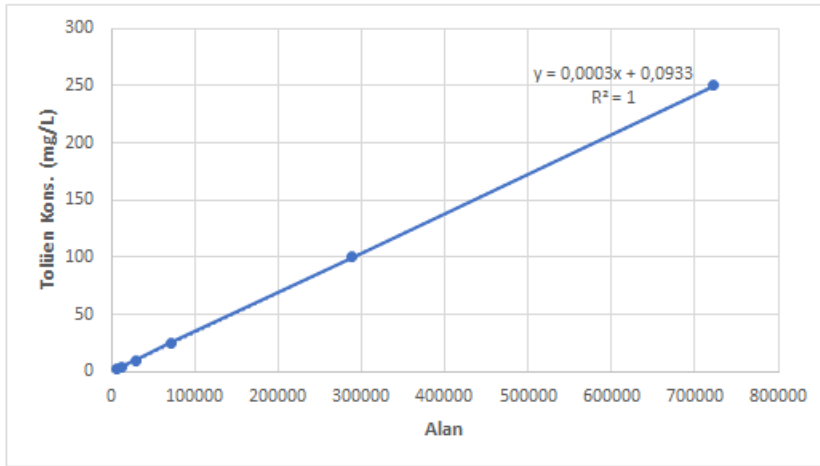
- Sorbent tüpleri kırılarak 100 mg'lık kısım uygun bir kaba alındı.
- Her 100 mg için 1 mL CS₂ çözücü olarak kapların üzerine eklendi.
- Kapakları kapatıldıktan sonra kaplar santrifüj cihazına yerleştirildi.
- Kaplar Sigma 1-6 P santrifüj cihazı ile 3000 rpm hızda 10 dk santrifüjlendi.
- İşlem sonunda sıvı kısımları 1,5 ml'lik cam kapaklı tüplere alınarak analize gönderildi.

3.5.2. Cihaz Kalibrasyonu

En son cihaz kalibrasyonu 04.02.2021 tarihinde yapılmıştır. Benzen ve Tolüen için oluşturulan kalibrasyon grafikleri Şekil 3.17 ve 3.18' de verilmiştir. Kirleticilerin kalibrasyonları için SPEX CertiPrep uçucu organik bileşimler karışımı (5242-VCX) kullanılmıştır. Kullanılan standart karışımın konsantrasyonu 2000 µg/mL (2000 ppm), ve metanol içerisinde 1mL olarak temin edilmiştir. Bu karışımdan Şekil 3.17 ve 3.18'de gösterilen konsantrasyonlarda seyreltmeler hazırlanarak cihaz her bir bileşik için kalibre edilmiştir.



Şekil 3. 17. Benzen kalibrasyon grafiği



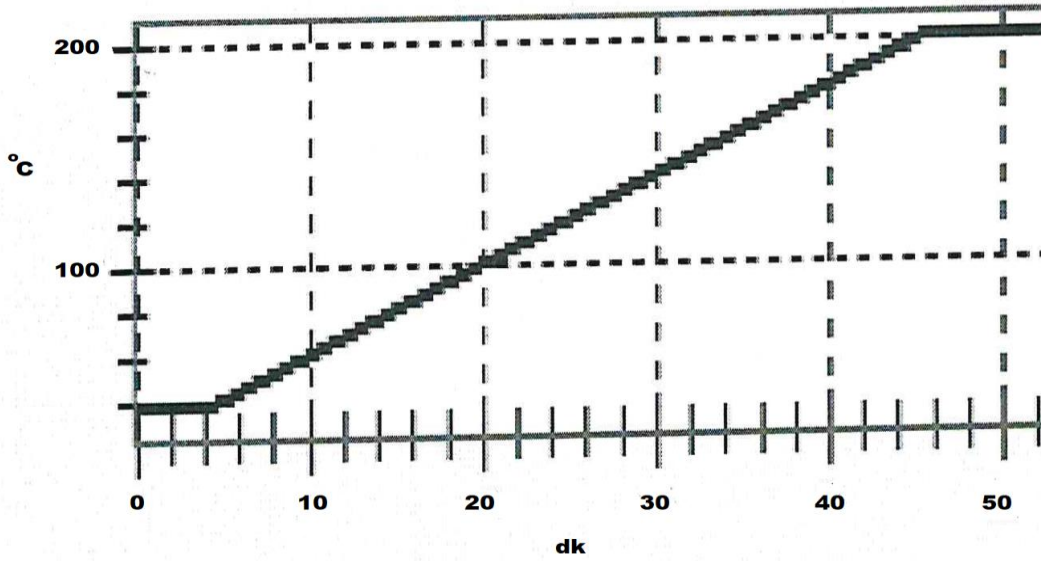
Şekil 3. 18. Tolüen kalibrasyon grafiği

3.5.3. Ölçüm Yöntemi

Deneyler sırasında kullanılan RTX-624 kolonunun özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Maksimum kolon sıcaklığı: 240 °C
- Kolon uzunluğu: 60 m
- İç çapı: 0,025 mm
- Et kalınlığı: 1,40 µm

Ölçümlerde Kolon fırın sıcaklığı değişimi Şekil 3.19’da verilen grafiğe göre ayarlanmıştır. Ayarlanan programda toplam süre 52,25 dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 19. Zamana göre kolon sıcaklığı artış grafiği

Ölçümler için kullanılan otomatik enjeksiyon ünitesinin ayarları aşağıda sıralanmıştır.

- Enjeksiyon sayısı: 1
- Örnek miktarı (μL): 1
- Ön çözücü yıkaması: 3
- Çözücü yıkaması: 6
- Pompalama: 5
- Viskozite: 0,2
- Bekleme süresi (s): 1
- Enjeksiyon hızı: HIZLI

Cihazın enjeksiyon hattının ayarları aşağıda verilmiştir.

- Giriş basıncı (kPa): 200
- Kolon debisi (mL/dk): 1,75
- Lineer hız (cm/sn): 29,2
- Split oranı: 10
- Toplam debi (mL/dk): 22,3
- Split durumu: SPLIT
- Kontrol durumu: BASINÇ
- Taşıyıcı gaz türü: He
- Ana basınç (kPa): 550

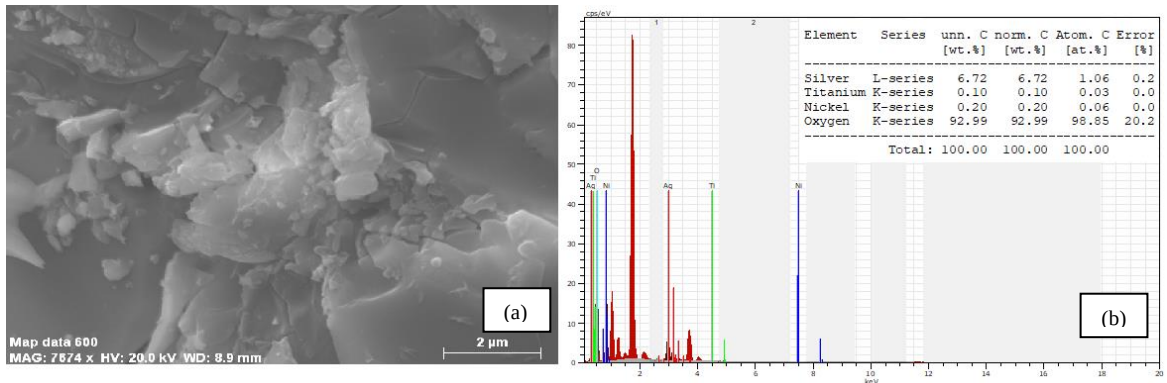
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Fotokatalizör Karakterizasyonu ve Kaplama Özellikleri

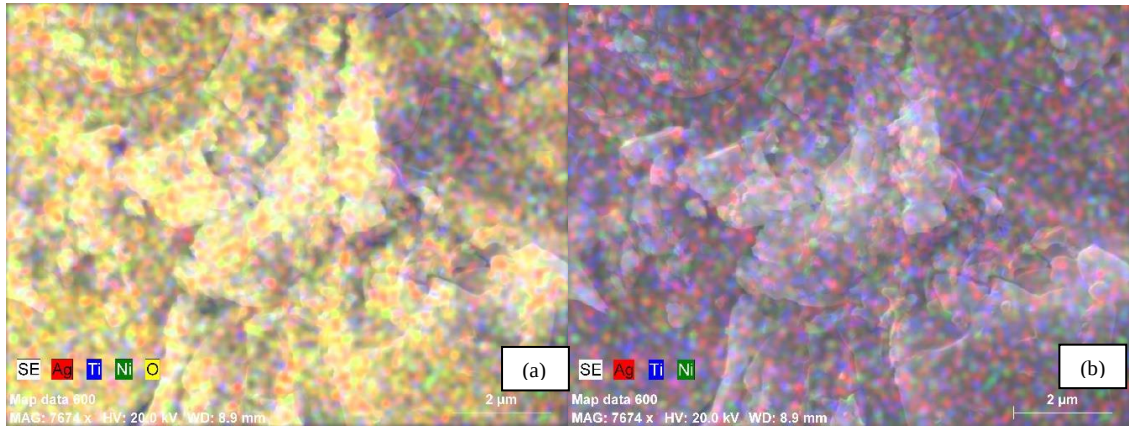
4 farklı yüzdede doplama yapılarak reaktör boyutlarına göre hazırlanan fotokatalizörlerin malzeme özellikleri Selçuk Üniversitesi İLTEK’ de yaptırılan XRD ve SEM-EDX analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir. Üretilen malzemelerin kaplama özellikleri ise ODTÜ Fizik bölümünde bulunan AFM ile belirlenmiştir.

4.1.1. SEM-EDX Analiz Sonuçları

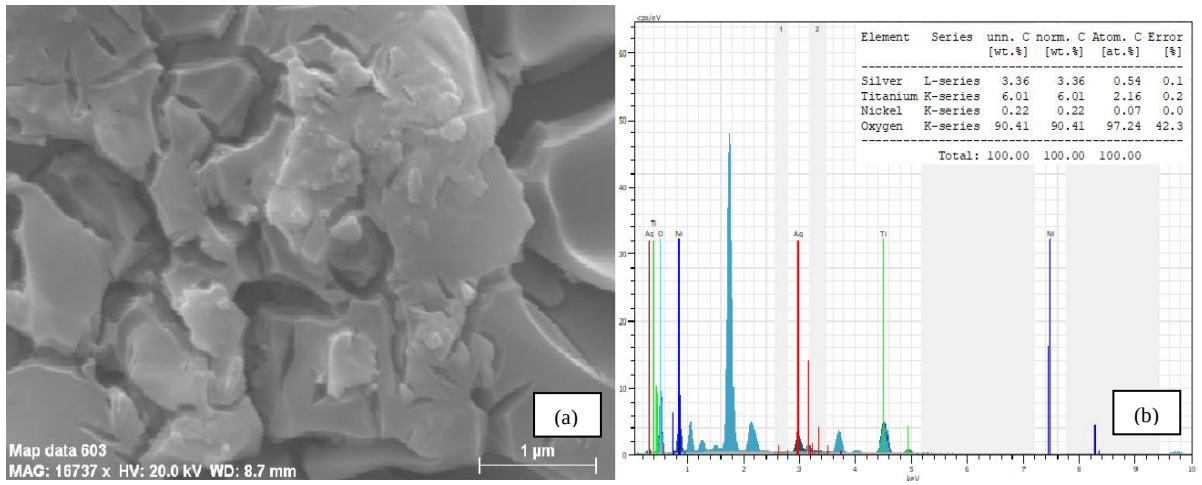
Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ‘de elde edilen fotokatalizör malzemelerin SEM-EDX analiz sonuçları farklı yüzdelerde Ag ve Ni doplaması yapılan malzemeler için ayrı ayrı verilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre doplama yüzdesindeki değişimin yüzeydeki malzeme dağılımına etkisi olduğu görülmektedir. Özellikle malzeme yüzeylerinde tespit edilen element yüzde değişimleri, noktasal olarak bakıldığı için değişiklik göstermektedir. Doplama yüzdesindeki artış yüzey üzerine doplanan Ag ve Ni miktarını pozitif olarak etkilemiştir. Yüzey yapısının amorf olması nedeniyle SEM görüntülemesinde maksimum yüzey görüntülenmesi 2-3 mikrometre yaklaşma ile sağlanmıştır. Yüzeydeki nano parçacık dağılımı EDX haritalandırması ile gözlemlenmiştir. Bu haritalandırma doplama yüzdesindeki artışın yüzeyde topaklanmalara sebebiyet verdiğini göstermektedir.



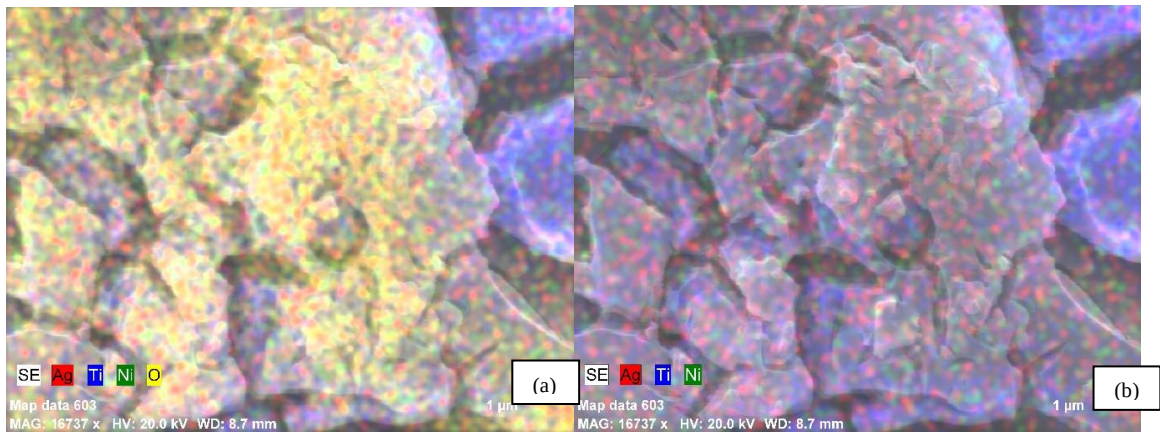
Şekil 4. 1. %0.5 doplama yapılan malzeme (Fotokatalizör 1) (a) SEM görüntüsü ve (b) EDX grafiği



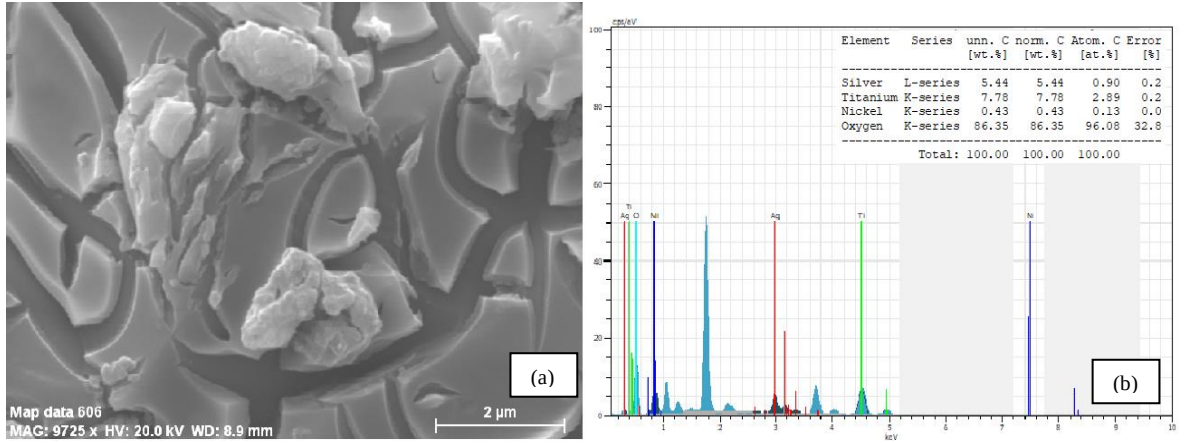
Şekil 4. 2. %0.5 doplama yapılan malzemenin EDX haritalandırma grafikleri (a) Yüzey üzerinde Ag, Ni, Ti ve O element dağılımı, (b) Yüzey üzerinde Ag, Ni ve Ti element dağılımı



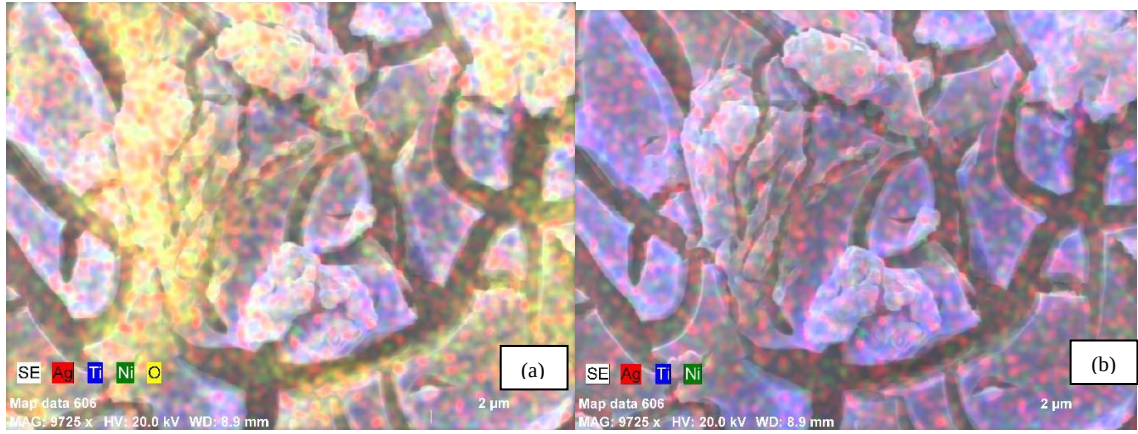
Şekil 4. 3. %1 doplama yapılan malzeme (Fotokatalizör 2) (a) SEM görüntüsü ve (b) EDX grafiği



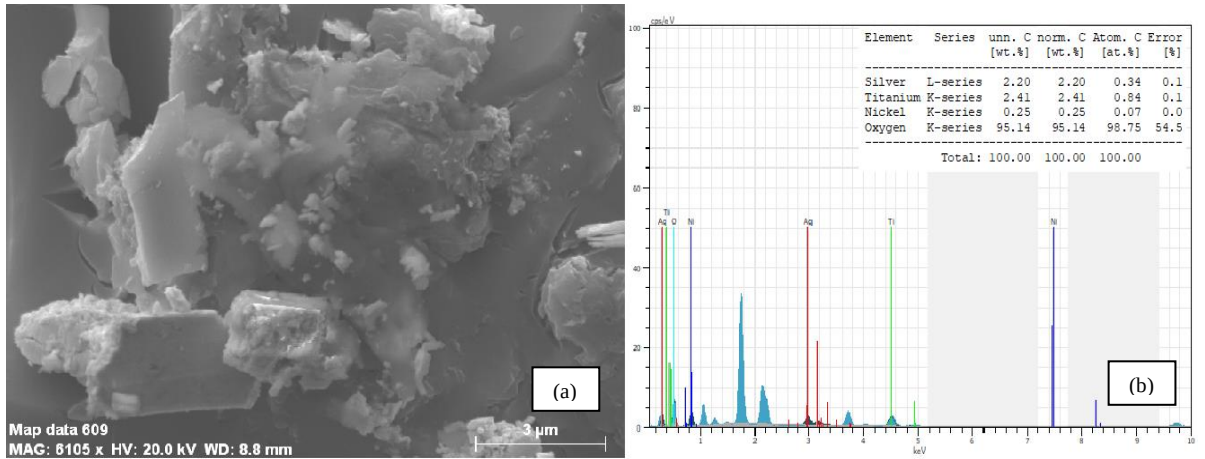
Şekil 4. 4. %1 doplama yapılan malzemenin EDX haritalandırma grafikleri (a) Yüzey üzerinde Ag, Ni, Ti ve O element dağılımı, (b) Yüzey üzerinde Ag, Ni ve Ti element dağılımı



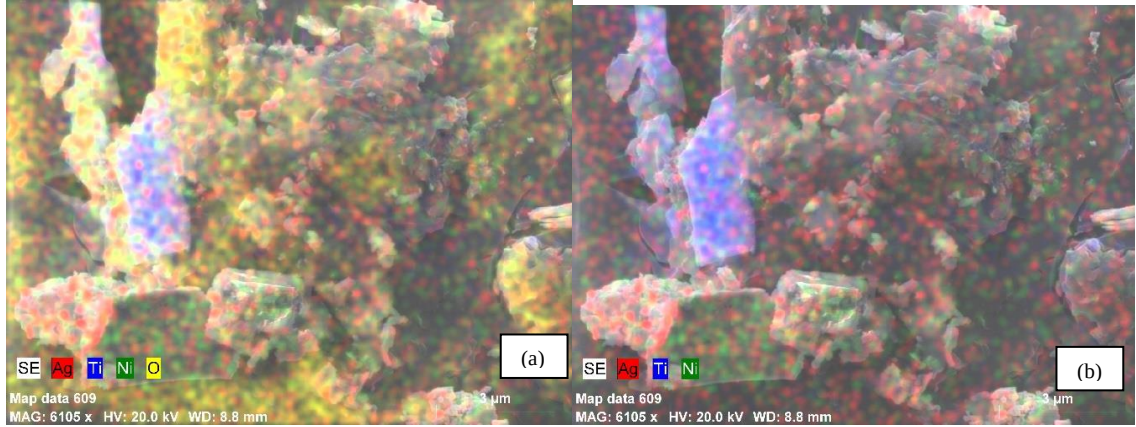
Şekil 4. 5. %2.5 doplama yapılan malzeme (Fotokatalizör 3) (a) SEM görüntüsü ve (b) EDX grafiği



Şekil 4. 6. %2.5 doplama yapılan malzemenin EDX haritalandırma grafikleri (a) Yüzey üzerinde Ag, Ni, Ti ve O element dağılımı, (b) Yüzey üzerinde Ag, Ni ve Ti element dağılımı



Şekil 4. 7. %5 doplama yapılan malzeme (Fotokatalizör 4) (a) SEM görüntüsü ve (b) EDX grafiği



Şekil 4. 8. %5 doplama yapılan malzemenin EDX haritalandırma grafikleri (a) Yüzey üzerinde Ag, Ni, Ti ve O element dağılımı, (b) Yüzey üzerinde Ag, Ni ve Ti element dağılımı

4.1.2. XRD Analiz Sonuçları

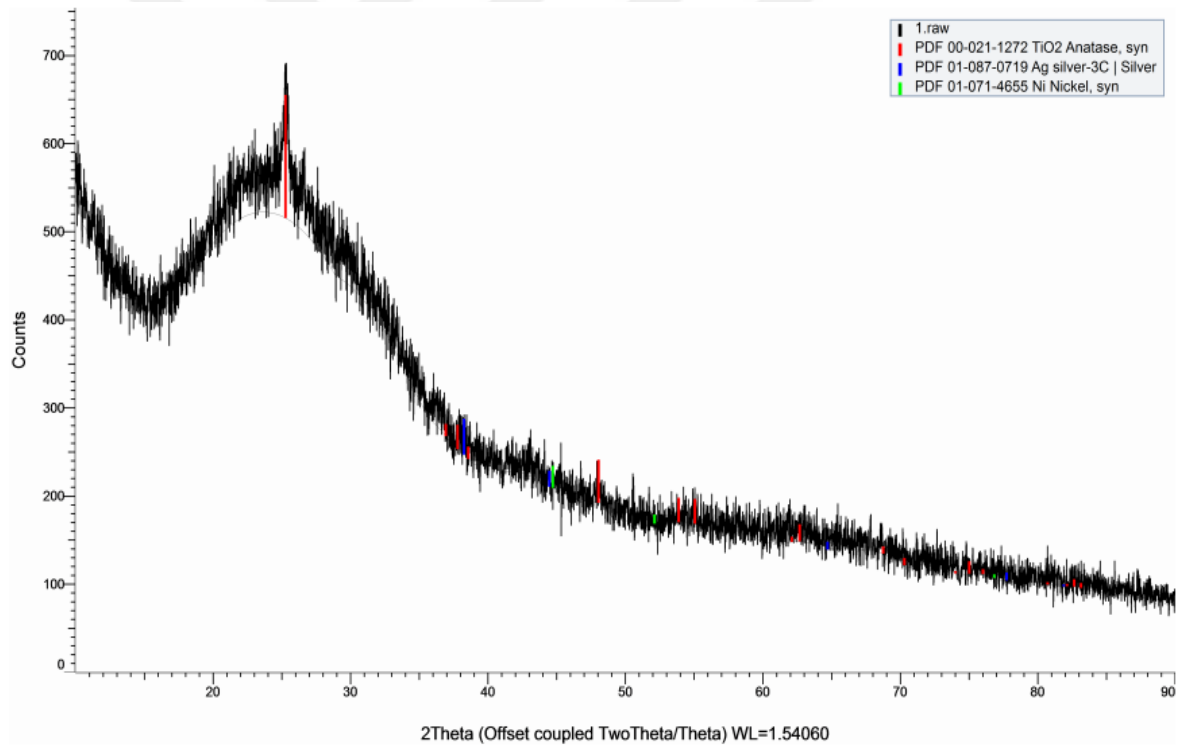
Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12’de ve Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4’ de ise elde edilen malzemelerin XRD kırınım grafikleri ve desen listesi gösterilmektedir. XRD analiz sonuçları yüzeyde anataz formunda TiO_2 ve kübik yapıda Ag ve Ni parçacıklarının olduğunu göstermektedir. Doplama yüzdesindeki artışın malzeme yüzeyindeki TiO_2 oranını azalttığı XRD desen listelerinde görülmektedir. Yüzeydeki nano parçacık boyutlarının TiO_2 için 13,6 nm, Ag için 6,7 nm ve Ni için 4,3 nm olduğu XRD analizleri sonucunda belirlenmiştir. Bununla birlikte maddelerin yüzey üzerinde tutunma yüzdeleri incelendiğinde fotokatalizör 1 için %79,43 TiO_2 , %23,15 Ag ve %14,17 Ni tespit edilmiştir. Bu oran fotokatalizör 2 için %77,85 TiO_2 , %21,45 Ag ve %11,43 Ni, fotokatalizör 3 için %68,35 TiO_2 , %6,86 Ag ve %21,69 Ni ve fotokatalizör 4 için %56,20 TiO_2 , %2,60 Ag ve %23,74 Ni olarak belirlenmiştir. Bu yüzey dağılımı incelendiğinde fotokatalizör 4’de yüzeydeki TiO_2 oranının azaldığı Ni oranının ise Ag oranını baskıladığı görülmektedir. Fotokatalizör 4’de Ag elementinin etkisinin azalacağı varsayılabilir. Bu sonuç fotokatalizörlerde kullanılan doplama yüzdesindeki artışın, yüzeydeki madde miktarı ile birlikte doplama verimini azalttığını ortaya koymuştur.

Çizelge 4. 1. %0,5 doplama yapılan malzemenin XRD analizi desen listesi

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	Compound Name
Yes			1	PDF 00-021-1272	Pattern List #1	1.raw #1	PDF 00-021-1272	Anatase, syn
Yes			2	PDF 01-087-0719	Pattern List #1	1.raw #1	PDF 01-087-0719	silver-3C Silver
Yes			3	PDF 01-071-4655	Pattern List #1	1.raw #1	PDF 01-071-4655	Nickel, syn

Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	Concentration Level	Added Reference
TiO ₂	Star (*)	79.43 %	3.300	0.000	88.1 %	Major	
Ag	Indexed	23.15 %	17.190	0.000	4.9 %	Minor	
Ni	Indexed	14.17 %	7.410	0.000	7.0 %	Major	

DB Compound Name	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b	c
Anatase, syn	1.0000	Yes	1.54060 Å	Tetragonal	I41/amd (141)	3.785 20 Å		9.513 90 Å
silver-3C Silver	1.0000	Yes	1.54060 Å	Cubic	Fm-3m (225)	4.071 00 Å		
Nickel, syn	1.0000	Yes	1.54060 Å	Cubic	Fm-3m (225)	3.506 00 Å		



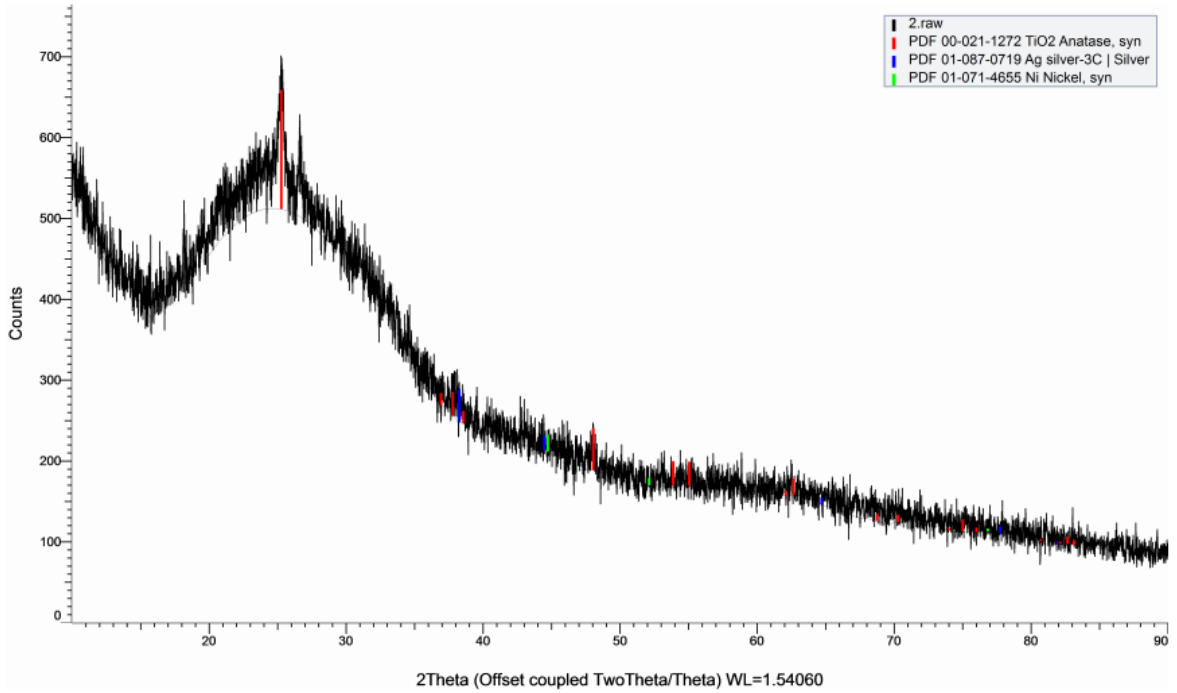
Şekil 4. 9. %0,5 doplama yapılan malzemenin XRD kırınım grafiği

Çizelge 4. 2. %1 doplama yapılan malzemenin XRD analizi desen listesi

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	Compound Name
Yes			1	PDF 00-021-1272	Pattern List #1	2.raw #1	PDF 00-021-1272	Anatase, syn
Yes			2	PDF 01-087-0719	Pattern List #1	2.raw #1	PDF 01-087-0719	silver-3C Silver
Yes			3	PDF 01-071-4655	Pattern List #1	2.raw #1	PDF 01-071-4655	Nickel, syn

Formula	Quality	Y-Scale	I/c DB	I/c User	S-Q	Concentration Level	Added Reference
TiO ₂	Star (*)	77.85 %	3.300	0.000	89.4 %	Major	
Ag	Indexed	21.43 %	17.190	0.000	4.7 %	Minor	
Ni	Indexed	11.43 %	7.410	0.000	5.8 %	Major	

DB Compound Name	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b	c
Anatase, syn	1.0000	Yes	1.54060 Å	Tetragonal	I41/amd (141)	3.785 20 Å		9.513 90 Å
silver-3C Silver	1.0000	Yes	1.54060 Å	Cubic	Fm-3m (225)	4.071 00 Å		
Nickel, syn	1.0000	Yes	1.54060 Å	Cubic	Fm-3m (225)	3.506 00 Å		



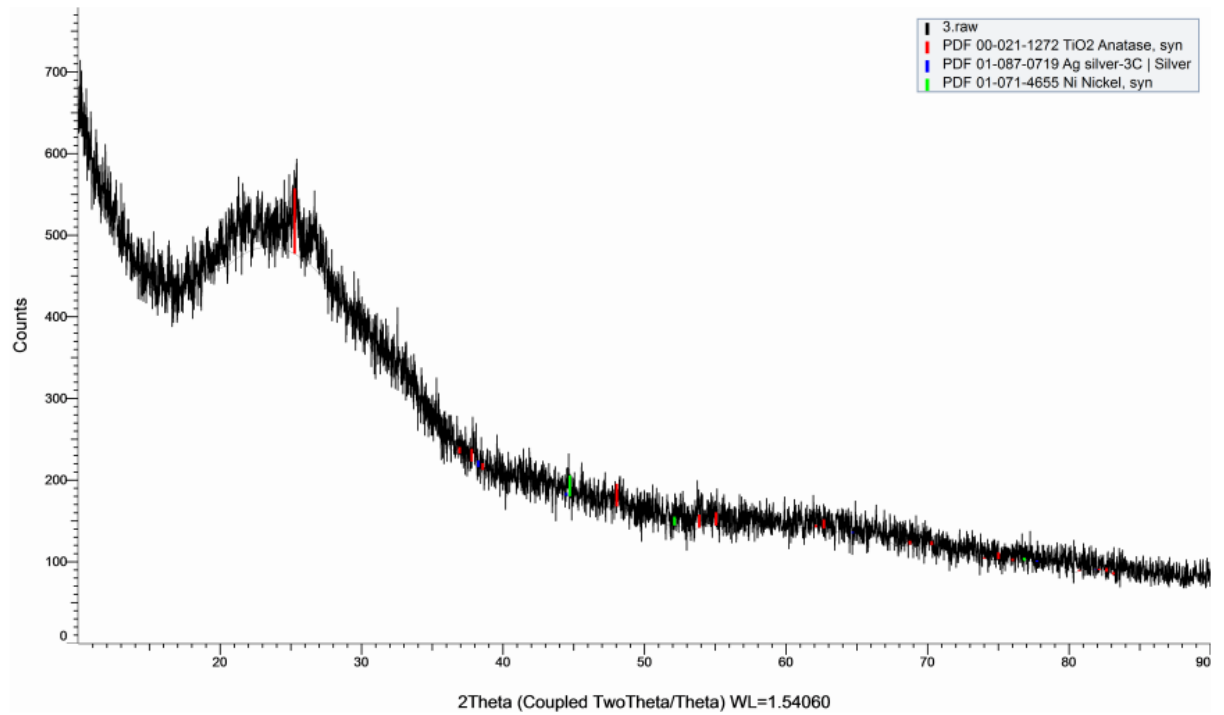
Şekil 4. 10. %1 doplama yapılan malzemenin XRD kırınım grafiği

Çizelge 4. 3. %2,5 doplama yapılan malzemenin XRD analizi desen listesi

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	Compound Name
Yes			1	PDF 00-021-1272	Pattern List #1	3.raw #1	PDF 00-021-1272	Anatase, syn
Yes			2	PDF 01-087-0719	Pattern List #1	3.raw #1	PDF 01-087-0719	silver-3C Silver
Yes			3	PDF 01-071-4655	Pattern List #1	3.raw #1	PDF 01-071-4655	Nickel, syn

Formula	Quality	Y-Scale	I/c DB	I/c User	S-Q	Concentration Level	Added Reference
TiO ₂	Star (*)	68.35 %	3.300	0.000	86.2 %	Major	
Ag	Indexed	6.86 %	17.190	0.000	1.7 %	Minor	
Ni	Indexed	21.69 %	7.410	0.000	12.2 %	Major	

DB Compound Name	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b	c
Anatase, syn	1.0000	Yes	1.54060 Å	Tetragonal	I41/amd (141)	3.785 20 Å		9.513 90 Å
silver-3C Silver	1.0000	Yes	1.54060 Å	Cubic	Fm-3m (225)	4.071 00 Å		
Nickel, syn	1.0000	Yes	1.54060 Å	Cubic	Fm-3m (225)	3.506 00 Å		



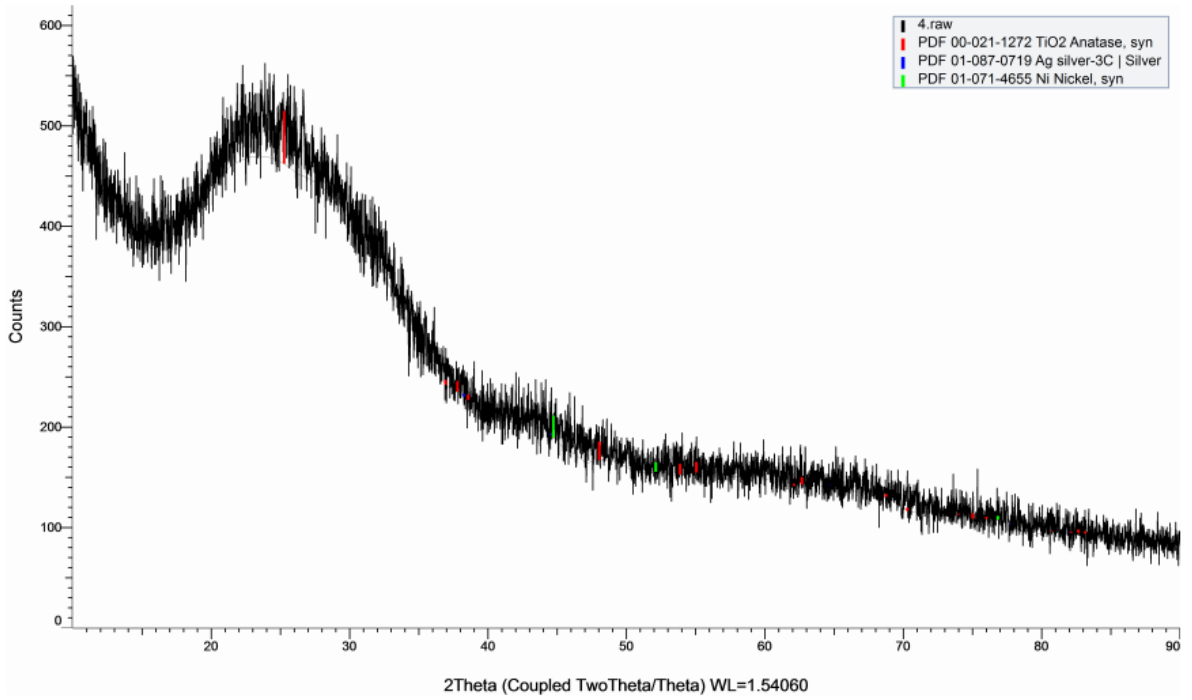
Şekil 4. 11. %2,5 doplama yapılan malzemenin XRD kırınım grafiği

Çizelge 4. 4. %5 doplama yapılan malzemenin XRD analizi desen listesi

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	Compound Name
Yes			1	PDF 00-021-1272	Pattern List #1	4.raw #1	PDF 00-021-1272	Anatase, syn
Yes			2	PDF 01-087-0719	Pattern List #1	4.raw #1	PDF 01-087-0719	silver-3C Silver
Yes			3	PDF 01-071-4655	Pattern List #1	4.raw #1	PDF 01-071-4655	Nickel, syn

Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	Concentration Level	Added Reference
TiO ₂	Star (*)	56.20 %	3.300	0.000	83.5 %	Major	
Ag	Indexed	2.60 %	17.190	0.000	0.7 %	Trace	
Ni	Indexed	23.74 %	7.410	0.000	15.7 %	Major	

DB Compound Name	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b	c
Anatase, syn	1.0000	Yes	1.54060 Å	Tetragonal	I41/amd (141)	3.785 20 Å		9.513 90 Å
silver-3C Silver	1.0000	Yes	1.54060 Å	Cubic	Fm-3m (225)	4.071 00 Å		
Nickel, syn	1.0000	Yes	1.54060 Å	Cubic	Fm-3m (225)	3.506 00 Å		



Şekil 4. 12. %5 doplama yapılan malzemenin XRD kırınım grafiği

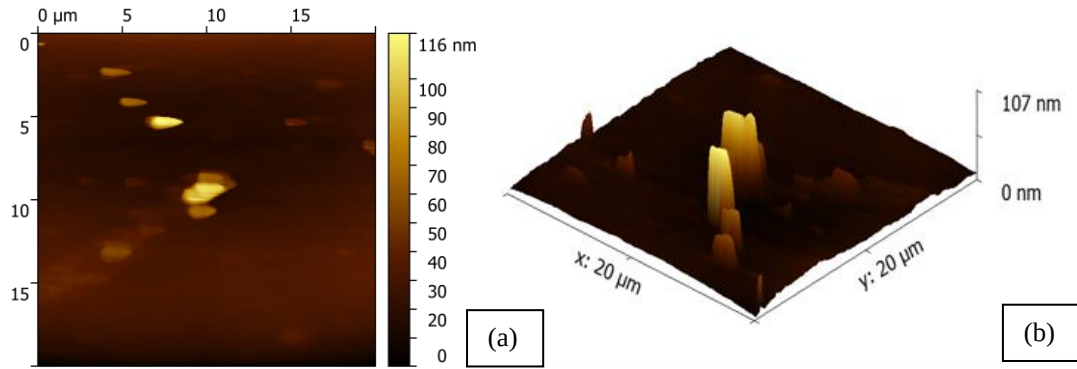
4.1.2. Kaplama Özellikleri

Üretilen malzemelerin kaplama özellikleri gösteren 2 ve 3 boyutlu AFM görüntüleri Şekil 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16 'da gösterilmektedir. Noktasal olarak yapılan çekimlerde %0,5 doplama yapılan malzemenin yüzeyinin 116 nm ile en düşük pik noktasına sahip olduğu görülmüştür. %1 doplama yapılan malzemenin yüzeyinde ise kanallar olduğu görülmüş ve 1000 nm ile en yüksek pik noktası bu kaplamada tespit edilmiştir. %2,5 ve %5 lik doplama yüzdesine sahip kaplamalar için bu değer 261 ve

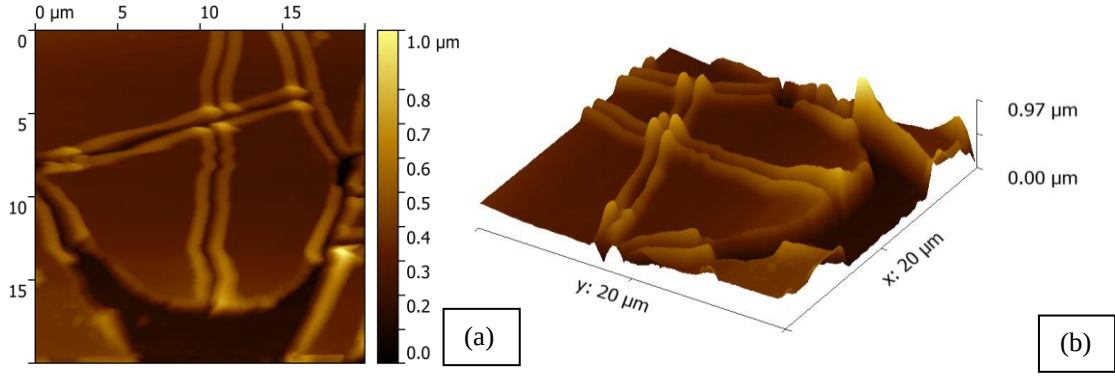
743 nm olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar yapılan kaplamaların tüm yüzeyde sabit dağılmadığını kaplama sırasındaki titreşimlerin noktasal olarak kaplamayı etkilediğini göstermektedir. Denklem 2.1'e göre yapılan hesaplama ile belirlenen ince film kalınlığı değerleri ise Çizelge 4.5' de verilmiştir. Bu değerler teorik hesaba dayanmaktadır ve yüzeyin kaplama kalınlığının bu değerlere yakın olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4. 5. Malzeme yüzeylerinin ince film kalınlığı ve hesaplamada kullanılan parametreler

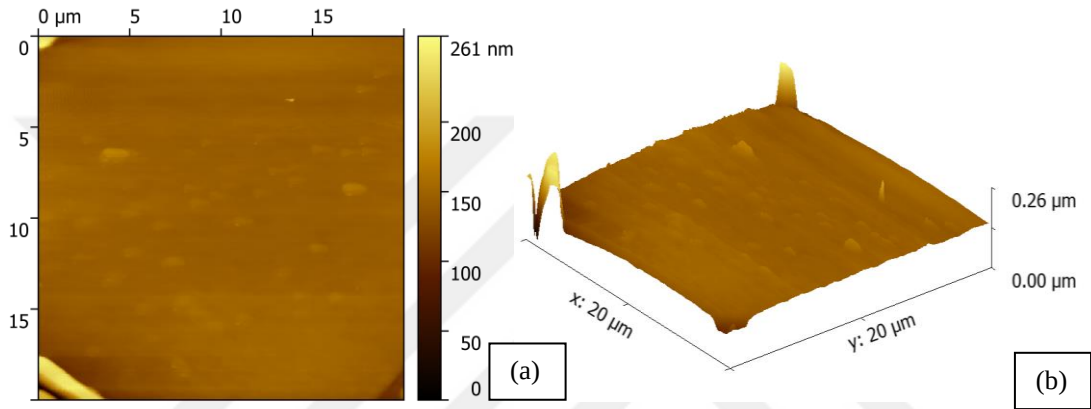
Numune Özelliği	Parametreler	Değerler	İnce Film Kalınlığı (μm)
% 0.5 Ag-Ni eklenmiş sol ile yapılan kaplama	Viskosite (mPa.s)	1.5	5.9
	Yüzey Gerilimi (dyn/cm)	23.77	
	Yoğunluk (g/cm^3)	0.86	
	Daldırma Hızı (mm/s)	2	
% 1 Ag-Ni eklenmiş sol ile yapılan kaplama	Viskosite (mPa.s)	1.7	6.4
	Yüzey Gerilimi (dyn/cm)	21.606	
	Yoğunluk (g/cm^3)	0.87	
	Daldırma Hızı (mm/s)	2	
% 2.5 Ag-Ni eklenmiş sol ile yapılan kaplama	Viskosite (mPa.s)	2	7.1
	Yüzey Gerilimi (dyn/cm)	22.99	
	Yoğunluk (g/cm^3)	0.865	
	Daldırma Hızı (mm/s)	2	
% 5 Ag-Ni eklenmiş sol ile yapılan kaplama	Viskosite (mPa.s)	1.4	5.7
	Yüzey Gerilimi (dyn/cm)	21.57	
	Yoğunluk (g/cm^3)	0.867	
	Daldırma Hızı (mm/s)	2	



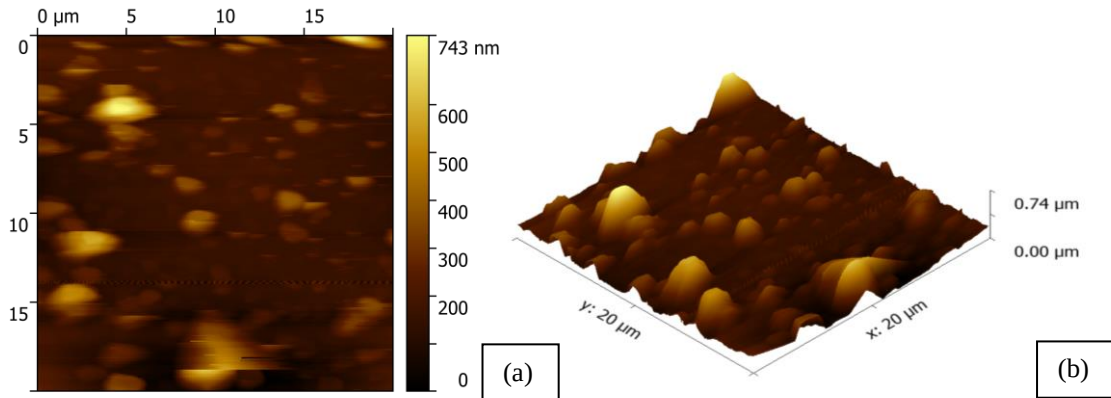
Şekil 4. 13. %0,5 doplama yapılan malzemenin (a) 2 boyutlu AFM görüntüsü (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü



Şekil 4. 14. %1 doplama yapılan malzemenin (a) 2 boyutlu AFM görüntüsü (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü



Şekil 4. 15. %2,5 doplama yapılan malzemenin (a) 2 boyutlu AFM görüntüsü (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü



Şekil 4. 16. %5 doplama yapılan malzemenin (a) 2 boyutlu AFM görüntüsü (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

AFM kullanılarak yapılan pürüzlülük ölçümlerinde ise %0,5 doplama yapılan malzeme için ortalama pürüzlülük değeri 4,3722, %1 doplama yapılan malzeme için 5,7192, %2,5 doplama yapılan malzeme için 32,194 ve %5 doplama yapılan malzeme için 133,653 çıkmıştır. Bu değerler doplama yüzdesindeki artışın yüzey pürüzlüğünü artırdığını göstermiştir.

4.2. Deney Sonuçları ve Deneysel Parametrelerin Etkileri

Deneyler süresince alınan giriş örneklerinin sonuçları ve örnekler alınırken kaydedilen ortam sıcaklıkları Çizelge 4.6 'da verilmiştir. Çizelge 4.6' da verilen sonuçların kromotogram çıktıları EK-1'de verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Giriş örneklerinin sonuçları

Örnek No.	Ortam Sıcaklığı (°C)	Konsantrasyon (mg/L)	
		Benzen	Tolüen
G1	21,4	118,395	2,404
G2	25,8	152,367	5,339
G3	23,3	127,845	2,747
G4	25,3	145,293	5,389
G5	25,1	151,090	5,649
G6	24,6	134,992	5,240
Ortalama		138,33	4,46

Fotokatalitik oksidasyon deneylerine başlanmadan önce reaktör içindeki kirletici gaz fotokatalizör yüzeyi dengesinin sağlanması amacıyla karanlık ortamda deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde amaç fotokatalizör yüzeyinin satürasyonu için gerekli sürenin belirlenmesidir. Belirlenen süre sonunda sisteme verilen ve sistemden çıkan kirletici konsantrasyonun sabit hale gelmektedir. Bu amaçla yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 4.7'da verilmiştir. Çizelge 4.7' de verilen sonuçların kromotogram çıktıları EK-2'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre tüm fotokatalizörler için karanlık ortama kirleticiler verilmeye başlandıktan 45 dk sonra alınan örneklerin sonuçları sisteme verilen giriş konsantrasyonuna yakın çıkmıştır. Bu sonuçlar dikkate alınarak tüm deneylerde karanlık ortam bekleme süresi 45 dk olarak uygulanmıştır.

Çizelge 4. 7. Karanlık ortamda yapılan deneylerin sonuçları

Örnek No.	Katalizör	Örnek Alma Dakikası	Konsantrasyon (mg/L)	
			Benzen	Tolüen
K1	Fotokatalizör 1	10. dk	87,485	1,304
K2	Fotokatalizör 1	45. dk	154,451	4,906
K3	Fotokatalizör 2	45. dk	126,940	4,915
K4	Fotokatalizör 3	45. dk	133,497	4,453
K5	Fotokatalizör 4	45. dk	152,369	5,834

Çizelge 4.6 'da verilen giriş örnekleri ile metot bölümünde yapılan hesap sonucu elde edilen sonuçların (Çizelge 3.4) birbirine yakın olduğu görülmüştür. Çözücü ekstraksiyonu kaynaklı kayıplar da dikkate alındığında bu okumaların ortalamalarının alınması uygun bulunmuştur. Tez kapsamında yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar bu ortalama değerler üzerinden değerlendirilmiştir.

Yapılan deneylerde (Çizelge 3.3) alınan çıkış örneklerinin okunması sonucu elde edilen sonuçlar ve giderim verimleri Çizelge 4.8 'de verilmiştir. Çizelgede verilen sonuçların kromotogram çıktıları EK-3'te verilmiştir.

Çizelge 4. 8. Çıkış örneklerinin sonuçları

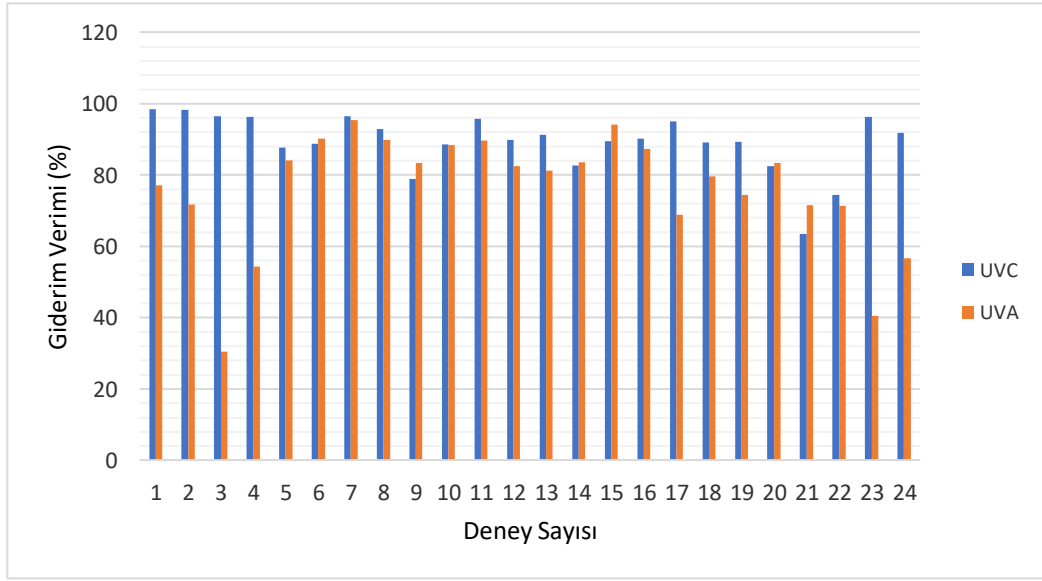
Deney No	Örnek No	Konsantrasyon (mg/L)		Giderim Verimi (%)	
		Benzen	Toluen	Benzen	Toluen
1	Ç1	2,067	0	98,51	100,00
2	Ç2	2,360	0	98,29	100,00
3	Ç3	4,927	0,517	96,44	88,41
4	Ç4	5,099	0	96,31	100,00
5	Ç5	17,031	2,155	87,69	51,68
6	Ç6	15,598	0	88,72	100,00
7	Ç7	31,767	0,187	77,04	95,81
8	Ç8	39,132	0,164	71,71	96,32
9	Ç9	96,071	0,157	30,55	96,48
10	Ç10	63,191	0,207	54,32	95,36
11	Ç11	21,894	0,458	84,17	89,73
12	Ç12	13,629	0,597	90,15	86,61
13	Ç13	4,782	0,182	96,54	95,92
14	Ç14	9,862	0,2	92,87	95,52
15	Ç15	29,280	0,302	78,83	93,23
16	Ç16	15,747	0,294	88,62	93,41
17	Ç17	5,889	0,301	95,74	93,25
18	Ç18	14,046	0,347	89,85	92,22
19	Ç19	6,376	0,43	95,39	90,36
20	Ç20	14,101	0,341	89,81	92,35
21	Ç21	23,031	0,289	83,35	93,52
22	Ç22	16,078	0,344	88,38	92,29
23	Ç23	14,338	0,457	89,63	89,75
24	Ç24	24,169	0,447	82,53	89,98
25	Ç25	12,076	0,391	91,27	91,23
26	Ç26	24,040	0,574	82,62	87,13
27	Ç27	14,445	0,714	89,56	83,99
28	Ç28	13,482	0,27	90,25	93,95
29	Ç29	6,919	0,349	95,00	92,17
30	Ç30	15,108	1,147	89,08	74,28
31	Ç31	25,968	0,647	81,23	85,49
32	Ç32	22,688	0,641	83,60	85,63
33	Ç33	8,128	0,279	94,12	93,74
34	Ç34	17,517	0,573	87,34	87,15
35	Ç35	42,952	0,331	68,95	92,58
36	Ç36	28,164	0,382	79,64	91,43

37	Ç37	14,794	0,287	89,31	93,57
38	Ç38	24,186	0,364	82,52	91,84
39	Ç39	50,434	0,514	63,54	88,48
40	Ç40	35,397	0,746	74,41	83,27
41	Ç41	5,104	0,601	96,31	86,52
42	Ç42	11,253	1,587	91,87	64,42
43	Ç43	35,482	0,142	74,35	96,82
44	Ç44	22,923	0,166	83,43	96,28
45	Ç45	39,463	0,246	71,47	94,48
46	Ç46	39,491	0,247	71,45	94,46
47	Ç47	82,329	0,396	40,48	91,12
48	Ç48	59,867	1,394	56,72	68,74

Bu çizelgede verilen tüm sonuçların ortalaması dikkate alındığında benzen için ortalama giderim verimi %82,79 bulunurken, tolüen için ortalama giderim verimi %90,02 olarak bulunmuştur. Tolüen kirleticisinin sistem içerisine daha düşük konsantrasyonda verildiği göz önünde bulundurulduğunda, giderimi daha kolay sağlanmıştır. Ancak tolüen 'in fotokatalitik oksidasyon sırasında yan ürün oluşturma ve fotokatalizörün yüzeyini kirletme ihtimali daha fazladır (Mo ve ark., 2009). Bu sebeple düşük tolüen konsantrasyonları tercih edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler vasıtasıyla deney şartlarında yapılan değişikliklerin giderim verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Sistemin performansı bu etkiler daha detaylı incelenerek yorumlanmıştır.

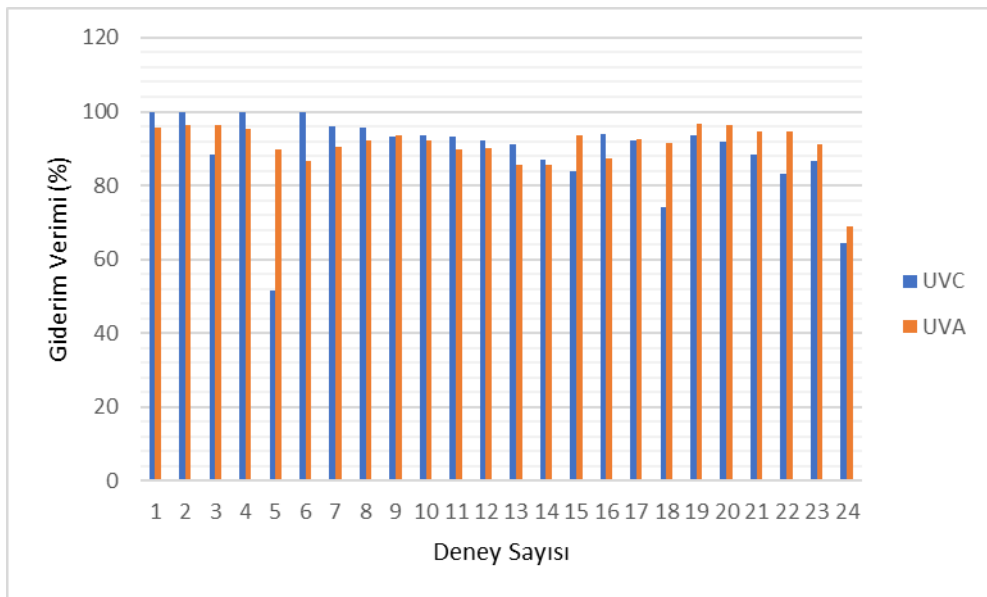
4.2.1. Işık Kaynağının Etkisi

Deneyler kapsamında UVC (254 nm) ve UVA (365nm) ışık kullanılmıştır. Şekil 4.17'de UVC ve UVA ışık kaynakları kullanılan deneylerde elde edilen benzen giderim verimleri bar grafiği üzerinde gösterilmiştir. Şekil 4.17 incelendiğinde benzen giderimi açısından UVC ışık kaynağının daha başarı sonuçlar verdiği görülmüştür. UVC kullanılarak yapılan deneylerde ortalama giderim verimi %89,33 bulunurken, UVA kullanılan deneylerde ortalama verim %76,24 bulunmuştur.



Şekil 4. 17. Benzen giderim verimine ışık kaynağının etkisi

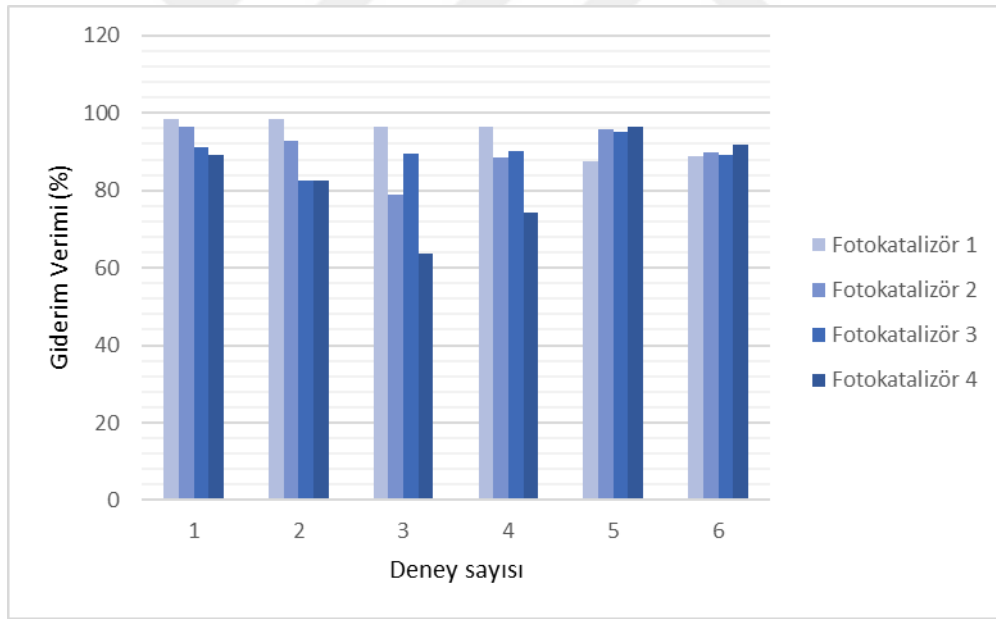
Şekil 4.18’de UVC ve UVA ışık kaynakları kullanılan deneylerde elde edilen tolüen giderim verimleri bar grafiği üzerinde gösterilmiştir. Tolüen gideriminde ise UVA ışık kaynağı kullanılarak yapılan denemelerin bazılarında daha başarılı sonuçlar alınmıştır. Elde edilen verimlerin ortalamaları kıyaslandığında UVA kullanılan deneylerde ortalama %91,10 verim elde edilmiş, UVC kullanılan deneylerde ise bu değer %88,93 olarak bulunmuştur. Çalışma kapsamında kullanılan iki ışık kaynağı da 380nm dalga boyundan küçük dalga boyuna sahiptir. Bu bağlamda TiO_2 fotokatalizörünün aktivasyonu için kullanımları uygundur (Mo ve ark., 2009).



Şekil 4. 18. Tolüen giderim verimine ışık kaynağının etkisi

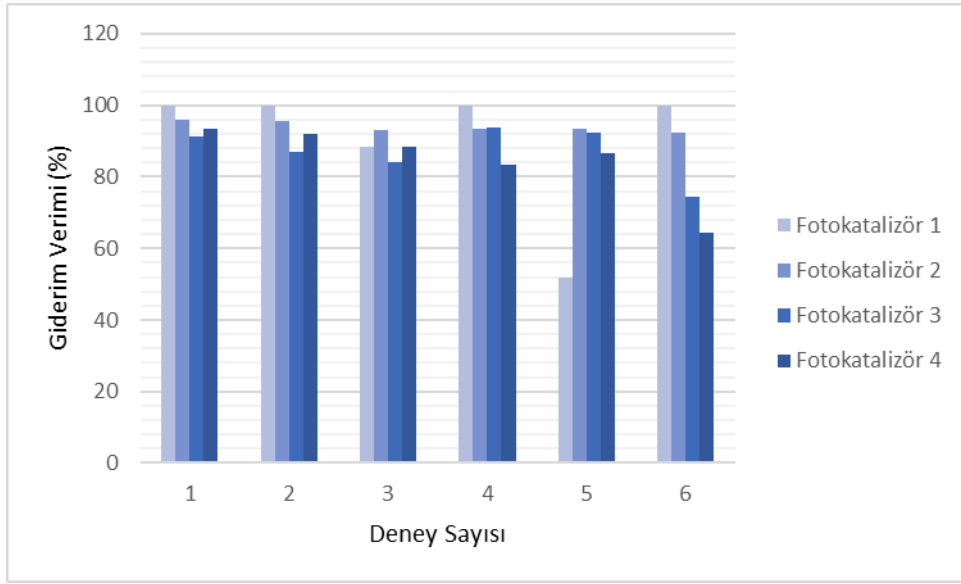
4.2.2. Doplama Yüzdesinin Etkisi

Tez çalışması kapsamında hazırlanan farklı Ag/Ni doplama yüzdelere sahip TiO_2 fotokatalizörleri (Fotokatalizör 1 = %0,5 doplama yapılan fotokatalizör, Fotokatalizör 2 = %1 doplama yapılan fotokatalizör, Fotokatalizör 3 = %2,5 doplama yapılan fotokatalizör, Fotokatalizör 4 = %5 doplama yapılan fotokatalizör) ile çalışılmıştır. Bu fotokatalizörlerin benzen ve tolüen giderim verimleri üzerindeki etkileri UVA ve UVC ışık kaynakları için ayrı ayrı incelenmiştir. Şekil 4.19’da UVC ışık kaynağı kullanılan deneylerde farklı doplama yüzdelere sahip fotokatalizörlerin benzen giderim verimine etkisi gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde fotokatalizör 1’in ortalama %94,32 ile diğer fotokatalizörlerden daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte fotokatalizör 4’ün ortalama giderim verimi %82,99 olarak bulunmuştur. Bu sonuç benzen kirleticisi açısından bakıldığında yüzeydeki Ag/Ni doplama yüzdesindeki artışın TiO_2 ‘nin özelliklerini azaltabileceğini göstermiştir.



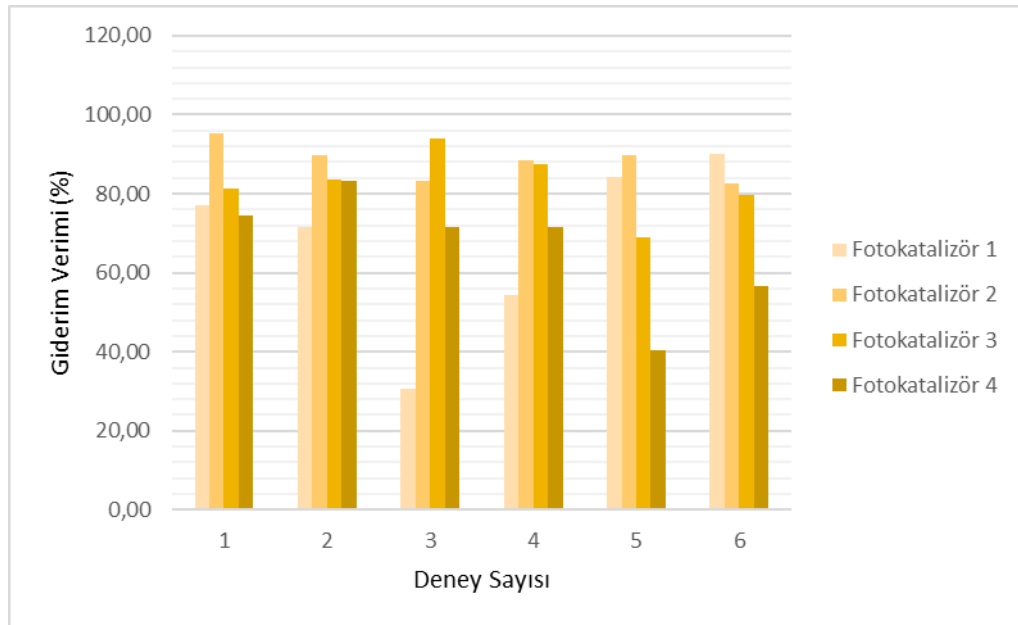
Şekil 4. 19. UVC kullanılan deneylerde doplama yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi

Şekil 4.20’da UVC ışık kaynağı kullanılan deneylerde farklı doplama yüzdelere sahip fotokatalizörlerin tolüen giderim verimine etkisi gösterilmektedir. Grafiğe göre UVC ışık altında en başarılı tolüen giderimi ortalama %93,92 verimle fotokatalizör 2 ile sağlanmıştır. En düşük verim ise %84,68 ile fotokatalizör 4 kullanılan deneylerde tespit edilmiştir.



Şekil 4. 20. UVC kullanılan deneylerde doplama yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi

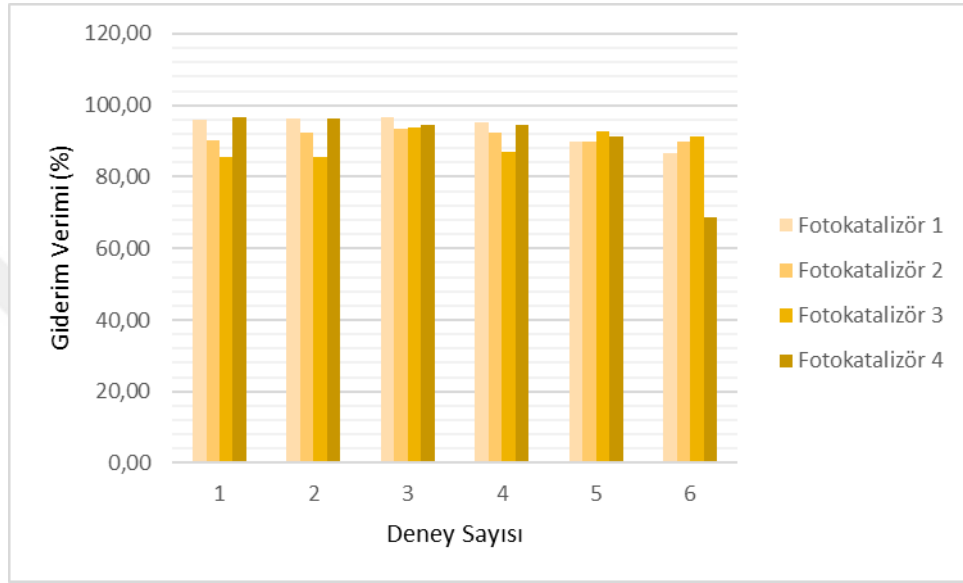
UVA ışık kaynağı kullanılan deneylerde doplama yüzdesinin benzen ve tolüen giderim verimine etkisi Şekil 4.21 ve 4.22 'de gösterilmektedir. Şekil 4.21 incelendiğinde UVA ışık altında fotokatalizör 2 kullanılan deneylerde %88,18 ile en yüksek ortalama benzen giderim verimi elde edilmiştir. En düşük ortalama verim ise %66,317 ile fotokatalizör 4 ile tespit edilmiştir.



Şekil 4. 21. UVA kullanılan deneylerde doplama yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi

Tolüen giderimi açısından Şekil 4.22 incelendiğinde UVA ışık altında ise ortalama %93,39 giderim verimi ile fotokatalizör 1 en başarılı sonuçları verirken,

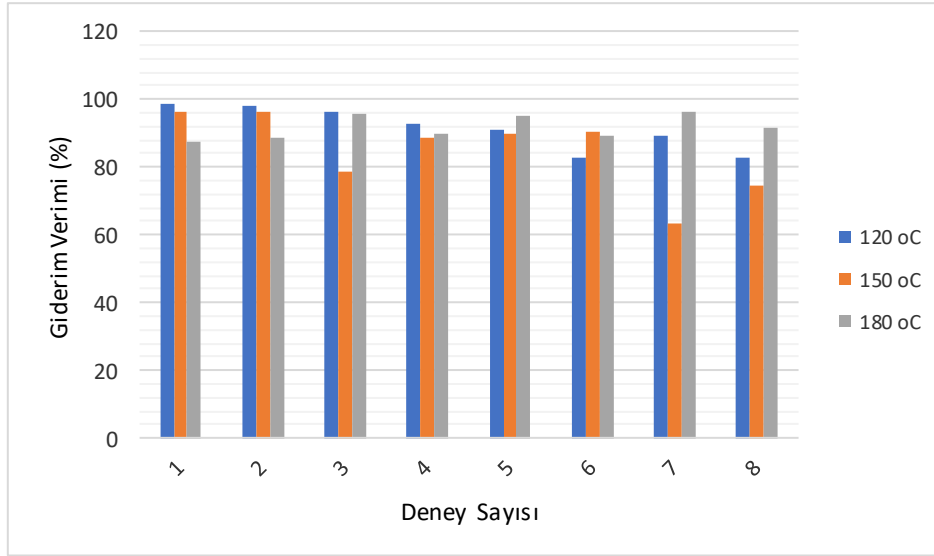
ortalama %89,33 verimle fotokatalizör 3 kullanılan deneylerde en düşük giderim verimi elde edilmiştir. Ancak fotokatalizör 4 ile elde edilen ortalama (%90,31) verime oldukça yakındır. Bu sebeple fotokatalizör 3 ve 4 kullanılarak elde edilen sonuçların diğer fotokatalizörlere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu fotokatalizörlerin TiO_2 oranlarının düşük olması ve Ni yüzdesinin Ag yüzdesine göre çok daha yüksek olması fotokatalitik oksidasyon verimini olumsuz etkilemiş olabilir.



Şekil 4. 22. UVA kullanılan deneylerde doplama yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi

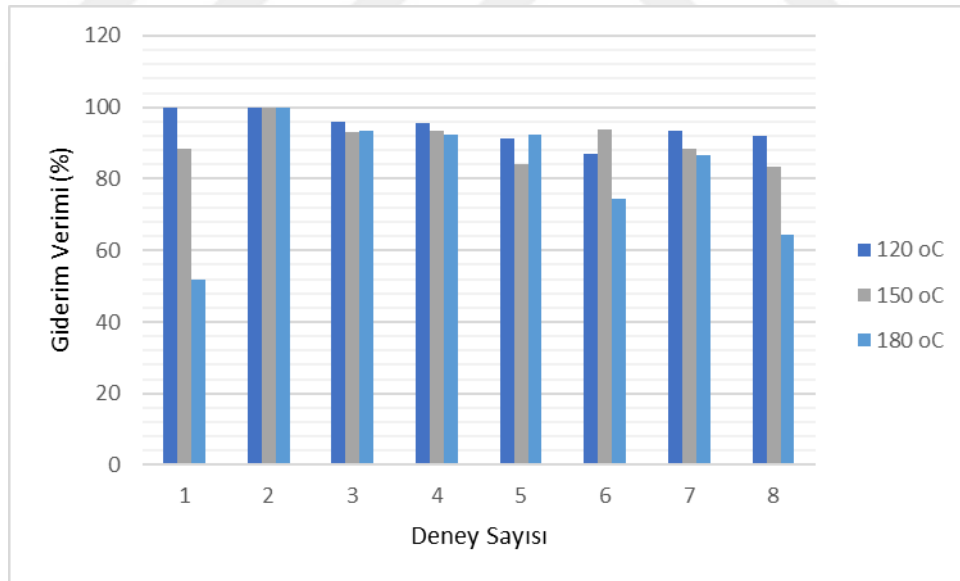
4.2.3. Sıcaklığın Etkisi

Çalışma kapsamında 120°C, 150°C ve 180°C olmak üzere üç farklı sıcaklık altında çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar UVC ve UVA ışık kaynakları için ayrı ayrı verilmiştir. UVC ışık kaynağı kullanılarak farklı sıcaklıklarda yapılan deneylerin benzen ve tolüen giderim verimine etkisi Şekil 4.23 ve 4.24 'de gösterilmektedir. Şekil 4.23 incelendiğinde 120 °C sıcaklıklarda yapılan deneylerde ortalama %91,5 benzen giderim verimi ile en başarılı sonuçlar elde edilirken, ortalama %84,745 ile 150°C sıcaklıkta en düşük verimler elde edilmiştir.



Şekil 4. 23. UVC kullanılan deneylerde sıcaklığın benzen giderim verimine etkisi

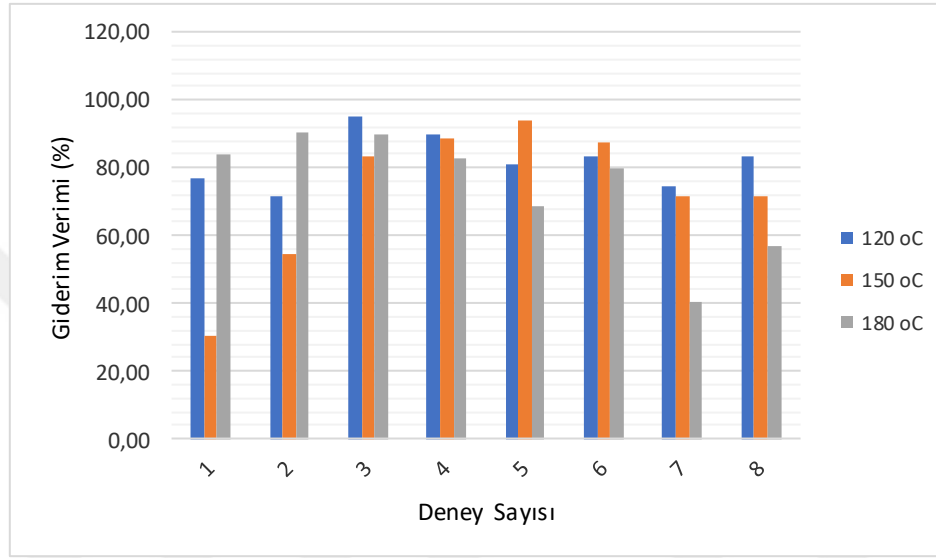
Şekil 4.24 incelendiğinde ise UVC ışık altında ortalama %94,40 verimle 120°C de en yüksek tolüen giderim verimleri elde edilirken, 180°C sıcaklıkta %81,81 verimle en düşük ortalama giderim verimi tespit edilmiştir.



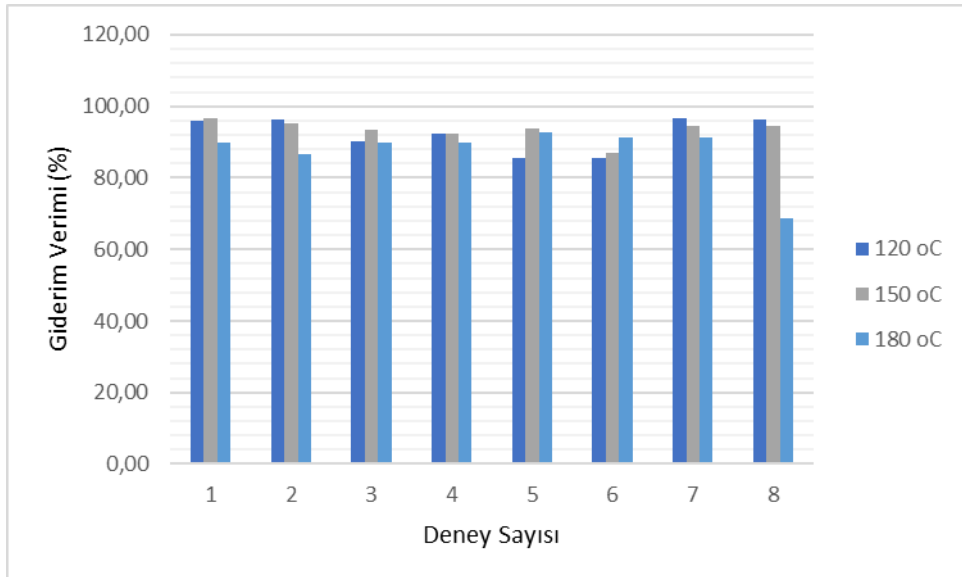
Şekil 4. 24. UVC kullanılan deneylerde sıcaklığın tolüen giderim verimine etkisi

UVA ışık kaynağı kullanılarak farklı sıcaklıklarda yapılan deneylerin benzen ve tolüen giderim verimine etkisi Şekil 4.25 ve 4.26 'da gösterilmektedir. Benzen giderim verimi açısından 120°C 'de yapılan deneylerin sonuçları ortalama %82,07 verimle en yüksek çıkmıştır. 150°C de ise ortalama %72,62 verimle en düşük giderim verimleri tespit edilmiştir. Tolüen giderim verimleri incelendiğinde ise ortalama %93,44 verimle

150°C 'de en yüksek giderim verimleri tespit edilirken, ortalama %87,49 verimle en düşük giderim sonuçları 180°C sıcaklıkta elde edilmiştir. Bu sonuçlar sıcaklığın benzen ve tolüen'in fotokatalitik oksidasyonla giderimi üzerindeki etkisinin giderim verimi açısından çok fazla olmadığını göstermiştir. Geliştirilen sistemim performansının çalıştırılan her sıcaklık koşulunda her iki kirletici içinde ortalama %70' den yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. 25. UVA kullanılan deneylerde sıcaklığın benzen giderim verimine etkisi



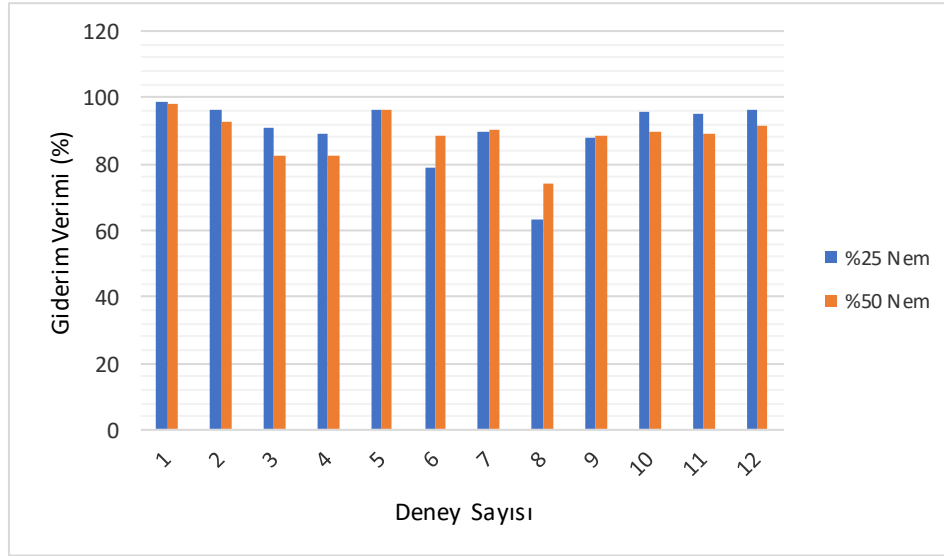
Şekil 4. 26. UVA kullanılan deneylerde sıcaklığın tolüen giderim verimine etkisi

Sıcaklığın fotokatalitik oksidasyon verimi üzerine etkileri konusunda yapılan çalışmalarda sıcaklık artışının birçok kirletici (asetaldehyde, tolüene, butadiene,

trichloroethylene, perchloroethylene) için oksidasyon verimini azalttığı tespit edilmiştir. Ancak ethylene ve formaldehyde bileşikleri için tam tersi bir durum tespit edilmiştir. Birçok çalışmada sıcaklık artışının yüzeyde gerçekleşen adsorpsiyonu ve reaksiyon oluşumunu azaltarak giderim verimini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Ek olarak, optimum sıcaklık dar bir aralıkta görünmektedir (Mo ve ark., 2009). Zorn tarafından yapılan bir çalışmada reaksiyon sıcaklığının 30°C'den 77°C'ye yükseltilmesinin buhar asetonunun reaksiyon hızı sabitini arttırmasına rağmen, sıcaklığın 77°C'den 113°C'ye çıkarılmasının önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Zorn ve ark., 1999). Bununla birlikte Wu tarafından benzen kirleticisinin fotokatalitik oksidasyonu amacıyla TiO₂ fotokatalizörü kullanarak yaptığı çalışmada 160-180°C bandının altında oksidasyon oranlarının arttığı, bu bandın üstüne çıkıldığında ise bu oranların azaldığı tespit edilmiştir (Wu ve ark., 2005). Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde bu tez kapsamında bulunan sonuçların anlamlı olduğu görülmüştür. Benzen kirleticisi sıcaklık artışından çok fazla etkilenmemiş ve 180°C sıcaklıkta bile verimli sonuçlar alınmıştır. Tolüen kirleticisinin giderim başarısı ise sıcaklık artışı ile azalmıştır.

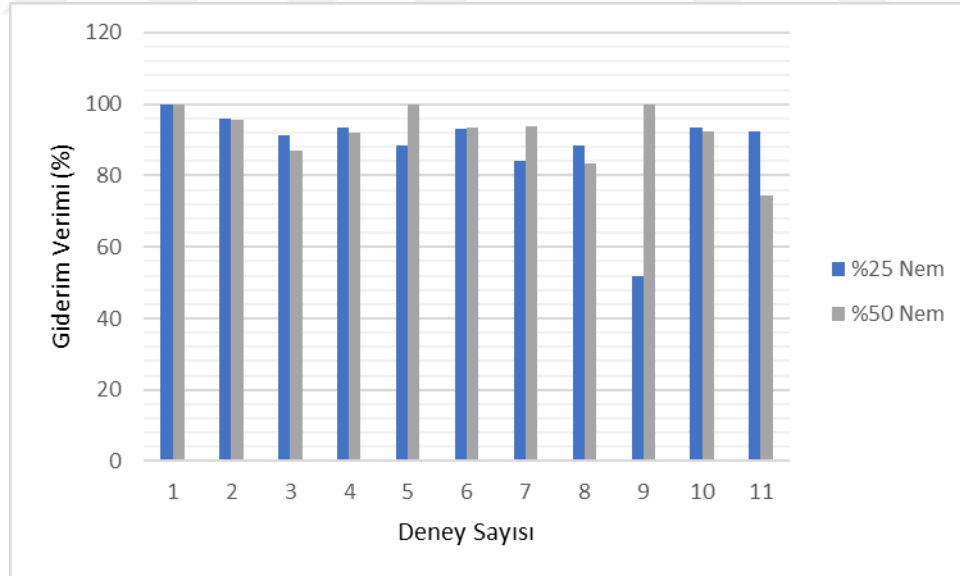
4.2.4. Nem Yüzdesinin Etkisi

Tez kapsamında reaktör çalıştırılırken %25 ve %50 nem yüzdeleri kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar ışık kaynaklarına göre verilmiştir. UVC ışık kaynağı kullanılarak yapılan deneylerin nem yüzdesine göre benzen ve tolüen giderim verimine etkileri Şekil 4.27 ve 4.28 'de verilmiştir. Şekil 4.27'ye göre UVC ışığı altında benzen giderimi nem yüzdesinden çok fazla etkilenmemiştir. %25 nem oranında ortalama verim %89,9 bulunmuş, %50 nem yüzdesinde ise %88,8 verim bulunmuştur. UVC ışık altında %25 nem yüzdesinin havadaki benzen kirliliğinin giderimi açısından daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4. 27. UVC kullanılan deneylerde nem yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi

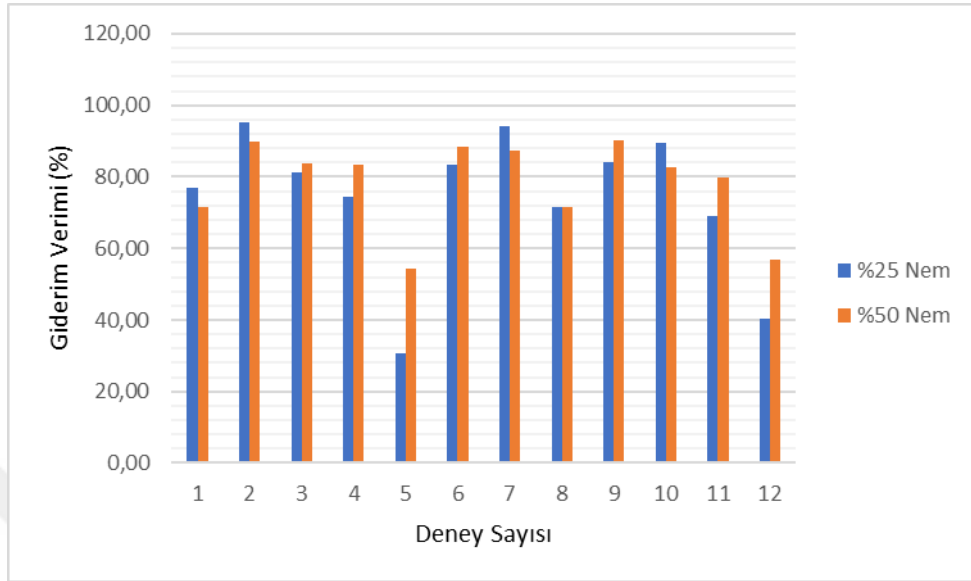
Şekil 4.28'e göre UVC ışığı altında tolüen giderimi açısından %25 nem oranında ortalama verim %88,204 bulunmuş, %50 nem yüzdesinde ise %89,669 ortalama verim bulunmuştur. UVC ışık altında %50 nem yüzdesinin havadaki tolüen kirliliğinin giderimi açısından daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4. 28. UVC kullanılan deneylerde nem yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi

UVA ışık altında benzen ve tolüen giderim veriminde nem yüzdesinin etkileri Şekil 4.29 ve 4.30'da verilmiştir. Benzen giderim verimi UVA ışık altında %25 nem yüzdesinde ortalama %74,23 ve %50 nem yüzdesinde ortalama %78,26 olarak bulunmuştur. Şekil 4.29 incelendiğinde bazı deneylerde %25 nemde verimin %40 altına

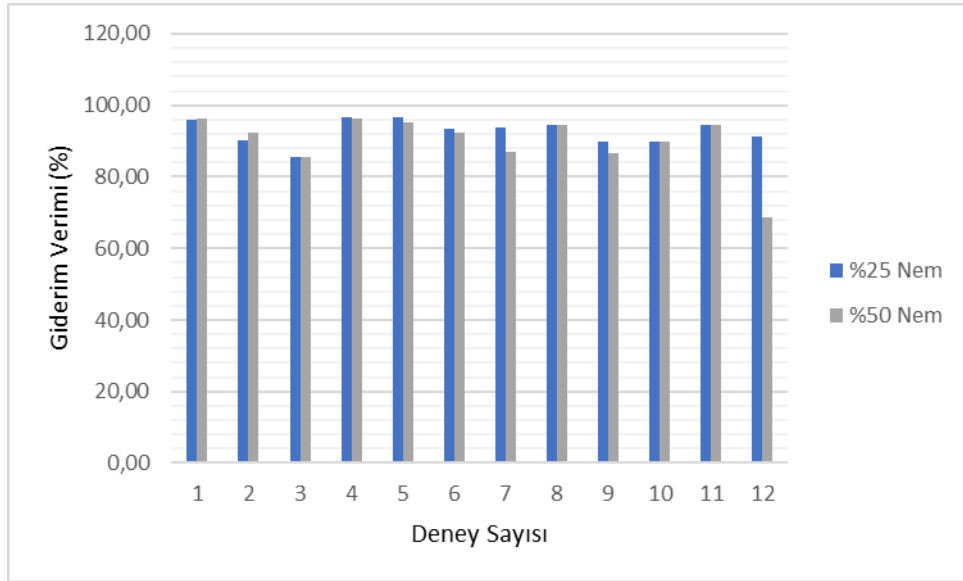
düşüğünü görülmektedir. UVA ışık kaynağı için %50 nem oranında benzen giderim verimi açısından daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4. 29. UVA kullanılan deneylerde nem yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi

Tolüen giderim verimi UVA ışık altında %25 nem yüzdesinde ortalama %92,65 ve %50 nem yüzdesinde ortalama %89,97 olarak bulunmuştur. UVA ışık kaynağı için %25 nem oranında tolüen giderim verimi açısından daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar nem yüzdesindeki değişimin fotokatalitik oksidasyon üzerine etkilerinin ışık kaynağı ve kirletici türü ve konsantrasyonuna göre değiştiğini göstermiştir. Daha yüksek konsantrasyona sahip benzen kirliliğinin giderimi UVC ışık altında %25 nem yüzdesinde daha başarılı bulunurken, daha düşük konsantrasyonda sisteme verilen tolüen için en başarılı sonuçlar UVA ışık altında %25 nem yüzdesinde tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda fotokatalitik oksidasyon sistemlerinde belli seviyede bir nem olması gerektiği ve bu nem değerinin aşırı olması durumunda ise fotokatalizör yüzeyinin kirlenerek fotokatalitik oksidasyon verimini olumsuz etkileyebileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda sisteme verilmesi uygun olan nem yüzdesi deneysel çalışmalarla tespit edilebilmektedir (Mo ve ark., 2009).

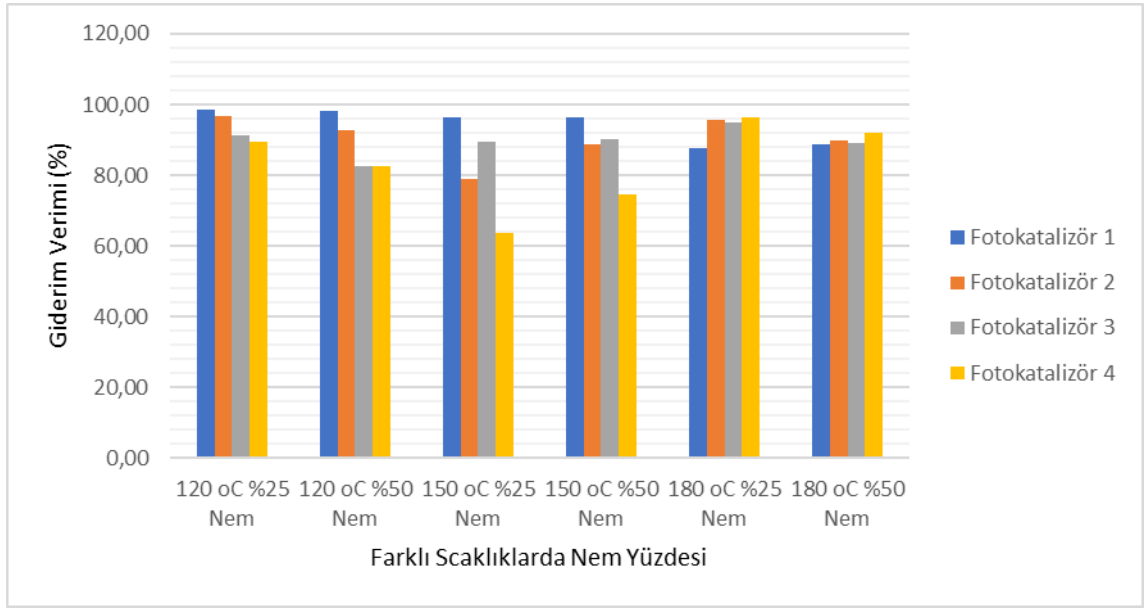


Şekil 4. 30. UVA kullanılan deneylerde nem yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi

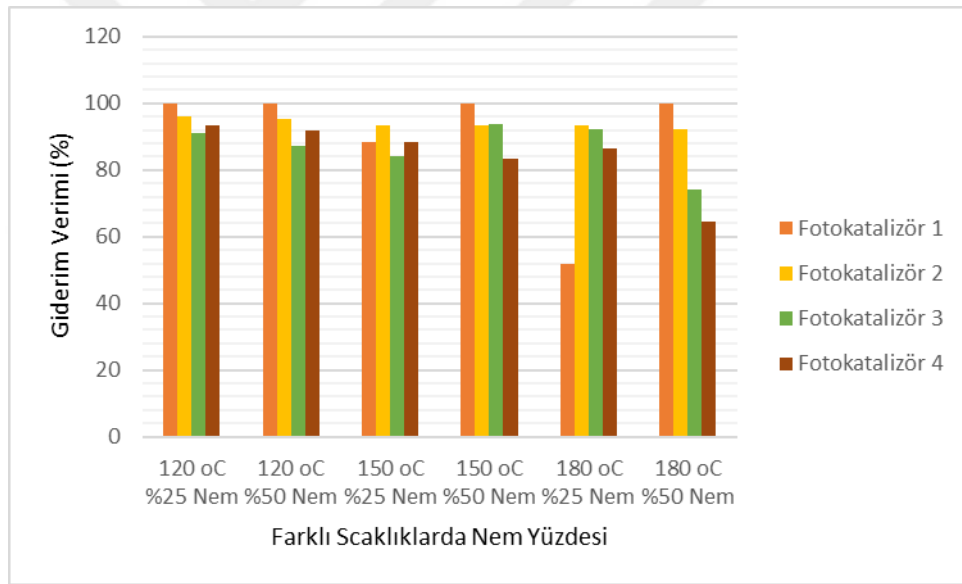
4.2.5. Farklı Parametrelerin Etkilerinin Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar deneyler sırasında değiştirilen farklı parametreler karşılaştırılarak da değerlendirilmiştir. Şekil 4.31’de UVC ışık kaynağı kullanılarak farklı sıcaklık, nem oranlarında doplama yüzdesinin etkileri benzen giderim verimi açısından incelenmiştir. Bu grafiğe göre fotokatalizör 1 kullanılan deneylerde sıcaklık ve nemin benzen giderimine etkisinin en az olduğu ve giderim verimlerinin %90 üzerinde olduğu görülmektedir. Fotokatalizör 4 kullanılarak yapılan deneylerde ise sıcaklık ve nem daha etkili olmuş ve giderim verimi 150°C sıcaklıkta ve %25 nem oranında diğer fotokatalizörlere göre daha düşük verimde çalışmıştır.

Şekil 4.32’de ise UVC ışık kaynağı kullanılarak farklı sıcaklık, nem oranlarında doplama yüzdesinin etkileri tolüen giderim verimi açısından incelenmiştir. En başarılı giderim performansı fotokatalizörler 1 ve 2 ile sağlanmıştır. Bu grafiğe göre tolüen giderimi fotokatalizör 4 kullanılan durumda ortalama olarak diğer doplama yüzdelğinde elde edilen verimden daha düşük bulunmuştur. Diğer doplama yüzdelğinde ise bir deney hariç tüm sıcaklık ve nem oranlarında %80 üzerinde verim elde edilmiştir. Fotokatalizör 4 kullanımı ile 180°C sıcaklıkta ve %50 nem oranında diğer fotokatalizörlere göre daha düşük tolüen giderim verimi elde edilmiştir. Tolüen açısından sıcaklığın yükselmesi sistem performansını olumsuz etkilemiştir.



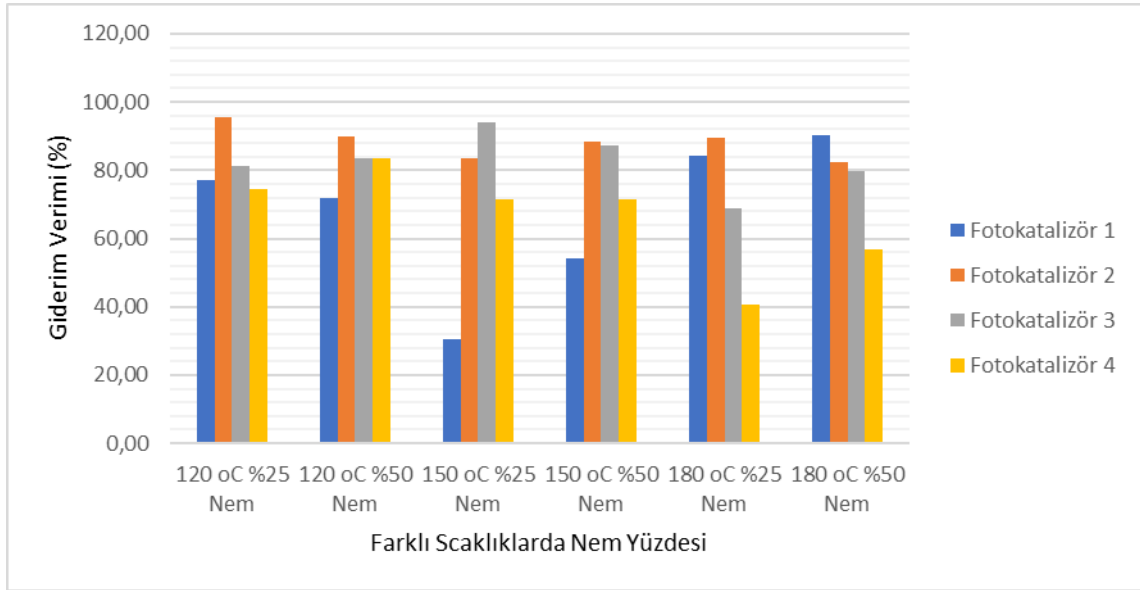
Şekil 4. 31. UVC kullanılan deneylerde farklı sıcaklıklarda ve nem oranlarında doplama yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi



Şekil 4. 32. UVC kullanılan deneylerde farklı sıcaklıklarda ve nem oranlarında doplama yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi

UVA ışık kaynağı kullanılarak farklı sıcaklık, nem oranlarında doplama yüzdesinin etkileri benzen ve tolüen giderim verimi açısından incelenmiştir. Bu kapsamda oluşturulan grafikler Şekil 4.33 ve 4.34'te verilmiştir. Şekil 4.33'e göre UVA ışık altında fotokatalizör 2 kullanılan deneylerde benzen giderim verimleri tüm sıcaklıklar ve nem oranlarında %80 üzerinde bulunmuştur. Fotokatalizör 4 ile yapılan deneylerde ise ortalama giderim veriminin daha düşük olduğu görülmektedir. Işık

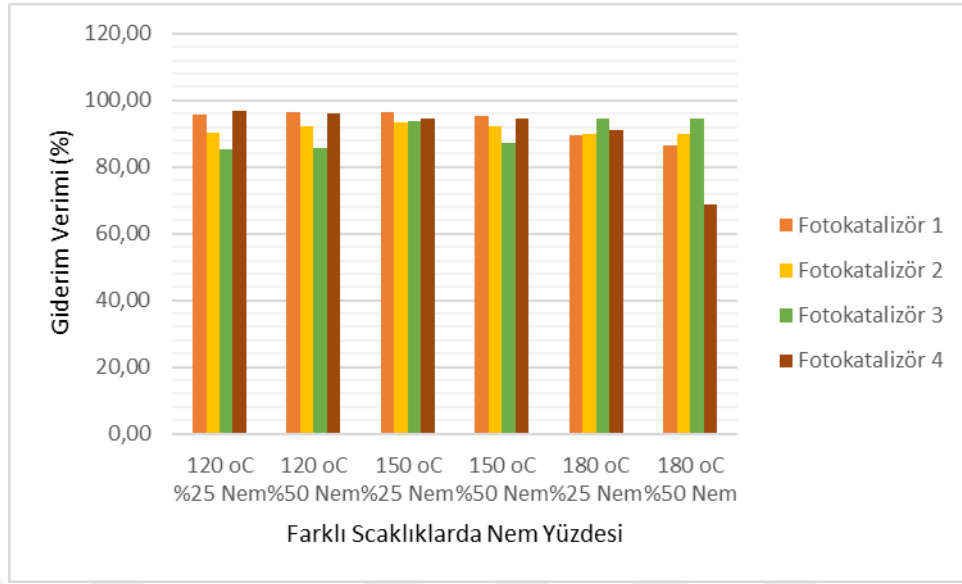
kaynağının değişmesi benzen giderim verimini hem azaltmış hem de giderim verimi açısından uygun şartları değiştirmiştir.



Şekil 4. 33. UVA kullanılan deneylerde farklı sıcaklıklarda ve nem oranlarında doplama yüzdesinin benzen giderim verimine etkisi

Benzer şekilde tolüen açısından Şekil 4.34’te verilen grafik incelendiğinde UVA ışık altında tüm sıcaklık ve nem oranlarında en yüksek verimler fotokatalizörler 1 ve 2 ile sağlanmıştır. En düşük verimler ise fotokatalizörler 3 ve 4 de tespit edilmiştir. Bu açıdan UVA ışık altında benzen ve tolüen giderim sonuçları benzeşmektedir. Ancak tolüen giderim verimleri benzene göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar nem oranı ve sıcaklığın giderim verimlerini çok fazla değiştirmediklerini göstermiştir. Işık kaynağı ve doplama yüzdesi giderim verimini daha fazla etkilemektedir.

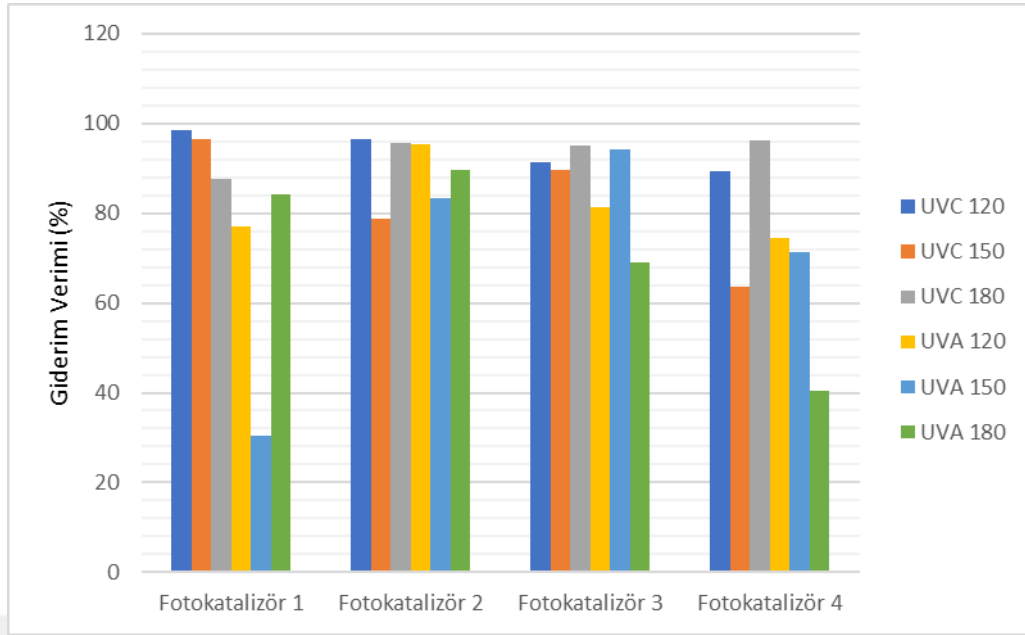
Farklı nem oranlarında doplama yüzdelерinin, farklı sıcaklık ve ışık kaynakları kullanıldığında benzen ve tolüen giderim verimine etkileri de grafikler üzerinde incelenmiştir. Şekil 4.35’te nem oranı %25 olduğu durumda farklı doplama yüzdelерinde ışık kaynağı ve sıcaklığın benzen giderim verimine etkisi gösterilmiştir. %25 nem ortamında en yüksek benzen giderim verimi 120°C sıcaklık UVC ışık fotokatalizör 1 kullanıldığında elde edilmiştir. En düşük benzen giderim verimi ise 150°C sıcaklık UVA ışık ve fotokatalizör 1 elde edilmiştir. Benzer şekilde fotokatalizör 4 kullanılarak, 180°C sıcaklık ve UVA ışık varlığında da giderim verimi azalmıştır. Benzen açısından %25 nem ortamında UVC ışık kullanımı daha başarılı sonuçlar verirken, UVA kullanılan denemelerde giderim verimleri azalma göstermiştir.



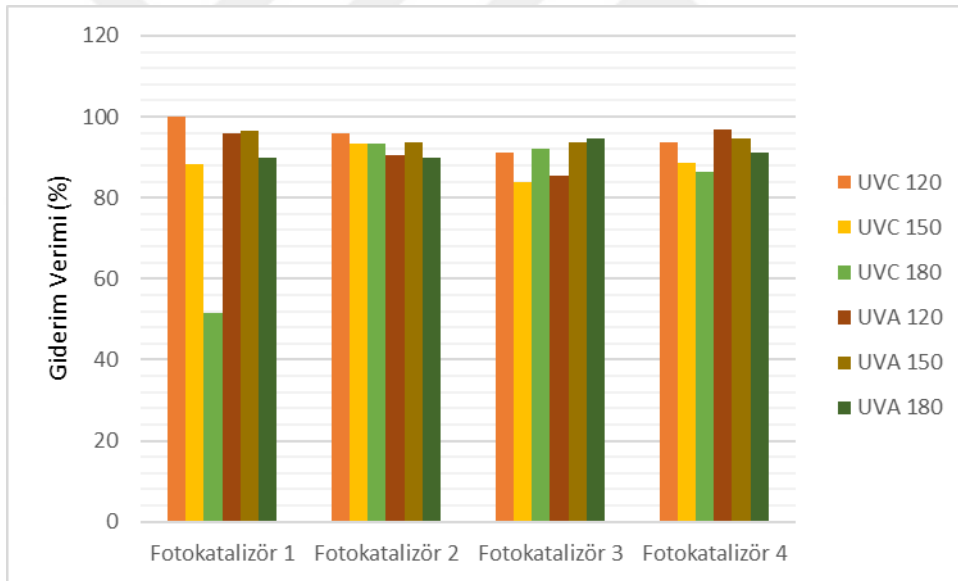
Şekil 4. 34. UVA kullanılan deneylerde farklı sıcaklıklarda ve nem oranlarında doplama yüzdesinin tolüen giderim verimine etkisi

Şekil 4.36’da nem oranı %25 olduğu durumda farklı doplama yüzdelерinde ışık kaynağı ve sıcaklığın tolüen giderim verimine etkisi gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde %25 nem varlığında en yüksek tolüen giderimi 120°C sıcaklık, UVC ışık kaynağı ve fotokatalizör 1 ile sağlanmıştır. %25 nem oranında en düşük tolüen giderim verimi ise 180°C sıcaklık UVC ışık ve fotokatalizör 1 ile elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında tolüen giderimi açısından, %25 nem ortamında tüm sıcaklıklar ve doplama yüzdeleri için en başarılı sonuçlar UVA ışık kullanımı ile sağlanmıştır.

Şekil 4.37’de %50 nem ortamında farklı doplama yüzdelерinde ışık kaynağı ve sıcaklığın benzen giderim verimine etkisi gösterilmiştir. %50 nem olan ortamda en yüksek benzen verimi fotokatalizör 1, UVC ışık kaynağı ve 120°C’de tespit edilmiştir. En düşük giderim verimi ise UVA ışık altında ve 150°C fotokatalizör 4 kullanılan deneyde tespit edilmiştir. Bununla birlikte %50 nem varlığında da fotokatalizör 4 kullanılan deneyde 180°C sıcaklık ve UVA ışık varlığında da giderim verimi azalmıştır. Benzen açısından %50 nem ortamında da UVC ışık kullanımı daha başarılı sonuçlar verirken, UVA kullanılan denemelerde giderim verimleri azalma göstermiştir.

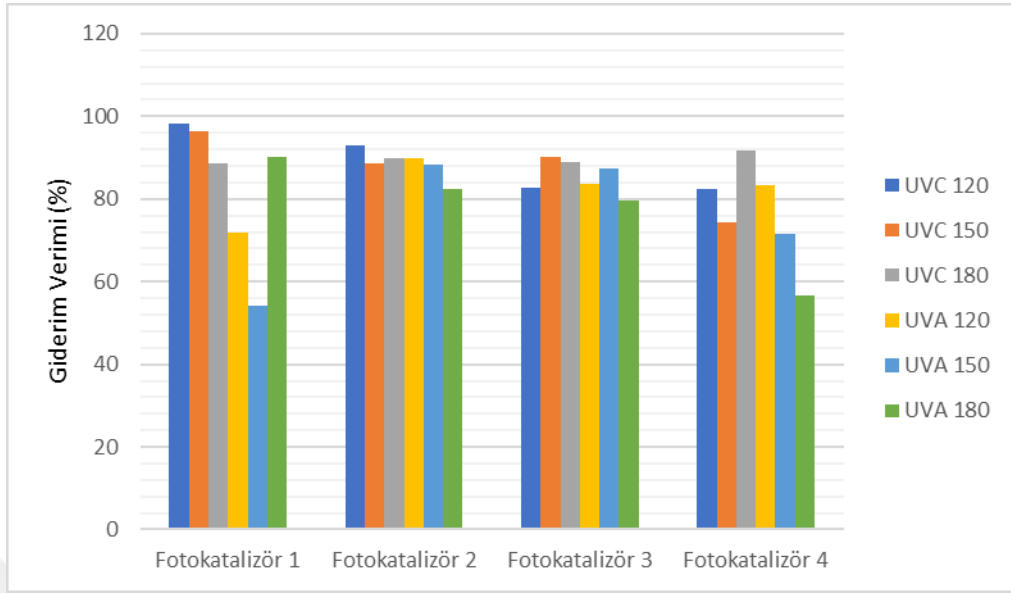


Şekil 4. 35. Farklı doplama yüzdelinde ışık kaynağı ve sıcaklığın benzen giderim verimine etkisi (%25 Nem)

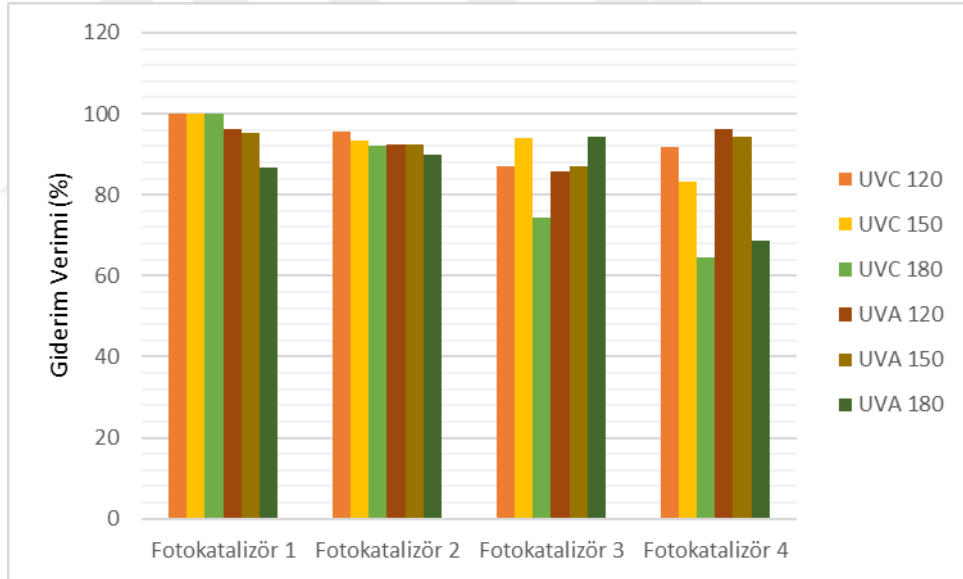


Şekil 4. 36. Farklı doplama yüzdelinde ışık kaynağı ve sıcaklığın tolüen giderim verimine etkisi (%25 Nem)

Şekil 4.38’de %50 nem ortamında farklı doplama yüzdelinde ışık kaynağı ve sıcaklığın tolüen giderim verimine etkisi gösterilmiştir. %50 nem ortamında en yüksek giderim verimleri fotokatalizör 1 ile tüm sıcaklık şartlarında ve UVC ışık altında sağlanmıştır. En düşük giderim verimi ise UVC ışık altında 180°C sıcaklıkta fotokatalizör 4 kullanılarak yapılan deneyde tespit edilmiştir. %25 nem ortamında tolüen giderimi verimi UVC ışık altında 120°C sıcaklıkta daha başarılı bulunmuştur.



Şekil 4. 37. Farklı doplama yüzdelerinde ışık kaynağı ve sıcaklığın benzen giderim verimine etkisi (%50 Nem)



Şekil 4. 38. Farklı doplama yüzdelerinde ışık kaynağı ve sıcaklığın tolüen giderim verimine etkisi (%50 Nem)

Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler sonucu elde edilen sonuçlar ve ortalama giderim verimleri % cinsinden Çizelge 4.9 ve 4.10'da verilmiştir. Bu çizelgeler deneysel çalışma sonucu elde edilen sonuçları % giderim verimleri üzerinden özetlemektedir.

Çizelge 4. 9. Farklı parametreler değiştirilerek yapılan deneylerin % giderim verimleri (Benzen)

Işık Kaynağı	Fotokatalizör	120 °C %25 Nem	120 °C %50 Nem	150 °C %25 Nem	150 °C %50 Nem	180 °C %25 Nem	180 °C %50 Nem	Ort.
UVC	Fotokatalizör 1	98,51	98,29	96,44	96,31	87,69	88,72	94,33
	Fotokatalizör 2	96,54	92,87	78,83	88,62	95,74	89,85	90,41
	Fotokatalizör 3	91,27	82,62	89,56	90,25	95,00	89,08	89,63
	Fotokatalizör 4	89,31	82,52	63,54	74,41	96,31	91,87	82,99
Ort.		93,91	89,08	82,09	87,40	93,68	89,88	
UVA	Fotokatalizör 1	77,04	71,71	30,55	54,32	84,17	90,15	67,99
	Fotokatalizör 2	95,39	89,81	83,35	88,38	89,63	82,53	88,18
	Fotokatalizör 3	81,23	83,60	94,12	87,34	68,95	79,64	82,48
	Fotokatalizör 4	74,35	83,43	71,47	71,45	40,48	56,72	66,32
Ort.		82,00	82,14	69,87	75,37	70,81	77,26	

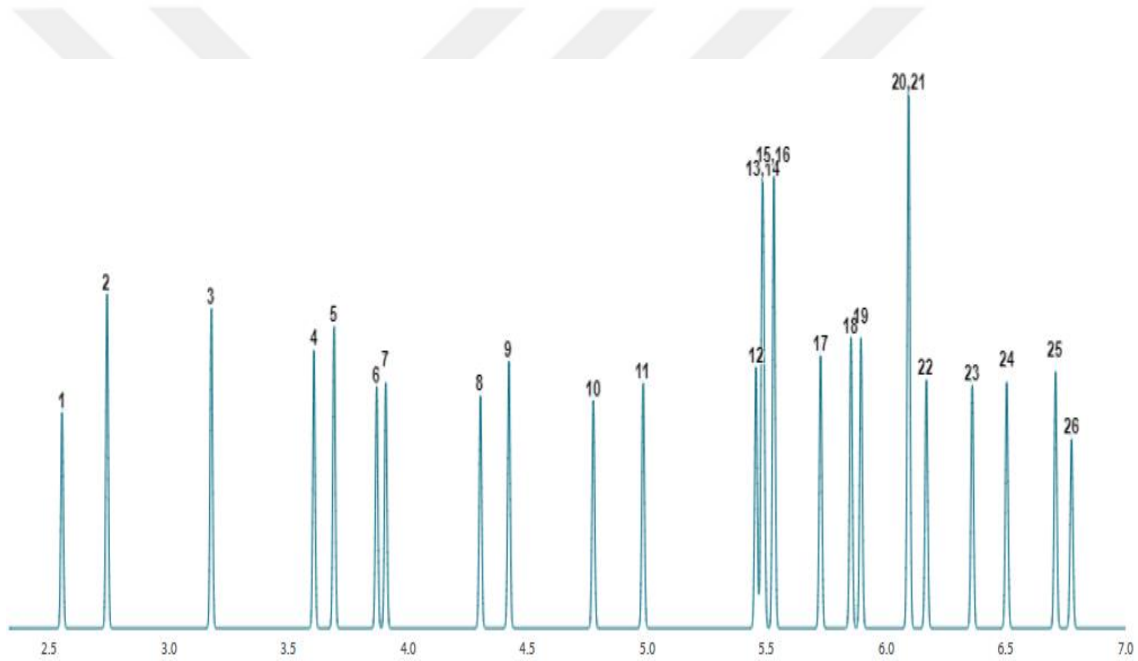
Çizelge 4. 10. Farklı parametreler değiştirilerek yapılan deneylerin % giderim verimleri (Tolüen)

Işık Kaynağı	Fotokatalizör	120 °C %25 Nem	120 °C %50 Nem	150 °C %25 Nem	150 °C %50 Nem	180 °C %25 Nem	180 °C %50 Nem	Ort.
UVC	Fotokatalizör 1	100	100	88,40	100	51,68	100	90,01
	Fotokatalizör 2	95,91	95,51	93,22	93,40	93,25	92,21	93,92
	Fotokatalizör 3	91,23	87,13	83,99	93,94	92,17	74,28	87,13
	Fotokatalizör 4	93,56	91,83	88,47	83,27	86,52	64,41	84,68
Ort.		95,18	93,62	88,53	92,66	80,91	82,73	
UVA	Fotokatalizör 1	95,81	96,32	96,48	95,36	89,73	86,61	93,39
	Fotokatalizör 2	90,35	92,35	93,52	92,28	89,75	89,97	91,38
	Fotokatalizör 3	85,49	85,62	93,74	87,15	94,48	94,46	90,16
	Fotokatalizör 4	96,81	96,27	94,48	94,46	91,12	68,74	90,32
Ort.		92,12	92,65	94,56	92,32	91,27	84,95	

Çizelgelerde verilen şartlar altında er iki fotokatalizör içinde en başarılı ortalama giderim verimlerinin elde edildiği ortalama değerler sarı renk ile belirtilmiştir. İki kirletici için de en etkin giderim verimleri UVC ışık varlığında 120°C ve %25 nem, UVA ışık altında ise 120°C %50 nem varlığında sağlanmıştır. Doplama yüzdesi açısından incelendiğinde ise %0,5 ve %1 doplama yapılan fotokatalizörlerin (Fotokatalizörler 1 ve 2) daha etkin bir giderim verimi sağladığı görülmektedir. Kirleticilerin eş zamanlı olarak fotokatalitik oksidasyonu UVC ışık altında 120°C sıcaklık, %25 nem ve fotokatalizör 1 kullanılarak ya da UVA ışık altında 120°C sıcaklık, %50 nem ve fotokatalizör 2 kullanılarak sağlanabilir.

4.2.6. Beklenmeyen Pik Oluşumları

Deneyler sırasında çalışılan yüksek sıcaklıklar ve nem giderim sırasında beklenmeyen pik oluşumuna sebebiyet verebilir. Bu bileşiklerin anlaşılabilmesi için deney sonuçlarını içeren kromatogram grafikleri (EK-3) incelenmiştir. Bu grafiklere göre bazı noktalarda beklenmedik piklere rastlanmıştır. Şekil 4.39’da Restek Pro EZGC Chromatogram Modeler ile UOB ölçümlerinde yaygın olarak incelenen kirleticiler için RTX-624 kolon kullanımına göre oluşturulan kromatogram grafiği gösterilmiştir (Restek, 2021). Çizelge 4.11 ‘da ise grafik üzerinde gösterilen kirleticilerin isimleri ve özellikleri verilmiştir. Deney numuneleri okunurken uygulanan programa göre pik noktaları değişiklik gösterebilir, ancak fikir vermesi açısından sonuçlar üzerinde tespit edilen beklenmedik pikler bu grafik üzerindeki piklerle kıyaslanmıştır.

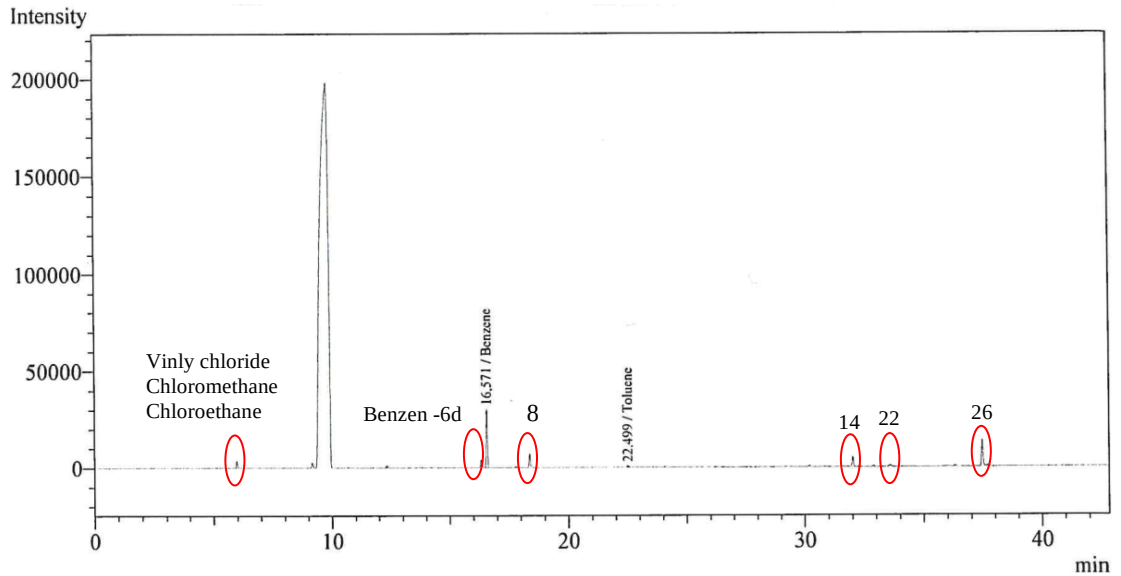


Şekil 4. 39. Restek Pro EZGC UOB kromatogram (Restek, 2021)

Çizelge 4. 11. Restek Pro EZGC UOB pik noktalarında okunan kirleticiler ve özellikleri (Restek, 2021)

Pikler	t _R (dakika)	R _s	Pik Genişliği (dakika)	T _{pik} (°C)
1. 1,1-Dikloroeten	2,55	8,6	0,021	81,6
2. N-Propilamine	2,74	8,6	0,021	87,6
3. 1,1-Dikloroetan	3,18	19,7	0,022	100,3
4. Kloroform	3,61	3,8	0,022	113,2
5. 1,1,1-Trikloroetan	3,69	3,8	0,022	115,7
6. Benzen	3,87	1,6	0,023	121,1
7. 1,2-Dikloroetan	3,91	1,6	0,023	122,2
8. 1,2-Dikloropropan	4,30	5,1	0,023	134,1
9. Bromodiklorometan	4,42	5,1	0,023	137,7
10. Tolüen	4,78	8,8	0,024	148,3
11. 1,1,2-Trikloroetan	4,98	8,8	0,024	154,5
12. Klorobenzen	5,46	1	0,024	168,7
13. Etilbenzen	5,48	0,2	0,024	169,4
14. 1,1,1,2-Tetrakloroetan	5,49	0,2	0,024	169,6
15. p-Ksilen	5,53	-	0,024	170,9
16. m-Ksilen	5,53	-	0,024	170,9
17. o-Ksilen	5,72	5,2	0,024	176,8
18. Bromoform	5,85	1,7	0,025	180,6
19. İzopropilbenzen	5,89	1,7	0,024	181,8
20. n-Propilbenzen	6,09	-	0,024	187,8
21. 1,2,3-Trikloropropan	6,09	-	0,024	187,8
22. 1,3,5-Trimetilbenzen	6,17	3	0,024	190,0
23. 1,2,4-Trimetilbenzen	6,36	5,9	0,024	195,8
24. p-İzopropiltolüen	6,50	5,9	0,024	200,1
25. n-Bütilbenzen	6,71	2,7	0,024	206,2
26. 1,2-Diklorobenzen	6,77	2,7	0,025	208,2

İncelenen kromatogramların çoğunda aynı noktalarda beklenmedik pikler tespit edilmiştir. Bu piklerin özellikle 180°C ve %50 nem çalışılan deneylerde daha belirgin şekilde çıktığı tespit edilmiştir.



Şekil 4. 40. Beklenmeyen pikleri gösteren örnek kromatogram

Şekil 4.40 ‘da örnek teşkil etmesi açısından UVA ışık altında 180°C sıcaklık ve %50 nem ortamında %5 doplama yapılmış katalizör kullanılarak yapılan deney sonucu elde edilen grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde benzenin hemen sonrasında bir pik tespit edilmiştir. Bu pikin konum bakımından Şekil 4.39 ‘da gösterilen 8 numaralı pikle benzeştiği görülmektedir. Bu bileşik Çizelge 4.10 ‘a göre 1,2 – Dikloropropan olabilir. Bunun yanı sıra Şekil 4.39 ‘da gösterilen 14, 22, ve 26 numaralı piklerde benzeşme tespit edilmiştir. Bu noktalarda 1,1,1,2-Tetrachloroethane, 1,3,5-Trimetilbenzen ve 1,2-Diklorobenzen bileşiklerinin bulunma ihtimali vardır. Ayrıca Şekil 4.39 ‘da gösterilmemesine rağmen Vinil klorit, Klorometan ya da Kloroetan bileşiğinin CS₂ pikinden önce görünme ihtimali vardır. Bu bileşik bütün kromatogramlarda görüldüğü için ölçüm kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Benzen’in yakınında çıkan pik ise benzen-6d ‘ye (benzenin izotopoloğu) ait olabilir. Bu beklemedik piklerin 180°C gibi yüksek sıcaklıkta daha da artması reaktör içinde istenmeyen reaksiyon olabileceğini göstermektedir. Benzen ve tolüen ‘in fotokatalitik oksidasyon reaksiyonları sırasında oksidasyonun yarım kalması durumu görülebilir. Bu durumda yan ürün oluşumu olmaktadır. Benzaldehit, benzoik asit ve fenol bu yan ürünler arasındadır (Boyjoo ve ark., 2017). Grafikler ve oluşan tahmini bileşikler incelendiğinde grafiklerde oluşan piklerin benzen ve tolüen kaynaklı yan ürünler olmadığı sonucu çıkmaktadır.

Ayrıca bu pikler reaktör içerisinde ve sistemi oluşturan diğer ekipmanlardan da kaynaklanmış olabilir. Daha önce reaktör boşken (fotokatalizör yok) yapılan bazı ön denemelerde de benzer piklere rastlanmıştır. Benzen ve tolüen kirleticilerinin çalışılan koşullarda yan ürün oluşumu dışında bu bileşiklerin oluşumuna sebebiyet verme olasılıkları da oldukça düşüktür.

Bunun yanı sıra bu piklerin oluşumunda sorbent tüpü, kullanılan solvent ve GC cihazı kaynaklı etkiler olabileceği de unutulmamalıdır. Yapılan ön denemelerde boş sorbent tüpünün ekstrakte edilmesiyle yapılan okumada benzen (1 mg/L), diklorobenzen (12 mg/L) ve trimetilbenzen (0,9 mg/L) çıktığı da tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu piklerin bazı okumalarda küçük de olsa çoğu kromatogramda görülmesinin sistemin performansı açısından problem yaratmayacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında modifiye edilmiş yeni bir fotokatalizör (Ag/Ni Doplanmış TiO_2) üretilerek, bu fotokatalizörün baca gazlarında sıklıkla rastlanılan ve ciddi toksik etkileri bulunan UOB'lerin fotokatalitik oksidasyon yöntemiyle gideriminde kullanımı üzerine çalışılmıştır. Bu amaçla yeni bir reaktör tasarlanmış ve deneysel şartlar oluşturulmuştur. Laboratuvar şartlarında geliştirilen sistemle suni olarak kirletici gazlar (benzen ve tolüen) üretilmiş ve reaktör içerisine verilmiştir. Üretilen fotokatalizörün özelliklerinin daha net anlaşılabilmesi adına farklı doplama yüzdeleri (%0,5,%1,%2,5,%5) kullanılmıştır ve SEM-EDX, XRD ve AFM analiz cihazları ile bu katalizörlerin özellikleri tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılan ışık kaynakları (UVA ve UVC), ortama sıcaklıkları (120°C , 150°C , 180°C) ve reaktör içerisine verilen nem oranı (%25 ve %50) da değiştirilerek giderim verimi üzerine olan etkilerine bakılmıştır. Deneyler sırasında gaz örnekleri sorbent tüpüne alınarak, CS_2 ekstraksiyonu sonrasında GC-FID analiz cihazıyla okunmuştur.

Çalışma sonuçları incelendiğinde kirletici gazların sistemde yapılan değişiklikler karşısında farklı giderim özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Benzen kirleticisi UVC ışık altında daha başarılı sonuçlar verirken, tolüen UVA ışık altında daha etkin bir şekilde giderilmiştir. UVC ışık altında benzen kirleticisi açısından %0,5 doplama yapılan fotokatalizör kullanıldığında giderim verimleri artarken, UVA ışık altında %1 doplama yapılan fotokatalizör kullanıldığında verim daha yüksek bulunmuştur. Benzen gideriminde en düşük başarı her iki ışık kaynağı kullanımında da %5 doplama yapılan fotokatalizör kullanılan deneylerde elde edilmiştir. Tolüen açısından incelendiğinde en başarılı sonuçlar UVC ışık varlığında %1 doplama yapılan fotokatalizör ile UVA varlığında ise %0,5 doplama yapılan fotokatalizör ile sağlanmıştır. Bu sonuçlar %0,5 ve %1 doplama yapılan durumda yüzeydeki Ag ve Ni yüzdesinin daha dengeli dağıldığı düşünüldüğünde beklenen bir sonuçtur. Tolüen kirliliğinde en düşük giderim verimleri %2,5 ve %5 doplama yapılan fotokatalizörler ile elde edilmiştir. %2,5 ve %5 doplama yapılan fotokatalizörde TiO_2 etkisinin Ni tarafından baskılandığını ve Ni oranının Ag'ye göre çok daha fazla olduğu XRD analizleriyle tespit edilmiştir. Ayrıca doplama yüzdesindeki artışın yüzeydeki doplama verimini azalttığı da belirlenmiştir. Bu sebeplerle bu fotokatalizörlerin kullanıldığı deneylerde elde edilen sonuçların giderim verimi açısından nispeten düşük seviyelerde çıkması beklenen bir sonuçtur.

Sıcaklığın giderim verimi açısından etkilerine bakıldığında bu çalışmada yüksek sıcaklıkların verimi olumsuz etkilemediği tespit edilmiştir. UVC ışık altında tolüen kirleticisi en yüksek verimler 120°C de elde edilirken, UVA ışık altında 150°C’de daha başarılı sonuçlar bulunmuştur. Benzen için ise her iki ışık kullanımında 120°C de en başarılı sonuçların alındığı görülmüştür. Giderim verimi açısından bakıldığında en verimsiz sonuçlar iki ışık kaynağı kullanımında da benzen için 150°C ‘de, tolüen için ise 180°C ‘de alınmıştır. Yüksek sıcaklığın giderim verimini bir miktar azalttığı ancak genel olarak %80 üzerinde verim elde edildiği görülmüştür.

Sistemde kullanılan nem yüzdeleri de giderim verimlerini bir miktar etkilemiştir. UVC ışık altında benzen giderimi %25 nem değerinde daha başarılı sonuçlar verirken, tolüen için %50 nemde daha başarılı sonuçlar alınmıştır. UVA ışık altında ise tolüen giderimi en başarılı %25 nemde sağlanırken, benzen gideriminin ise %50 nem değerinde daha etkili şekilde sağlandığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar nem oranındaki artışın sistem çalışma şartlarını bozmadığını göstermiştir. Bununla birlikte sonuçlarda çok büyük bir farklılığa sebebiyet vermemiştir.

Bu çalışma ile farklı deneysel şartlarda baca gazları içinde önemli hava kirleticilerinden olan benzen ve tolüen’in giderimi ve bununla ilgili en uygun sistemin bulunması hedeflenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde benzen ve tolüen gazlarının birlikte giderimi açısından en uygun çalışma koşullarının UVC ışık altında %0,5 doplama yapılan fotokatalizör kullanılarak, 120°C sıcaklık ve %25 nem ortamında sağlandığı deneysel sonuçlarla belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında benzen için ortalama giderim verimi %82,79 bulunurken, tolüen için ortalama giderim verimi %90,02 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.1’de farklı koşullarda yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile bu tez çalışmasından elde edilen sonucun karşılaştırılması verilmiştir. Çizelge incelendiğinde farklı şartlar altında tolüen ve benzen kirliliğinin fotokatalitik oksidasyon yöntemi kullanılarak giderimi ile alakalı birçok çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda genellikle UV ışık ve görünür ışık ortamlarında çalışılmış, nem oranı maksimum %60 tercih edilmiştir. Tolüen kirleticisi açısından sıcaklığın inhibe edici etkileri bu sonuçlarda da görülmektedir. 250°C sıcaklıkta %40 nem altında kullanılan TiO₂ nanotüplerinin tolüen verimini azalttığı anlaşılmaktadır. Ag ve Fe gibi elementlerin doplamasının giderim üzerinde pozitif etkileri olduğu da birçok çalışmada kanıtlanmıştır. Çizelgede verilen benzer çalışmalar ile kıyaslandığında, tez

kapsamında elde edilen sonuçlar bundan sonra yapılabilecek daha geniş kapsamlı çalışmalarda temel oluşturması açısından dikkate değer olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 5. 1. Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların başka çalışmalarla karşılaştırılması

	Fotokatalizör Özellikleri	Deney Koşulları	Giderim Verimi	Kirletici	Kaynak
Benzer Çalışmalar	Düz Cam Yüzey üzerine tutturulmuş farklı nano TiO₂ kristalleri	Sıcaklık: 250 °C Nem: %40 Lambalar: Demir Halojen Lamba Işık Gücü: 500W Işık Yoğunluğu: 3 mW/cm ²	Ortalama %49	Tolüen	(Bianchi ve ark., 2014)
	Titanyum Nanoparçacıkları	Sıcaklık: 25 °C Nem: %60 Lambalar: UVA ve UVB Işık Gücü: 13.6W ve 3W	Ortalama %57	Etilen, Propilen, Toluen	(Hussain ve ark., 2011)
	Ni doplanmış TiO₂-SnO₂ kompozit	Sıcaklık: 70 °C Hava Akış Hızı: 320 cm ³ /dakika Lambalar: Halojen Lamba Işık Gücü: 150W	%51	Tolüen	(Khan ve Kim, 2009)
	Cam Fiber üzerine tutturulmuş Fe doplanmış TiO₂	Sıcaklık: Oda Sıcaklığı Nem: %60 Lambalar: UV-Görünür Işık Işık Gücü: 300W	%40-96.5	Tolüen	(Sun ve ark., 2012)
	Ag doplanmış TiO₂ nanotüp	Lambalar: UV ve Görünür Işık Işık Gücü: 8W ve 500W Işık Yoğunluğu: 0.87 mW/cm ²	%98	Tolüen	(Li ve ark., 2011)
	Zeolit üzerine tutturulmuş TiO₂	Nem: %50 Hava Akış Hızı: 1 L/dk Lambalar: 2 Vakumlu UV, 2 UVC Işık Gücü: 4W ve 254 nm	Ortalama %98	Benzen	(Huang ve ark., 2017)
	Cam üzerine tutturulmuş TiO₂	Sıcaklık: 50 °C Lambalar: Düşük Basıncılı Cıva Işık Gücü: 12W	Ortalama %70	Benzen, Tolüen, Etilbenzen, Ksilen	(Dhada ve ark., 2015)
Tez çalışması	Cam plakalar üzerine tutturulmuş Ag/Ni Doplanmış TiO₂	Sıcaklık: 120, 150, 180 Lambalar: UVC ve UVA Işık Gücü: 15W Nem: %25 ve %50	Ortalama %80-90	Benzen, Tolüen	Mevcut çalışma

Deneyler sonrasında fotokatalizör yüzeylerinde değişikliğe rastlanmamıştır. Benzen ve tolüenin fotokatalitik oksidasyonu üzerine yapılan bazı çalışmalarda yan ürünlerden kaynaklı fotokatalizörlerin yüzeylerinde renk değişimi ve kararma olduğu görülmüş, bu durumun giderim verimini olumsuz etkilediği belirtilmiştir (Kozlov, 2014). Bu bağlamda geliştirilen fotokatalizörlerin performanslarının deneylerden etkilenmediği ve uzun süreli kullanımlarının özellikle düşük konsantrasyonlarda mümkün olabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada iki kirletici eş zamanlı olarak sisteme verildiği ve benzen konsantrasyonunun daha yüksek düzeyde olmasından kaynaklı olarak giderim verimi açısından tolüene göre biraz daha başarısız bulunmuştur. Değerlendirmeler yapılırken bu durum da göz önüne alınmıştır. Bununla birlikte örnek alma, ekstraksiyon ve okuma kaynaklı hataların olabileceği dikkate alınarak, sistem performansı açısından parametrelerin etkileri ortalama değerler üzerinden verilmiştir.

5.2 Öneriler

Bu çalışma kapsamında ortaya çıkan sonuçlardan yararlanılarak aşağıda bazı öneriler sıralanmıştır.

- Çalışma kapsamında üç farklı sıcaklık kullanılarak denemeler yapılmıştır. Sıcaklıkların hepsi 100 °C üzerinde olduğundan sistem verilen su buharı aşırı ısıtılmış buhar fazındadır. Bu durum reaktör çıkışında aşırı soğumaya ve örnekleme esnasında yüksek nem oluşumuna sebebiyet vererek örneklemeyi zorlaştırmıştır. Bunun yanı sıra aşırı ısıtılmış buhar ortamlarında nispi nem oluşturmak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle ilk durumda sistemde yapılan nem ayarları, nem oranı hesabı üzerinden tekrar düzenlenmek durumunda kalmıştır. Sistemin nem performansı açısından daha düşük sıcaklıklarda (<100 °C) çalışmalar yapılması sistem çalışma koşullarını kolaylaştırabileceği düşünülmektedir. Yapılan benzer çalışmalarda yüksek sıcaklıkların fotokatalitik oksidasyon açısından birçok kirletici için giderim verimini olumsuz etkilediği belirlenmiştir.
- Çalışma kapsamında yapılan deneyler bir kez tekrarlanabilmiştir. Belirlenen şartlarda yapılacak tekrarlı deneylerle uzun süre kullanımda fotokatalizör performansı değerlendirilebilecektir.
- Deneyler sonrası sorbent tüpüne alınan çıkış örnekleri içindeki benzen ve tolüen konsantrasyonlarının tespit edilmesi ile sistem performansı

değerlendirilmiştir. Fotokatalitik oksidasyon sonucunda tam oksidasyon gerçekleşmesi durumunda oluşması beklenen ürünler CO_2 ve H_2O 'dur. Bu sebeple uygun ölçüm cihazı temin edilerek, reaktör çıkışından CO_2 ölçümü yapılabilir ve elde edilen sonuçlar desteklenebilir.

- Çalışma kapsamında reaktör şekli olarak dikey pozisyonda çalışan bir sistem geliştirilmiştir. Bunun yerine yatay konumda ve daha küçük ebatlarda bir reaktör tasarımı yapılarak numune alma ve akış kontrolü daha verimli hale getirilebilir.
- Laboratuvar ortamında geliştirilen gaz üretim sistemi ortam sıcaklığı, nem, debi değeri gibi etkenlerin değişiminden etkilendiği düşünülmektedir. Bu açılardan sistemin verimini artırmak adına daha profesyonel ekipmanlar (yüksek hassasiyete sahip dijital debimetre, debi kontrol ekipmanı, sabit sıcaklık sağlayan şişeler, kuru hava cihazı) kullanılabileceği düşünülmektedir.
- Çalışma kapsamında farklı dalga boylarında UV ışık kullanılmıştır. Yüksek sıcaklıklardan kaynaklı olarak görünür ışık bandında bir lamba kullanılması mümkün olmamıştır. Sistem sıcaklığı azaltılarak görünür ışık bandında da denemeler yapılabilir.
- Çalışma kapsamında üretilen fotokatalizörler cam plakalar üzerine kaplanmıştır. Bu amaçla laboratuvar ortamında geliştirilen daldırma ile kaplama cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cam plakaların boyutları reaktör boyutunun çok büyük olmasından dolayı uzun tercih edilmiştir. Bu da kaplamayı zorlaştırmıştır. Bu nedenle bundan sonra yapılabilecek çalışmalarda reaktör ve fotokatalizör boyutları küçültülebilir ve daha etkin bir kaplama sağlanabilir.
- Çalışma kapsamında kirletici gazların giderimine adsorpsiyon 'un etkilerini değerlendirmek adına çalışma yapılamamıştır. Üretilen fotokatalizörlerin karanlık ortamda farklı zaman aralıklarında örneklenerek adsorban olarak kullanım özellikleri de incelenebilir.
- Çalışma kapsamında organik özellikte iki kirletici üzerine çalışılmıştır. Fotokatalitik oksidasyon sistemlerinin inorganik özellikte hava kirleticilerinin giderimi üzerine de yapılan çalışmalar mevcuttur. Sonraki süreçte bu çalışmada kullanılan fotokatalizörlerin inorganik hava kirleticileri üzerine kullanımı incelenebilir.

- Çalışma kapsamında sistem kinetiklerini belirlemek amacıyla zamana bağlı ölçümler yapılamamıştır. Reaktör çıkışına bağlanabilecek bir analizörle zamana bağlı konsantrasyon değişimi izlenerek sistem kinetikleri belirlenebilir.

Yukarıda bahsedilen öneriler ile ileride yapılacak çalışmalara fikir verilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışmasına rağmen umut vadetmektedir. Çalışılan koşullarda yüksek giderim verim değerleri elde edilmiştir. Özellikle baca gazlarından kaynaklanan UOB kirleticilerinin direk baca ortamına yerleştirilebilecek bu tarz bir giderim sistemi ile arıtmalarının yapılabileceği kanıtlanmıştır.



KAYNAKLAR

- Abbas, N., Hussain, M., Russo, N. ve Saracco, G., 2011, Studies on the activity and deactivation of novel optimized TiO₂ nanoparticles for the abatement of VOCs, *Chemical Engineering Journal*, 175, 330-340.
- Aegerter, M. A. ve Mennig, M., 2013, Sol-gel technologies for glass producers and users, Springer Science & Business Media.
- Aguilar, G. V., 2018, Introductory Chapter: A Brief Semblance of the Sol-Gel Method in Research, In: Sol-Gel Method-Design and Synthesis of New Materials with Interesting Physical, Chemical and Biological Properties, Eds: IntechOpen.
- Aksoy, M., 2017, Benzene carcinogenicity, CRC Press.
- Al-Bat'hi, S. A., 2015, Electrodeposition of Nanostructure Materials, In: Electroplating of Nanostructures, Eds: IntechOpen.
- Alver, E., Demirci, A. ve Özcimder, M., 2012, Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve sağlığa etkileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3 (1), 45-52.
- Anonymus, 2013, Dip Coater Prototype (DCK-300) [online], <https://instras.com/index.php/dip-coater-dck-100/>, [Ziyaret Tarihi: 5 Ocak 2021].
- Anonymus, 2020, *Toluene* [online], <https://www.vedantu.com/chemistry/toluene>, [Ziyaret Tarihi: 17 Haziran 2020].
- Anonymus, 2021, *Toluene Properties* [online], <https://www.worldofchemicals.com/chemicals/chemical-properties/toluene.html>, [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2021].
- AntTeknik, 2021, *GC-2010 Plus Gaz Kromatografi Sistemi (front-end for GCMS)* [online], <https://www.antteknik.com/tr/urunler/?p=gc-2010-plus-gaz-kromatografi-sistemi>, [Ziyaret Tarihi: 10 Mart 2021].
- APTI435, 1983, 435, Atmospheric Sampling, Student Manual, *USEPA 450/2-80-004*.
- Asim, N., Ahmadi, S., Alghoul, M., Hammadi, F. Y., Saeedfar, K. ve Sopian, K., 2014, Research and Development Aspects on Chemical Preparation Techniques of Photoanodes for Dye Sensitized Solar Cells, *International Journal of Photoenergy*, Volume 2014, 21 pages.
- ASTM, D., 1995, 3686 Standard Practice for Sampling Atmospheres to Collect Organic Compound Vapors (Activated Charcoal Tube Adsorption Method), *American Society for Testing Materials, West Conshohocken PA, USA*.

- Badr, O. ve Probert, S. D., 1995, Sinks and environmental impacts for atmospheric carbon monoxide, *Applied Energy*, 50 (4), 339-372.
- Barnes, I., 2015, Tropospheric Chemistry And Composition | Aromatic Hydrocarbons, In: *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)*, Eds: North, G. R., Pyle, J. ve Zhang, F., *Oxford: Academic Press*, p. 204-213.
- Benignus, V. A., 1981, Health effects of toluene: a review, *Neurotoxicology*, 2 (3), 567-588.
- Bergek, J., Elgh, B., Palmqvist, A. E. ve Nordstierna, L., 2017, Formation of titanium dioxide core-shell microcapsules through a binary-phase spray technique, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19 (35), 23878-23886.
- Berni, A., Mennig, M. ve Schmidt, H., 2004, Doctor Blade, In: *Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users*, Eds: Aegerter, M. A. ve Mennig, M., *Boston, MA: Springer US*, p. 89-92.
- Bianchi, C. L., Gatto, S., Pirola, C., Naldoni, A., Di Michele, A., Cerrato, G., Crocellà, V. ve Capucci, V., 2014, Photocatalytic degradation of acetone, acetaldehyde and toluene in gas-phase: Comparison between nano and micro-sized TiO₂, *Applied Catalysis B: Environmental*, 146, 123-130.
- Boningari, T. ve Smirniotis, P. G., 2016, Impact of nitrogen oxides on the environment and human health: Mn-based materials for the NO_x abatement, *Current Opinion in Chemical Engineering*, 13, 133-141.
- Boyjoo, Y., Sun, H., Liu, J., Pareek, V. K. ve Wang, S., 2017, A review on photocatalysis for air treatment: From catalyst development to reactor design, *Chemical Engineering Journal*, 310, 537-559.
- Brinker, C. J., 2013, Dip Coating, In: *Chemical Solution Deposition of Functional Oxide Thin Films*, Eds: Schneller, T., Waser, R., Kosec, M. ve Payne, D., *Vienna: Springer Vienna*, p. 233-261.
- Carey, F. A., 2019, Benzene, *Encyclopedia Britannica* [online], <https://www.britannica.com/science/benzene> [Ziyaret Tarihi: 20 Şubat 2021].
- Chabrol, C., Rouvière, E. ve Schuster, F., 2004, The Pyrosol® Process, In: *Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users*, Eds: Aegerter, M. A. ve Mennig, M., *Boston, MA: Springer US*, p. 69-75.
- Chapuis, Y., Klvana, D., Guy, C. ve Kirchnerova, J., 2002, Photocatalytic oxidation of volatile organic compounds using fluorescent visible light, *J Air Waste Manag Assoc*, 52 (7), 845-854.
- Chromacademy, 2019, *Theory and Instrumentation of GC Introduction*, https://www.chromacademy.com/lms/sco10/Theory_and_Instrumentation_Of_GC_Introduction.pdf, [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2020].

- Cofala, J. ve Syri, S., 1998, Nitrogen oxides emissions, abatement technologies and related costs for Europe in the RAINS model database, JSTOR.
- Commission, E., 2018, *Horizon 2020 projects* [online], <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-sections-projects>, [Ziyaret Tarihi: 10 Mart 2020].
- D'Andrea, M. A. ve Reddy, G. K., 2014, Health Effects of Benzene Exposure among Children Following a Flaring Incident at the British Petroleum Refinery in Texas City, *Pediatric Hematology and Oncology*, 31 (1), 1-10.
- D'Arienzo, M., Scotti, R., Di Credico, B. ve Redaelli, M., 2017, Chapter 13 - Synthesis and Characterization of Morphology-Controlled TiO₂ Nanocrystals: Opportunities and Challenges for their Application in Photocatalytic Materials, In: *Studies in Surface Science and Catalysis*, Eds: Fornasiero, P. ve Cargnello, M.: Elsevier, p. 477-540.
- De Nevers, N., 2000, *Air Pollution Control Engineering*, McGraw-Hill Chemical Engineering, New York.
- DFG, D. F., 2012, Sampling and Analysis of Gases and Vapours [Air Monitoring Methods, 2009], In: *The MAK-Collection for Occupational Health and Safety*, Eds, p. 14-47.
- Dhada, I., Nagar, P. K. ve Sharma, M., 2015, Challenges of TiO₂-based photooxidation of volatile organic compounds: designing, coating, and regenerating catalyst, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54 (20), 5381-5387.
- Dijy, C. ve Divya, D., 2015, Reduction of air pollution from vehicles using titanium dioxide, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2 (5), 1308-1314.
- Dionysiou, D. D., Puma, G. L., Ye, J., Schneider, J. ve Bahnemann, D., 2016, *Photocatalysis: applications*, Royal Society of Chemistry.
- Dong, F., Wang, H., Wu, Z. ve Qiu, J., 2010, Marked enhancement of photocatalytic activity and photochemical stability of N-doped TiO₂ nanocrystals by Fe³⁺/Fe²⁺ surface modification, *J Colloid Interface Sci*, 343 (1), 200-208.
- Dong, F., Guo, S., Wang, H., Li, X. ve Wu, Z., 2011, Enhancement of the visible light photocatalytic activity of C-doped TiO₂ nanomaterials prepared by a green synthetic approach, *The Journal of Physical Chemistry C*, 115 (27), 13285-13292.
- Dorsey, A., 2000, *Toxicological profile for toluene* [online], U.S. Department of Health And Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/6417> [Ziyaret Tarihi: 5 Nisan 2021].
- Drews, A. W., 1998, *Manual on Hydrocarbon Analysis: 6th Edition*.

- Encyclopedia, T. C. E., 2012, *Hydrocarbon* [online], <https://www.infoplease.com/encyclopedia/science/chemistry/organic/hydrocarbon>, Columbia University Press [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2021].
- EngineeringToolBox, 2018, *Toluene - Thermophysical Properties* [online], https://www.engineeringtoolbox.com/toluene-methylbenzene-properties-d_2095.html, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2021].
- EPA, 2017a, *Method 4—Determination of Moisture Content in Stack Gases* [online], https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-08/documents/method_4_0.pdf, [Ziyaret Tarihi: 5 Ocak 2020].
- EPA, 2017b, *Technical Overview of Volatile Organic Compounds* [online], <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>, [Ziyaret Tarihi: 15 Nisan 2021].
- Ferrari-Lima, A. M., Marques, R. G., Gimenes, M. L. ve Fernandes-Machado, N. R. C., 2015, Synthesis, characterisation and photocatalytic activity of N-doped TiO₂–Nb₂O₅ mixed oxides, *Catalysis today*, 254, 119-128.
- Fiorenza, R., Bellardita, M., Palmisano, L. ve Scirè, S., 2016, A comparison between photocatalytic and catalytic oxidation of 2-Propanol over Au/TiO₂–CeO₂ catalysts, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 415, 56-64.
- Flagan, R. C. ve Seinfeld, J. H., 2012, *Fundamentals of air pollution engineering*, Courier Corporation.
- Floch, H. G. ve Belleville, P. F., 2004, Capillary Coating Technique, In: *Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users*, Eds: Aegerter, M. A. ve Mennig, M., Boston, MA: Springer US, p. 57-61.
- Gateway, 2009, *Zeiss EVO LS10 VP-SEM* [online], <http://www.gatewaymaterialstestcenter.com/EVOPopup.html>, [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2020].
- Gholami, M., Nassehinia, H. R., Jonidi-Jafari, A., Nasser, S. ve Esrafil, A., 2014, Comparison of Benzene & Toluene removal from synthetic polluted air with use of Nano photocatalytic TiO₂/ZNO process, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12 (1), 1-8.
- Guo, T., Bai, Z., Wu, C. ve Zhu, T., 2008, Influence of relative humidity on the photocatalytic oxidation (PCO) of toluene by TiO₂ loaded on activated carbon fibers: PCO rate and intermediates accumulation, *Applied Catalysis B: Environmental*, 79 (2), 171-178.
- Gutoff, E. B. ve Cohen, E. D., 2010, Chapter 13 - Water- and solvent-based coating technology, In: *Multilayer Flexible Packaging*, Eds: Wagner, J. R., Boston: William Andrew Publishing, p. 163-184.

- Güngör, T. ve Güngör, E., 2015, Bilgisayar Kontrollü Daldırmalı Kaplama Sistem Tasarımı, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3 (1), 1-4.
- Han, Y., Zhang, J. ve Zhao, Y., 2016, Visible-light-induced photocatalytic oxidation of nitric oxide and sulfur dioxide: Discrete kinetics and mechanism, *Energy*, 103, 725-734.
- Harrison, R. M., 1986, Nitrogen and sulphur compounds, In: Handbook of Air Pollution Analysis, Eds: Harrison, R. M. ve Perry, R., *Dordrecht*: Springer Netherlands, p. 279-341.
- Herring, N. P., Panda, A. B., AbouZeid, K., Almahoudi, S. H., Olson, C. R., Patel, A. ve El-Shall, M. S., 2013, Microwave Synthesis of Metal Oxide Nanoparticles, In: Metal Oxide Nanomaterials for Chemical Sensors, Eds: Carpenter, M. A., Mathur, S. ve Kolmakov, A., *New York, NY*: Springer New York, p. 245-284.
- Holman, C., 1999, 8 - Sources of Air Pollution, In: Air Pollution and Health, Eds: Holgate, S. T., Samet, J. M., Koren, H. S. ve Maynard, R. L., *London*: Academic Press, p. 115-148.
- Huang, H., Huang, H., Zhang, L., Hu, P., Ye, X. ve Leung, D. Y. C., 2015, Enhanced degradation of gaseous benzene under vacuum ultraviolet (VUV) irradiation over TiO₂ modified by transition metals, *Chemical Engineering Journal*, 259, 534-541.
- Huang, H., Liu, G., Zhan, Y., Xu, Y., Lu, H., Huang, H., Feng, Q. ve Wu, M., 2017, Photocatalytic Oxidation of Gaseous Benzene under VUV Irradiation over TiO₂/Zeolites Catalysts, *Catalysis today*, 281, 649-655.
- Hussain, M., Russo, N. ve Saracco, G., 2011, Photocatalytic abatement of VOCs by novel optimized TiO₂ nanoparticles, *Chemical Engineering Journal*, 166 (1), 138-149.
- Incropera, F. P., Lavine, A. S., Bergman, T. L. ve DeWitt, D. P., 2007, Fundamentals of heat and mass transfer, Wiley.
- INSTTools, 2021, *Flame Ionization Detector (FID) Principle* [online], <https://instrumentationtools.com/flame-ionization-detector-fid-principle/>, [Ziyaret Tarihi: 20 Şubat 2021].
- Ji, J., Xu, Y., Huang, H., He, M., Liu, S., Liu, G., Xie, R., Feng, Q., Shu, Y., Zhan, Y., Fang, R., Ye, X. ve Leung, D. Y. C., 2017, Mesoporous TiO₂ under VUV irradiation: Enhanced photocatalytic oxidation for VOCs degradation at room temperature, *Chemical Engineering Journal*, 327, 490-499.
- Jo, W.-K. ve Kim, J.-T., 2009, Application of visible-light photocatalysis with nitrogen-doped or unmodified titanium dioxide for control of indoor-level volatile organic compounds, *Journal of hazardous materials*, 164 (1), 360-366.

- Jo, W. K. ve Kim, J. T., 2010, Decomposition of gas-phase aromatic hydrocarbons by applying an annular-type reactor coated with sulfur-doped photocatalyst under visible-light irradiation, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85 (4), 485-492.
- Kakaei, K., Esrafil, M. D. ve Ehsani, A., 2019, Chapter 8 - Graphene and Anticorrosive Properties, In: Interface Science and Technology, Eds: Kakaei, K., Esrafil, M. D. ve Ehsani, A.: Elsevier, p. 303-337.
- Kalte, H. O., Jonidi Jafari, A. ve Asilian, H., 2016, Investigation of Photocatalytic Oxidation and Wet Absorption in a Combined System for Removal of Nitrogen Oxides, *Health Scope*, 5 (3).
- Khan, R. ve Kim, T.-J., 2009, Preparation and application of visible-light-responsive Ni-doped and SnO₂-coupled TiO₂ nanocomposite photocatalysts, *Journal of hazardous materials*, 163 (2-3), 1179-1184.
- Korologos, C. A., Nikolaki, M. D., Zerva, C. N., Philippopoulos, C. J. ve Pouloupoulos, S. G., 2012, Photocatalytic oxidation of benzene, toluene, ethylbenzene and m-xylene in the gas-phase over TiO₂-based catalysts, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 244, 24-31.
- Kowsari, E. ve Abdpour, S., 2017, In-situ functionalization of mesoporous hexagonal ZnO synthesized in task specific ionic liquid as a photocatalyst for elimination of SO₂, NO_x, and CO, *Journal of Solid State Chemistry*, 256, 141-150.
- Kozlov, D. V., 2014, Titanium Dioxide in gas-Phase Photocatalytic Oxidation of Aromatic and Heteroatom Organic Substances: Deactivation and Reactivation of Photocatalyst, *Theoretical and Experimental Chemistry*, 50 (3), 133-154.
- Krishnan, P., Zhang, M.-H., Cheng, Y., Riang, D. T. ve Yu, L. E., 2013, Photocatalytic degradation of SO₂ using TiO₂-containing silicate as a building coating material, *Construction and Building Materials*, 43, 197-202.
- Kumar, S., Ahlawat, W., Bhanjana, G., Heydarifard, S., Nazhad, M. M. ve Dilbaghi, N., 2014, Nanotechnology-based water treatment strategies, *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 14 (2), 1838-1858.
- Langlet, M., 2004, The Aerosol-Gel Process, In: Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users, Eds: Aegerter, M. A. ve Mennig, M., Boston, MA: Springer US, p. 77-81.
- Li, A. D. ve Liu, W. C., 2010, 4 - Optical properties of ferroelectric nanocrystal/polymer composites, In: Physical Properties and Applications of Polymer Nanocomposites, Eds: Tjong, S. C. ve Mai, Y. W.: Woodhead Publishing, p. 108-158.
- Li, H.-b., Zhang, J., Huang, G.-y., Fu, S.-h., Ma, C., Wang, B.-y., Huang, Q.-r. ve Liao, H.-w., 2017, Hydrothermal synthesis and enhanced photocatalytic activity of

- hierarchical flower-like Fe-doped BiVO₄, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27 (4), 868-875.
- Li, X., Zou, X., Qu, Z., Zhao, Q. ve Wang, L., 2011, Photocatalytic degradation of gaseous toluene over Ag-doping TiO₂ nanotube powder prepared by anodization coupled with impregnation method, *Chemosphere*, 83 (5), 674-679.
- Liu, C., Zhang, R., Wei, S., Wang, J., Liu, Y., Li, M. ve Liu, R., 2015, Selective removal of H₂S from biogas using a regenerable hybrid TiO₂/zeolite composite, *Fuel*, 157, 183-190.
- Ma, J., Wang, C. ve He, H., 2016, Enhanced photocatalytic oxidation of NO over g-C₃N₄-TiO₂ under UV and visible light, *Applied Catalysis B: Environmental*, 184, 28-34.
- Manahan, S. E., 2011, Fundamentals of environmental chemistry, CRC press.
- Mani, D., Kalpana, M. S., Patil, D. J. ve Dayal, A. M., 2017, Chapter 3 - Organic Matter in Gas Shales: Origin, Evolution, and Characterization, In: Shale Gas, Eds: Dayal, A. M. ve Mani, D.: Elsevier, p. 25-54.
- Matsuda, A. ve Tatsumisago, M., 2004, Electrophoretic Coatings, In: Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users, Eds: Aegerter, M. A. ve Mennig, M., Boston, MA: Springer US, p. 83-88.
- McIntyre, A. E. ve Lester, J. N., 1986, Hydrocarbons and carbon monoxide, In: Handbook of Air Pollution Analysis, Eds: Harrison, R. M. ve Perry, R., Dordrecht: Springer Netherlands, p. 387-424.
- McKay, G., 2002, Dioxin characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration: review, *Chemical Engineering Journal*, 86 (3), 343-368.
- Medina Ramirez, I., Hernandez-Ramírez, A. ve Maya-Treviño, M., 2015, Synthesis Methods for Photocatalytic Materials, In, Eds, p. 69-102.
- Miller, B. G., 2017, 3 - The Effect of Coal Usage on Human Health and the Environment, In: Clean Coal Engineering Technology (Second Edition), Eds: Miller, B. G.: Butterworth-Heinemann, p. 105-144.
- Mo, J., Zhang, Y., Xu, Q., Lamson, J. J. ve Zhao, R., 2009, Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: a literature review, *Atmospheric environment*, 43 (14), 2229-2246.
- Mohamed, R. M. ve Aazam, E. S., 2012, Photocatalytic Oxidation of Carbon Monoxide over Nanocomposites under UV Irradiation, *Journal of Nanotechnology*, 2012, 1-9.

- Murcia, J., Hidalgo, M., Navío, J., Vaiano, V., Ciambelli, P. ve Sannino, D., 2012, Ethanol partial photooxidation on Pt/TiO₂ catalysts as green route for acetaldehyde synthesis, *Catalysis today*, 196 (1), 101-109.
- Murcia, J., Hidalgo, M., Navío, J., Vaiano, V., Sannino, D. ve Ciambelli, P., 2013, Cyclohexane photocatalytic oxidation on Pt/TiO₂ catalysts, *Catalysis today*, 209, 164-169.
- Nguyen, N.-T., 2012, Chapter 4 - Fabrication technologies, In: Micromixers (Second Edition), Eds: Nguyen, N.-T., *Oxford: William Andrew Publishing*, p. 113-161.
- Niessen, W. R., 2010, Combustion and incineration processes: applications in environmental engineering, CRC Press.
- Pan, X., 2011, Sulfur Oxides: Sources, Exposures and Health Effects, In: Encyclopedia of Environmental Health, Eds: Nriagu, J. O., *Burlington: Elsevier*, p. 290-296.
- Passalia, C., Alfano, O. M. ve Brandi, R. J., 2017, Integral Design Methodology of Photocatalytic Reactors for Air Pollution Remediation, *Molecules*, 22 (6).
- Persson, H., 2015, Photocatalytic oxidation for voc abatement, *Master Thesis Project, Department of Chemical Engineering and Technology*.
- Phalippou, J., 2000, *Sol-Gel: A Low Temperature Process For The Materials Of The New Millennium* [online], <http://solgel.com/articles/June00/phalip/introsolgel.htm>, [Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2021].
- Pham, T.-D. ve Lee, B.-K., 2017, Selective removal of polar VOCs by novel photocatalytic activity of metals co-doped TiO₂/PU under visible light, *Chemical Engineering Journal*, 307, 63-73.
- Prockop, L. D. ve Chichkova, R. I., 2007, Carbon monoxide intoxication: An updated review, *Journal of the Neurological Sciences*, 262 (1), 122-130.
- Rahimi, N., Pax, R. A. ve Gray, E. M., 2016, Review of functional titanium oxides. I: TiO₂ and its modifications, *Progress in Solid State Chemistry*, 44 (3), 86-105.
- Rao, B. G., Mukherjee, D. ve Reddy, B. M., 2017, Chapter 1 - Novel approaches for preparation of nanoparticles, In: Nanostructures for Novel Therapy, Eds: Fikai, D. ve Grumezescu, A. M.: Elsevier, p. 1-36.
- Restek, 2021, *Restek Pro EZGC Chromatogram Modeler* [online], <https://ez.restek.com/proezgc/en>, [Ziyaret Tarihi: 09 Haziran 2021].
- Rymen, T. A. A., 1979, Tracing Organic Gaseous Pollutants in the Atmosphere: The Gas Chromatographic Survey of Vinyl Chloride-and Paint industry, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 6 (1), 1-23.

- Schlesinger, R. B., 2010, 8.15 - Sulfur Oxides, In: Comprehensive Toxicology (Second Edition), Eds: McQueen, C. A., Oxford: Elsevier, p. 277-290.
- Schmidt, H. ve Mennig, M., 2000, Wet coating technologies for glass, *INM, Institut für Neue Materialien, Saarbrücken, Germany*, 11.
- Schubert, U., 2015, Chemistry and fundamentals of the sol–gel process, *The Sol-Gel Handbook*, 1-28.
- SelcukUniversitesi, 2020, *X-Işını Difraktometresi Cihazı* [online] https://www.selcuk.edu.tr/ileri_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5877/tr, [Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2020].
- Shayegan, Z., Lee, C.-S. ve Haghighat, F., 2018, TiO₂ photocatalyst for removal of volatile organic compounds in gas phase – A review, *Chemical Engineering Journal*, 334, 2408-2439.
- Shirsath, S. E., Jadhav, S. S., Mane, M. L. ve Li, S., 2017, Ferrites Obtained by Sol–Gel Method, In: Handbook of Sol-Gel Science and Technology, Eds: Klein, L., Aparicio, M. ve Jitianu, A., Cham: Springer International Publishing, p. 1-41.
- Sofuoğlu, A., 2003, *Hava Kirliliği* [online], https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/csk/EK-6.pdf, [Ziyaret Tarihi: 10 Mart 2021].
- Stewart, R. D., 1975, The effect of carbon monoxide on humans, *Annual review of pharmacology*, 15 (1), 409-423.
- Sun, S., Ding, J., Bao, J., Gao, C., Qi, Z., Yang, X., He, B. ve Li, C., 2012, Photocatalytic degradation of gaseous toluene on Fe-TiO₂ under visible light irradiation: a study on the structure, activity and deactivation mechanism, *Applied Surface Science*, 258 (12), 5031-5037.
- Tayyeb Javed, M., Irfan, N. ve Gibbs, B. M., 2007, Control of combustion-generated nitrogen oxides by selective non-catalytic reduction, *Journal of Environmental Management*, 83 (3), 251-289.
- TheJamesHuttonInstitute, 2020, *X-ray diffraction* [online], <https://www.claysandminerals.com/equipment/xrd>, [Ziyaret Tarihi: 17 Mayıs 2020].
- Toygun, Ş., Köneçoğlu, G. ve Kalpaklı, Y., 2013, GENERAL PRINCIPLES OF SOL-GEL, *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 31 (4).
- Vargas Hernández, J., Coste, S., García Murillo, A., Carrillo Romo, F. ve Kassiba, A., 2017, Effects of metal doping (Cu, Ag, Eu) on the electronic and optical behavior of nanostructured TiO₂, *Journal of Alloys and Compounds*, 710, 355-363.

- Verbruggen, S. W., 2015, TiO₂ photocatalysis for the degradation of pollutants in gas phase: From morphological design to plasmonic enhancement, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 24, 64-82.
- Villaluenga, J. ve Tabe-Mohammadi, A., 2000, A review on the separation of benzene/cyclohexane mixtures by pervaporation process, *Journal of Membrane Science*, 169, 159-174.
- Wallace, L., 1996, Environmental exposure to benzene: an update, *Environmental health perspectives*, 104 (suppl 6), 1129-1136.
- Wallace, L. A., 1989, Major sources of benzene exposure, 82, 165-169.
- Wang, H., You, C. ve Tan, Z., 2018, Enhanced photocatalytic oxidation of SO₂ on TiO₂ surface by Na₂CO₃ modification, *Chemical Engineering Journal*, 350, 89-99.
- Wang, L. K., Pereira, N. C. ve Hung, Y.-T., 2004, Air pollution control engineering, Springer.
- WHO, 2000, Air quality guidelines for Europe, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- WHO, 2010, *Exposure to Benzene: a Major Public Health Concern* [online] <https://www.who.int/ipcs/features/benzene.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2021].
- Wikibooks, 2017, *A-level Chemistry/OCR (Salters)/Reactions of arenes* [online], [https://en.wikibooks.org/wiki/A-level_Chemistry/OCR_\(Salters\)/Reactions_of_arenas](https://en.wikibooks.org/wiki/A-level_Chemistry/OCR_(Salters)/Reactions_of_arenas), [Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2021].
- Wilbur, S. B., Keith, S., Faroon, O. ve Wohlers, D., 2007, Toxicological profile for benzene.
- Wu, J.-F., Hung, C.-H. ve Yuan, C.-S., 2005, Kinetic modeling of promotion and inhibition of temperature on photocatalytic degradation of benzene vapor, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 170 (3), 299-306.
- Wu, Y. T., Yu, Y. H., Nguyen, V. H., Lu, K. T., Wu, J. C., Chang, L. M. ve Kuo, C. W., 2013, Enhanced xylene removal by photocatalytic oxidation using fiber-illuminated honeycomb reactor at ppb level, *J Hazard Mater*, 262, 717-725.
- Xu, H., Zeiger, B. W. ve Suslick, K. S., 2013, Sonochemical synthesis of nanomaterials, *Chemical Society Reviews*, 42 (7), 2555-2567.
- Yadav, D. A., 2017, Synthesis of Nanomaterials by Physical and Chemical Methods, *Nanotechnology*, 3 (6), 350-352.
- Yang, S. B., Chun, H. H., Tayade, R. J. ve Jo, W. K., 2015, Iron-functionalized titanium dioxide on flexible glass fibers for photocatalysis of benzene, toluene,

ethylbenzene, and o-xylene (BTEX) under visible- or ultraviolet-light irradiation, *J Air Waste Manag Assoc*, 65 (3), 365-373.

Yates, M., Martin, J. C., Ávila, P. ve Gil-Llambias, F. J., 2007, Influence of the Bentonite/Titania ratio on the textural characteristics of incorporated ceramics for photocatalytic destruction of volatile organic compounds, In: *Studies in Surface Science and Catalysis*, Eds: Llewellyn, P. L., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J. ve Seaton, N.: Elsevier, p. 233-240.

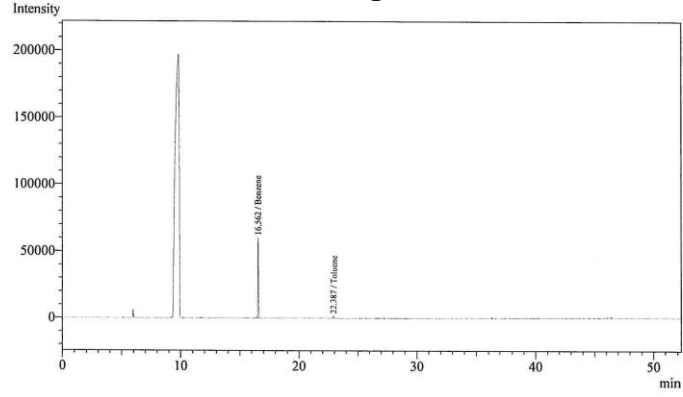
Yilbas, B. S., Al-Sharafi, A. ve Ali, H., 2019, Chapter 3 - Surfaces for Self-Cleaning, In: *Self-Cleaning of Surfaces and Water Droplet Mobility*, Eds: Yilbas, B. S., Al-Sharafi, A. ve Ali, H.: Elsevier, p. 45-98.

Yücedağ, C. ve Kaya, L. G., 2016, Hava kirleticilerin bitkilere etkileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (1), 67-74.

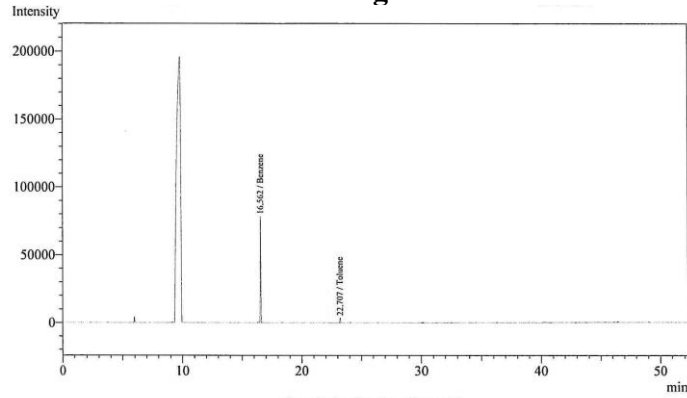
Zhong, L., Lee, C. S. ve Haghghat, F., 2012, Adsorption performance of titanium dioxide (TiO₂) coated air filters for volatile organic compounds, *J Hazard Mater*, 243, 340-349.

Zhong, L., Haghghat, F., Lee, C.-S. ve Lakdawala, N., 2013, Performance of ultraviolet photocatalytic oxidation for indoor air applications: Systematic experimental evaluation, *Journal of hazardous materials*, 261, 130-138.

Zorn, M. E., Tompkins, D. T., Zeltner, W. A. ve Anderson, M. A., 1999, Photocatalytic oxidation of acetone vapor on TiO₂/ZrO₂ thin films, *Applied Catalysis B: Environmental*, 23 (1), 1-8.

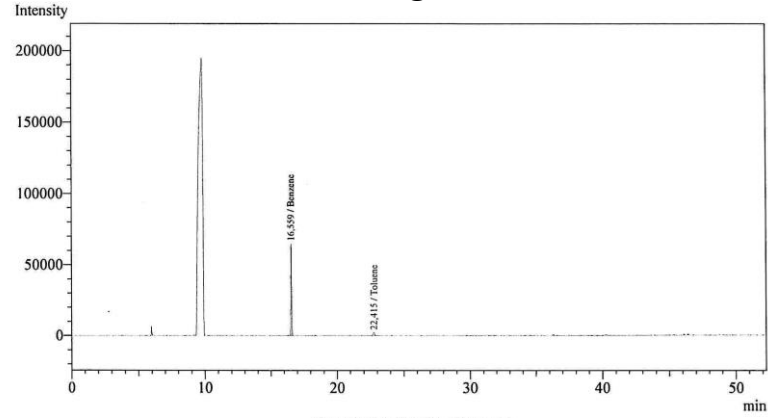
EKLER**EK-1 GC-FID Analiz Sonuçları (Giriş Numuneleri)****G1 no'lu örneğin sonucu**

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,562	215678	118,395	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,387	6942	2,404	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

G2 no'lu örneğin sonucu

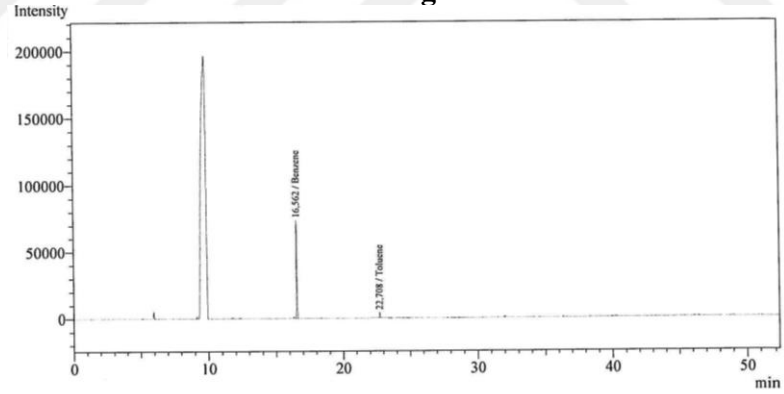
ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,562	277564	152,367	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,707	15421	5,339	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

G3 no'lu örneğin sonucu



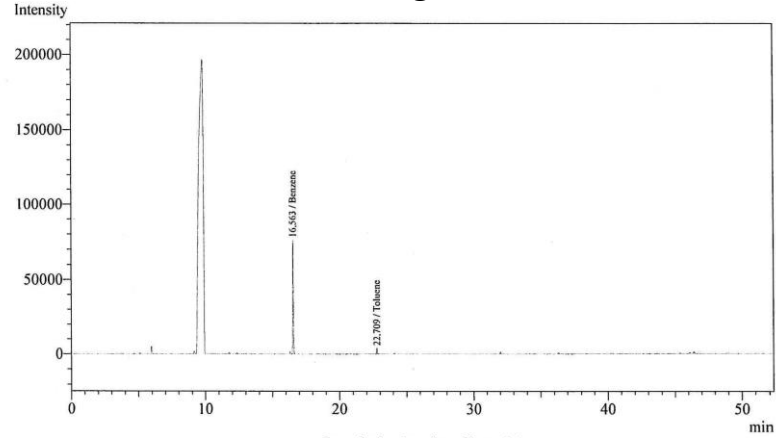
ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,559	232893	127,845	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,415	7933	2,747	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

G4 no'lu örneğin sonucu



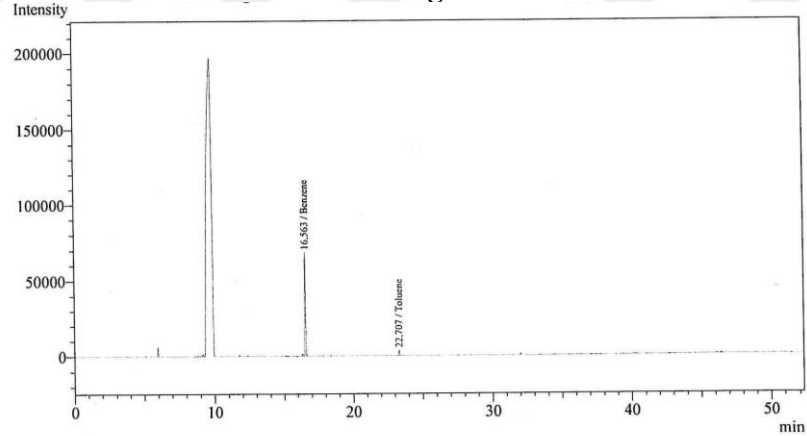
ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,562	264677	145,293	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,708	15564	5,389	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

G5 no'lu örneğin sonucu



ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,563	275238	151,090	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,709	16315	5,649	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

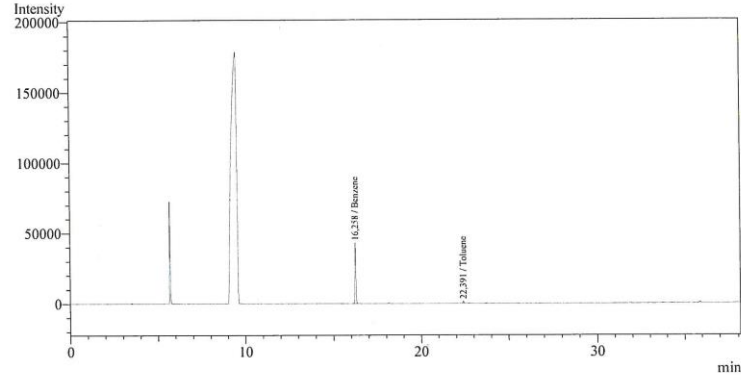
G6 no'lu örneğin sonucu



ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,563	245912	134,992	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,707	15133	5,240	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

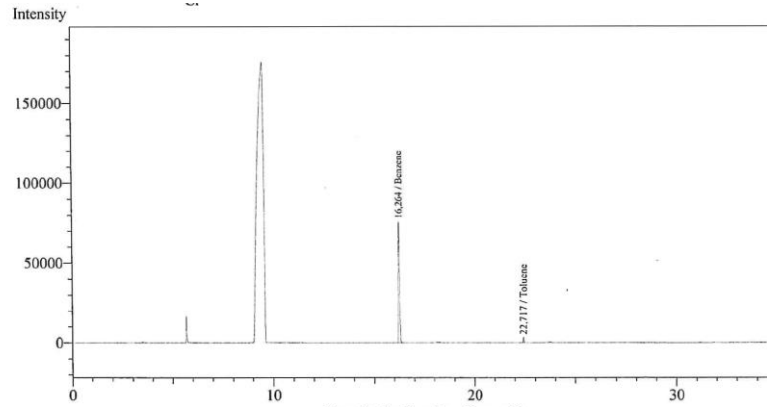
EK-2 GC-FID Analiz Sonuçları (Karanlık Ortam Numuneleri)

K1 no'lu örneğin sonucu



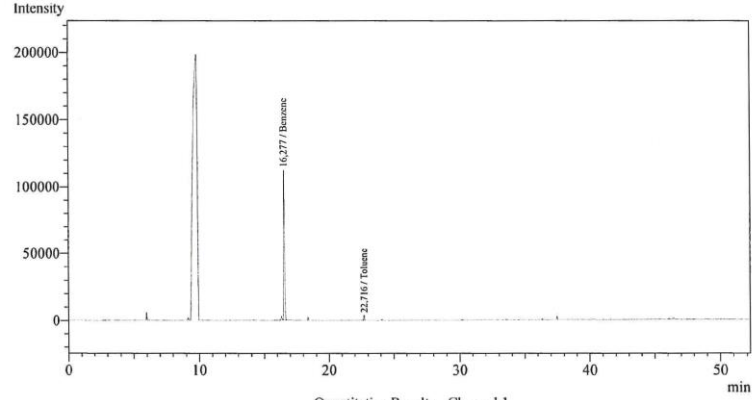
ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,258	159369	87,485	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,384	3766	1,304	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,1,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

K2 no'lu örneğin sonucu



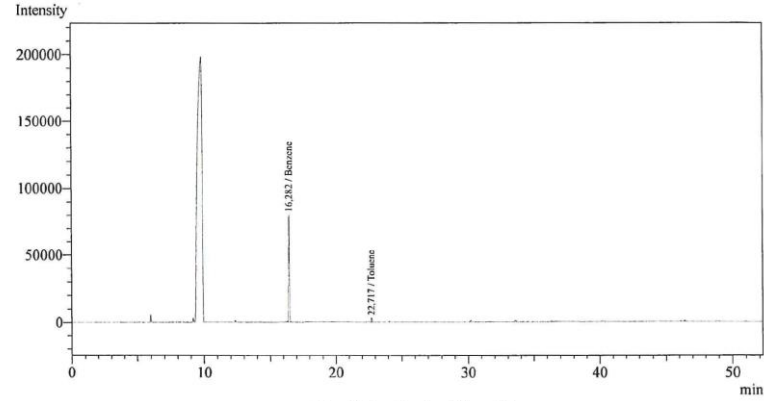
ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,264	281360	154,451	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,391	14171	4,906	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,1,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

K3 no'lu örneğin sonucu



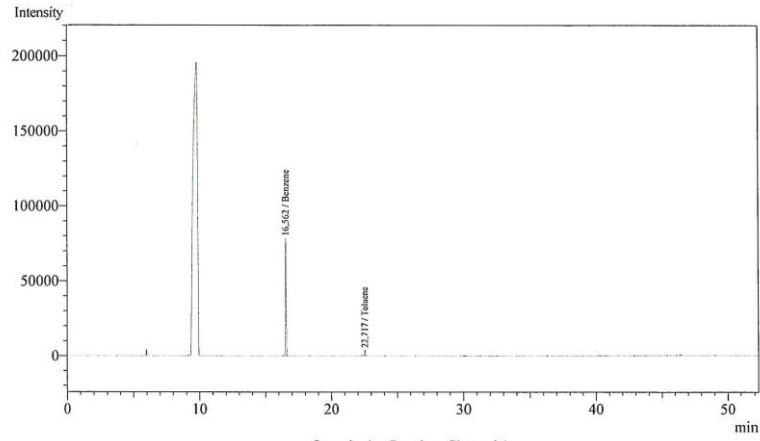
ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,566	280911	126,940	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,716	14195	4,915	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

K4 no'lu örneğin sonucu



ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,567	295421	133,497	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,717	12862	4,453	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

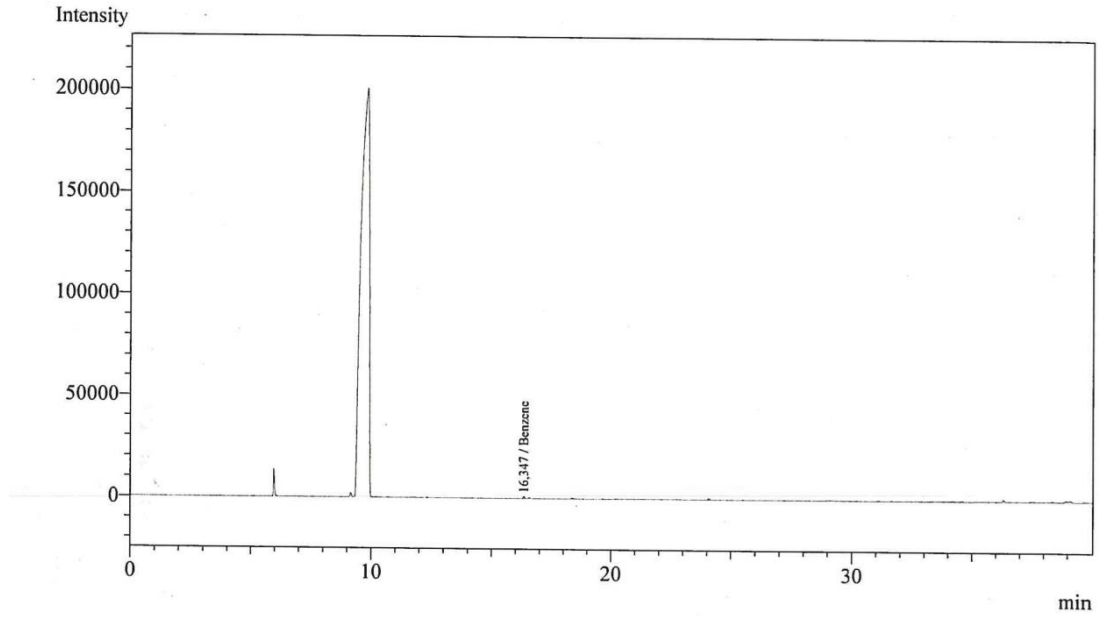
K5 no'lu örneğin sonucu



ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,562	277565	152,369	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,713	16849	5,834	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

EK-3 GC-FID Analiz Sonuçları (Çıkış Numuneleri)

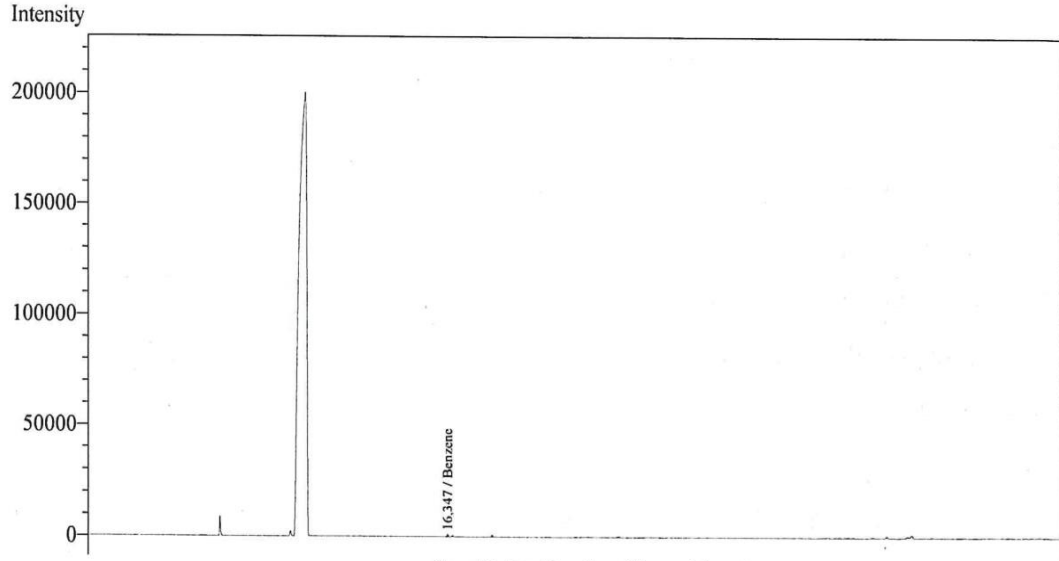
Ç1 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,347	3765	2,067	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	0,000	0	0,000	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

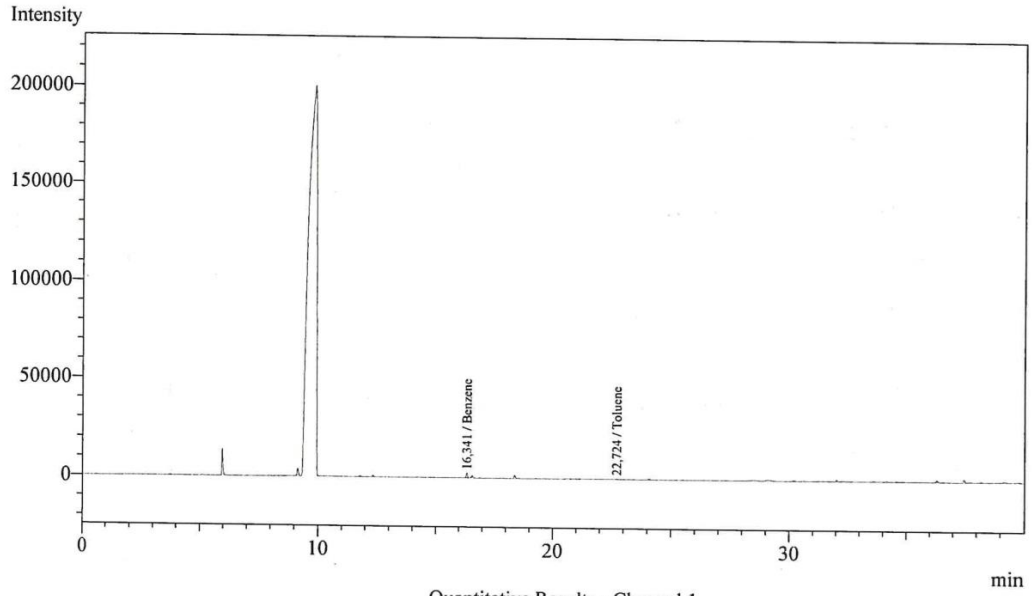
Ç2 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,347	4299	2,360	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	0,000	0	0,000	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

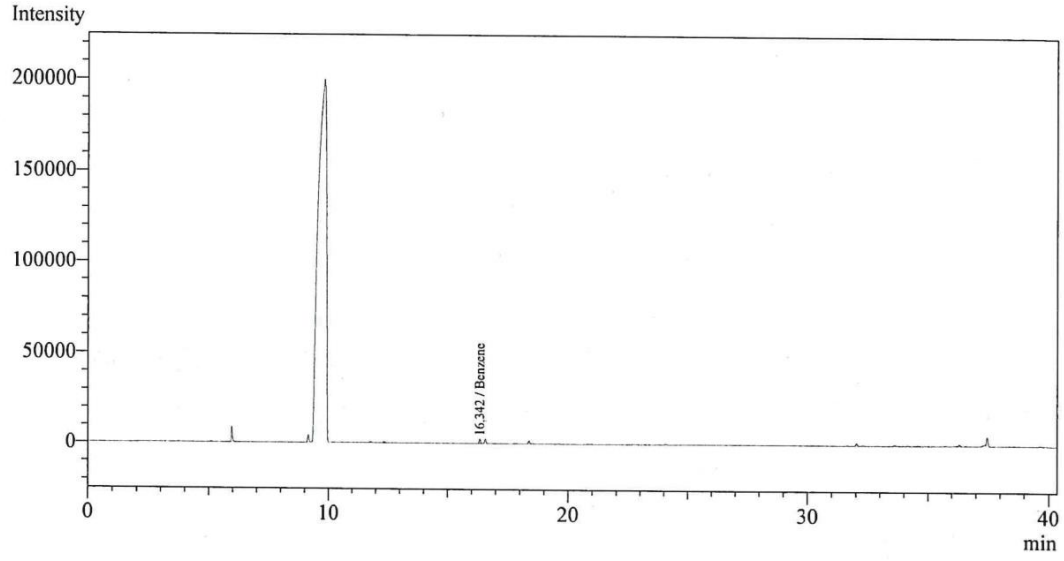
Ç3 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,341	8976	4,927	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,724	1493	0,517	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,1,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

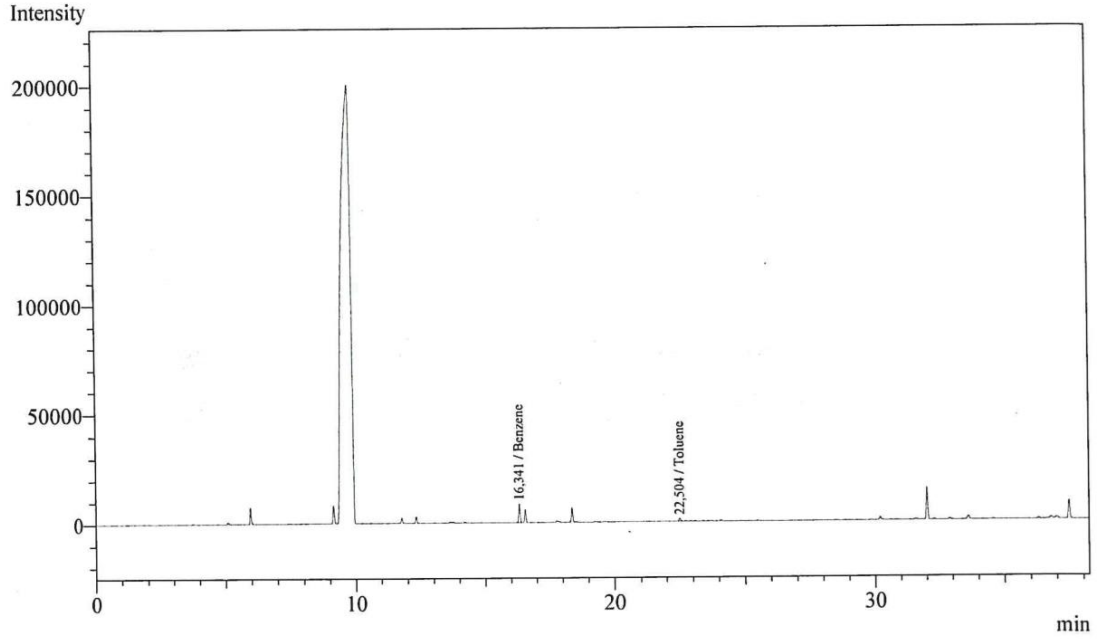
Ç4 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,342	9289	5,099	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	0,000	0	0,000	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

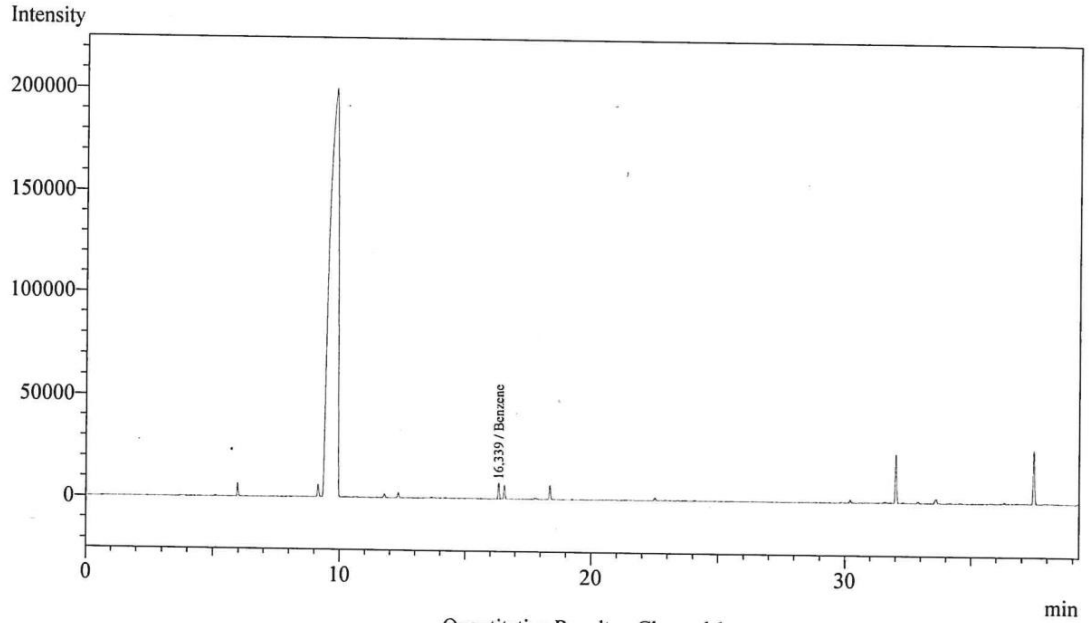
Ç5 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,341	31025	17,031	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,504	6224	2,155	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L

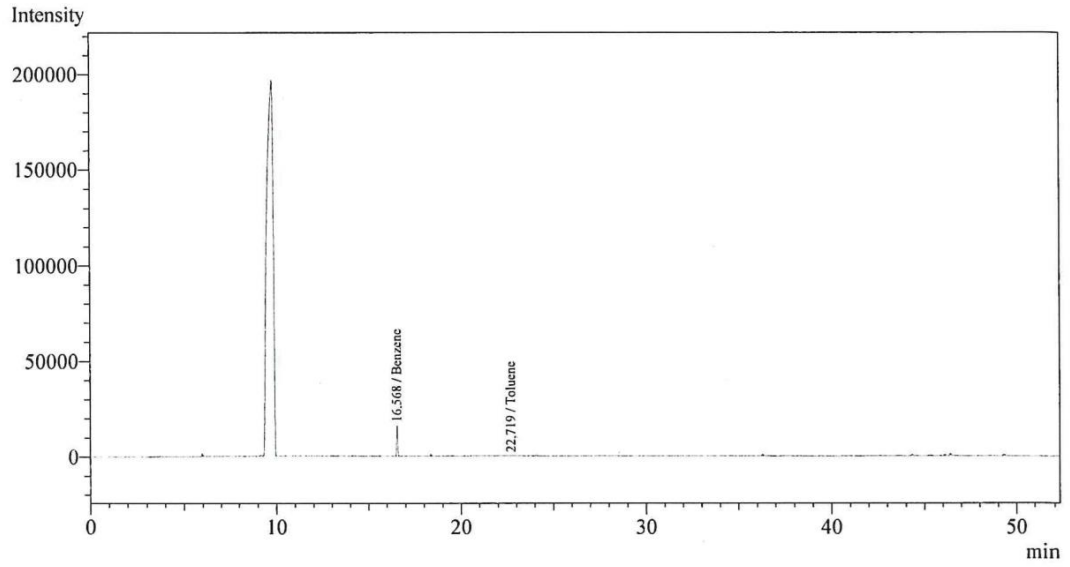
Ç6 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,339	28414	15,598	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	0,000	0	0,000	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

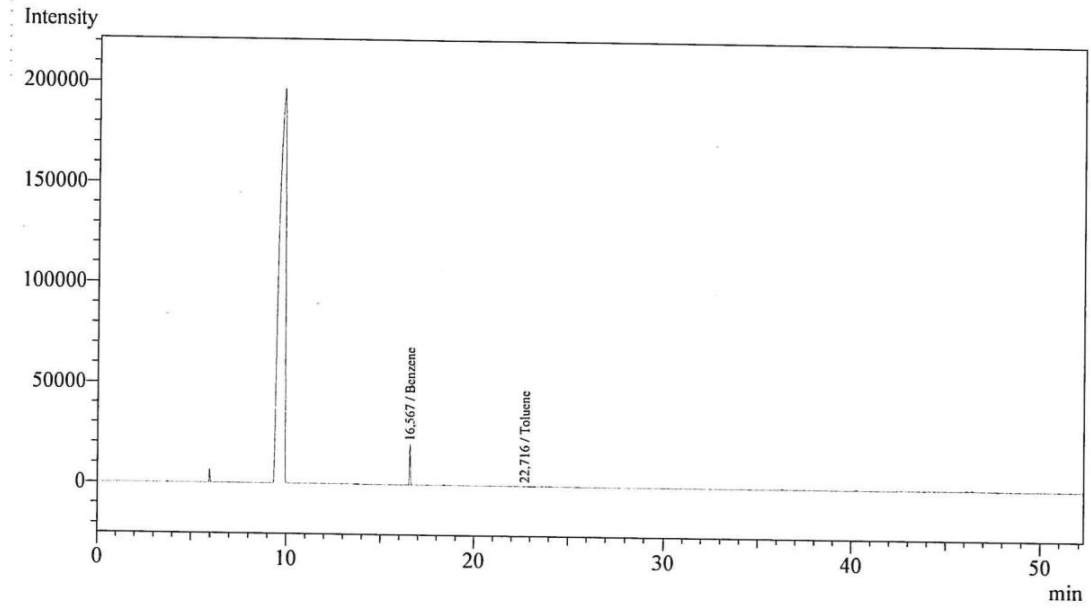
Ç7 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,568	57869	31,767	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,719	541	0,187	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

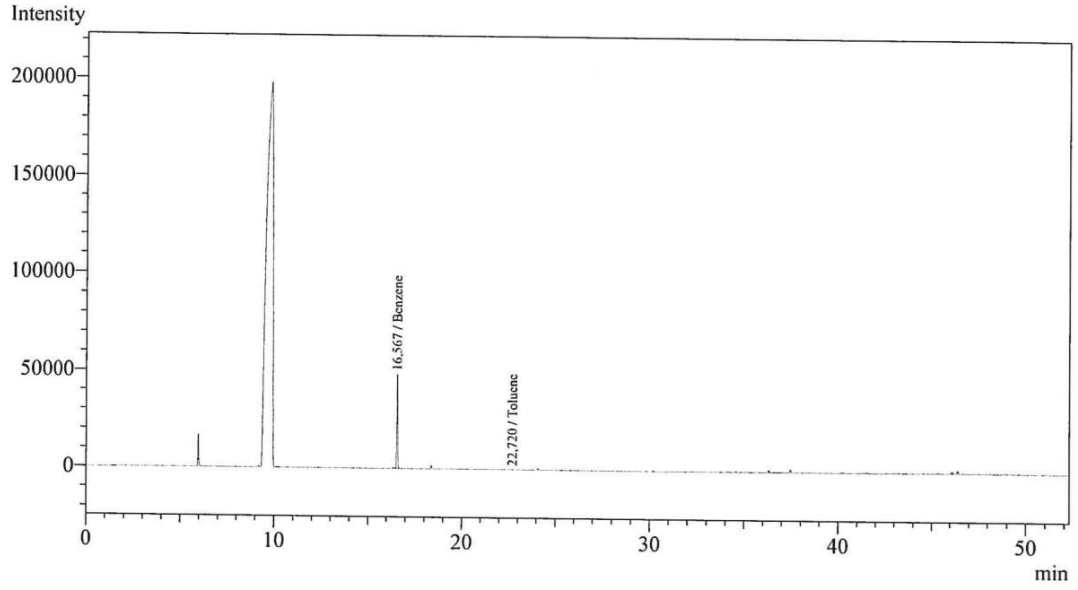
Ç8 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,567	71287	39,132	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,716	473	0,164	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

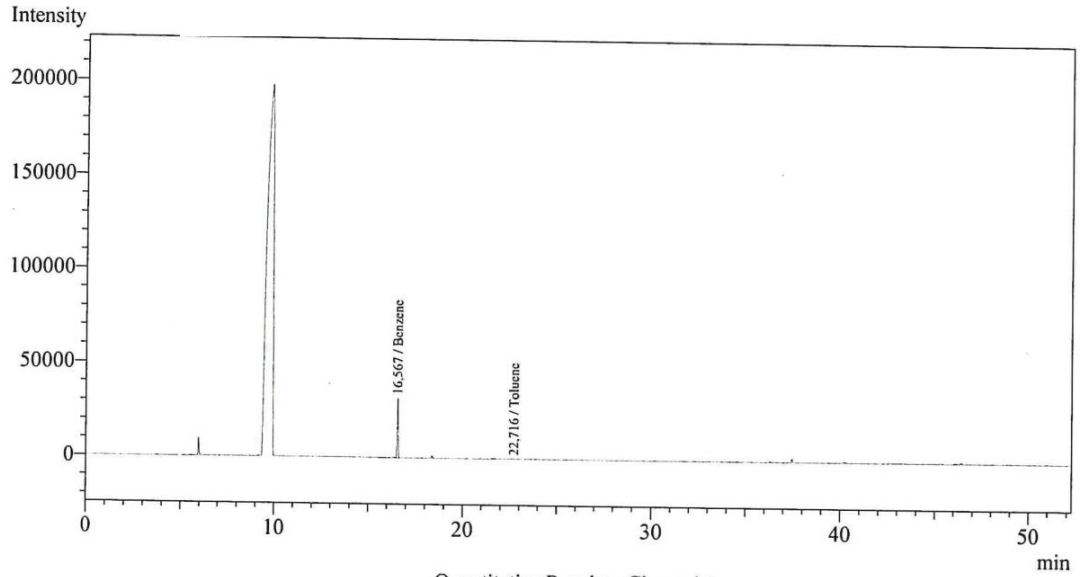
Ç9 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,567	175011	96,071	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,720	455	0,157	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

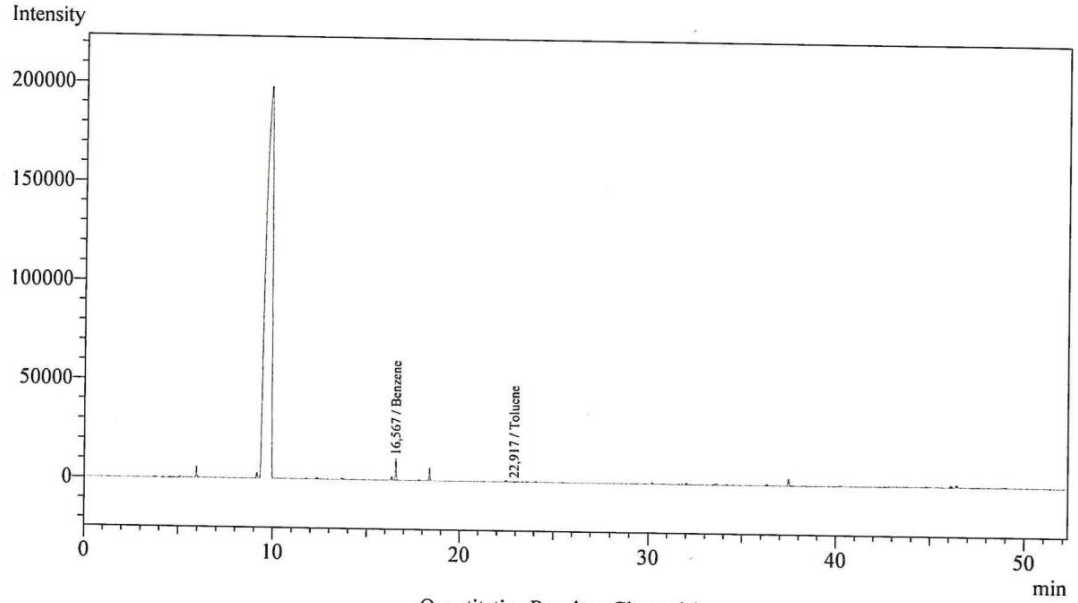
Ç10 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,567	115114	63,191	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,716	599	0,207	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

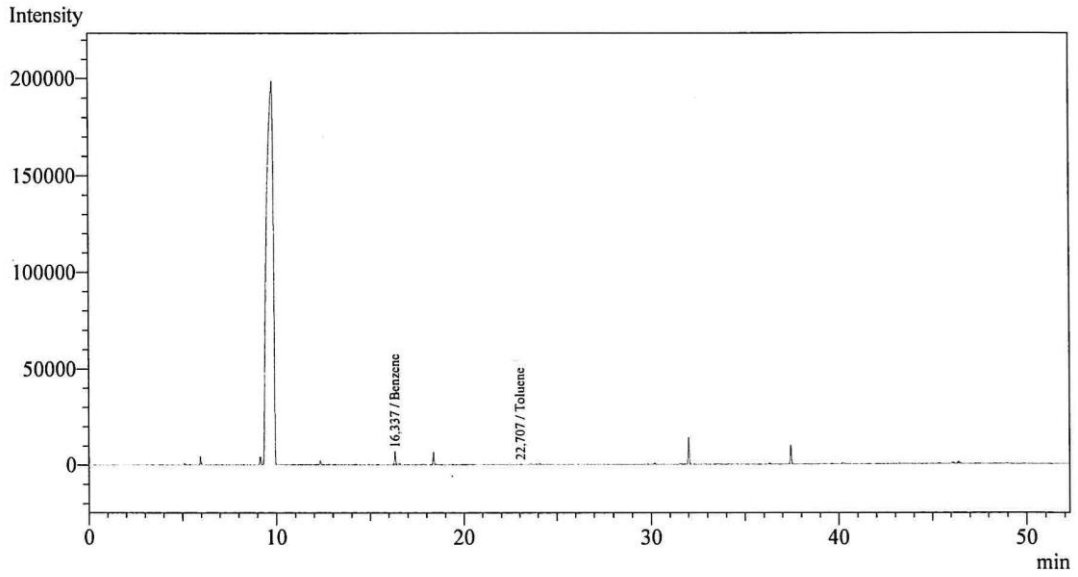
Ç11 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,567	39885	21,894	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,917	1324	0,458	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

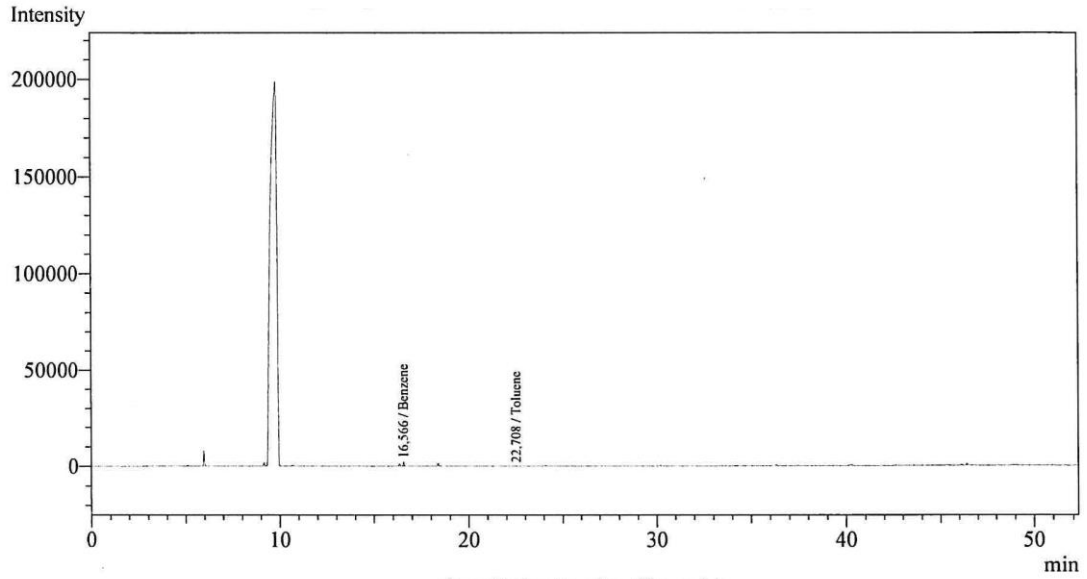
Ç12 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,337	24828	13,629	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,707	1724	0,597	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

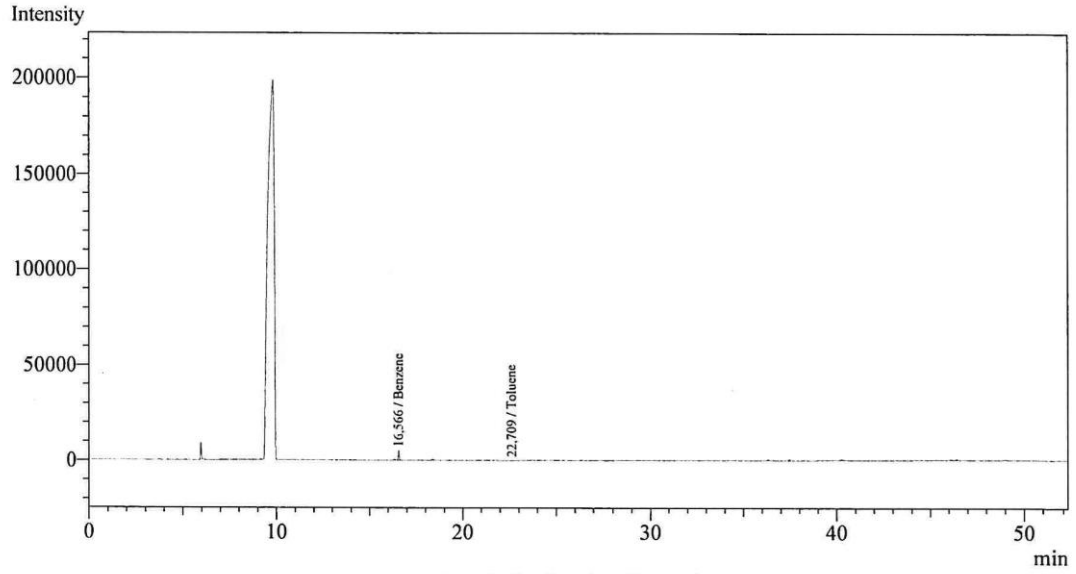
Ç13 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,566	8711	4,782	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,708	527	0,182	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

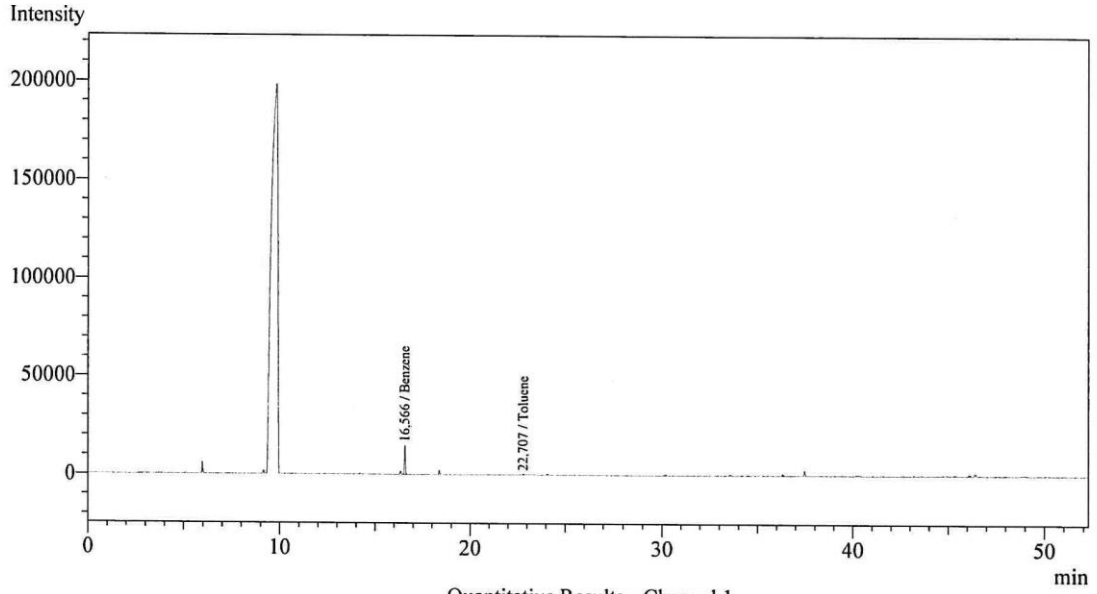
Ç14 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,566	17966	9,862	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,709	576	0,200	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

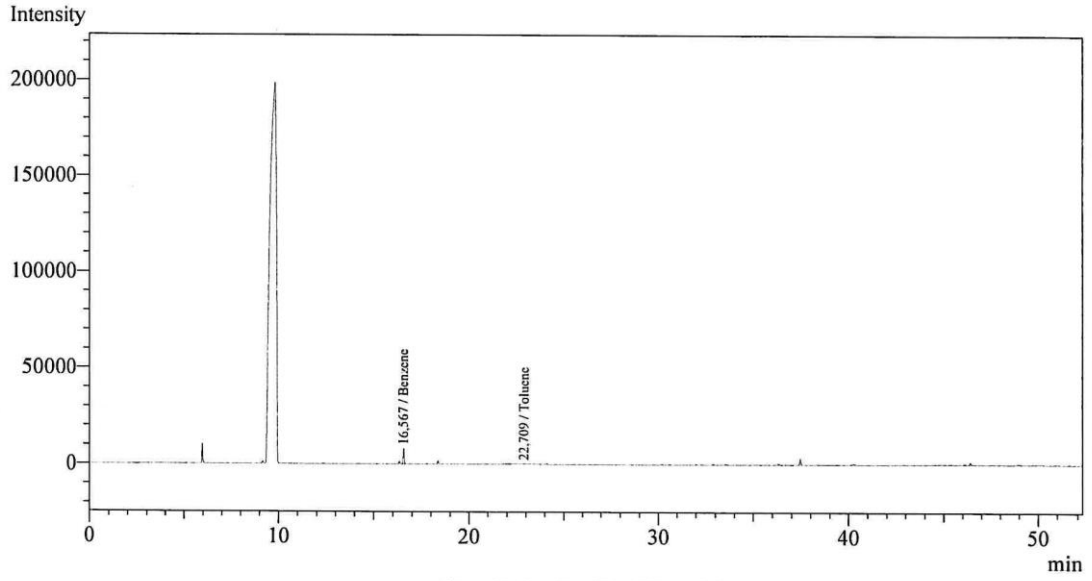
Ç15 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,566	53339	29,280	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,707	871	0,302	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,1,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

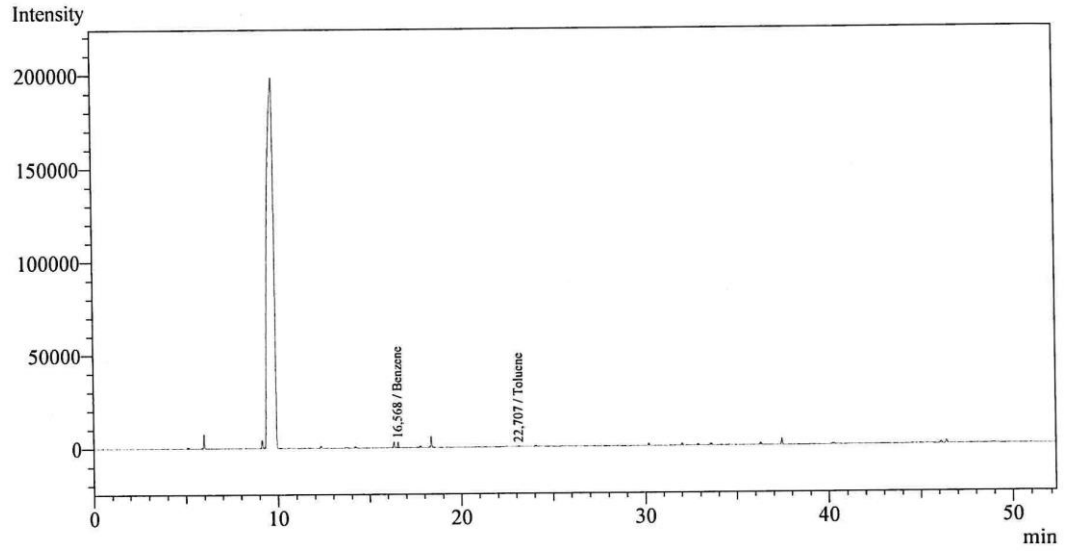
Ç16 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,567	28686	15,747	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,709	848	0,294	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

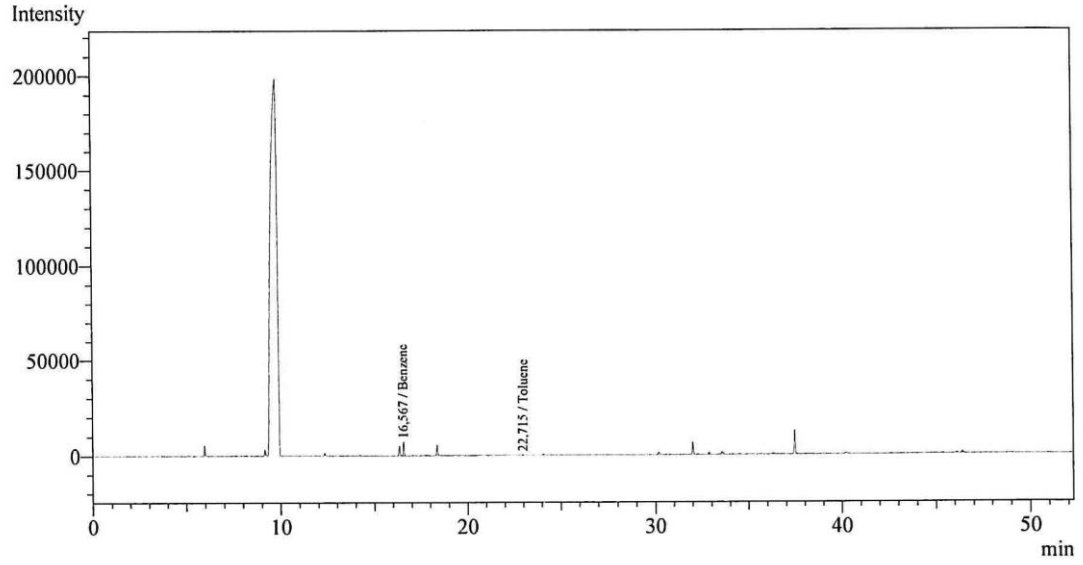
Ç17 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,568	10728	5,889	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,707	868	0,301	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

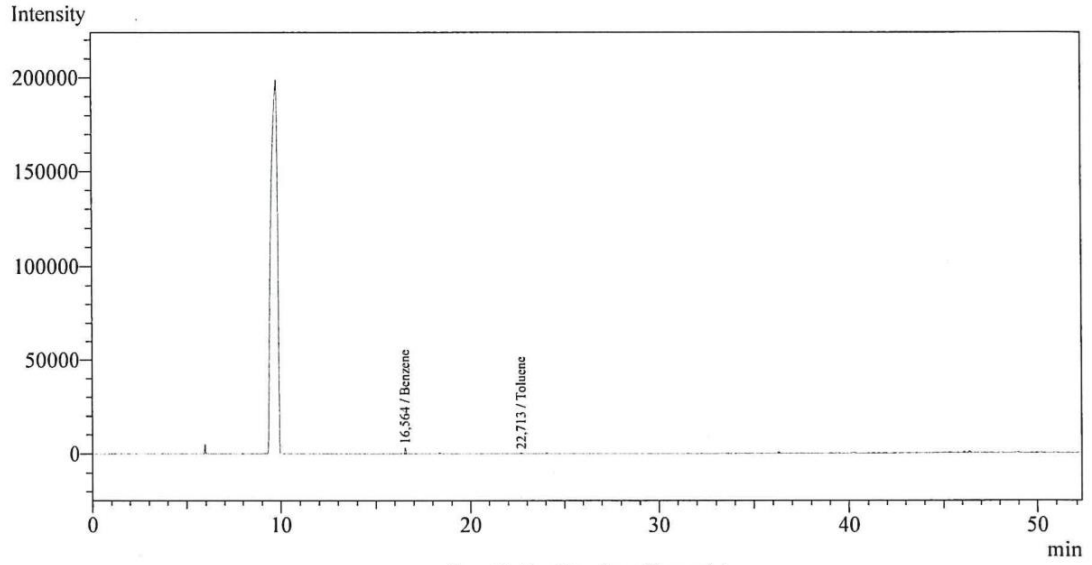
Ç18 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,567	25588	14,046	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,715	1001	0,347	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

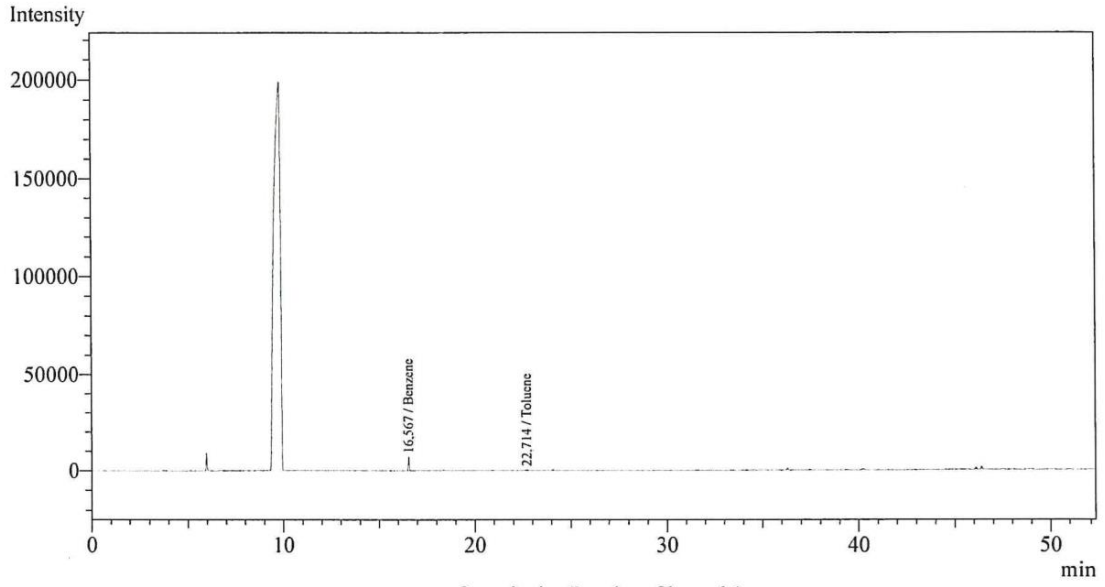
Ç19 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,564	11615	6,376	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,713	1241	0,430	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,1,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

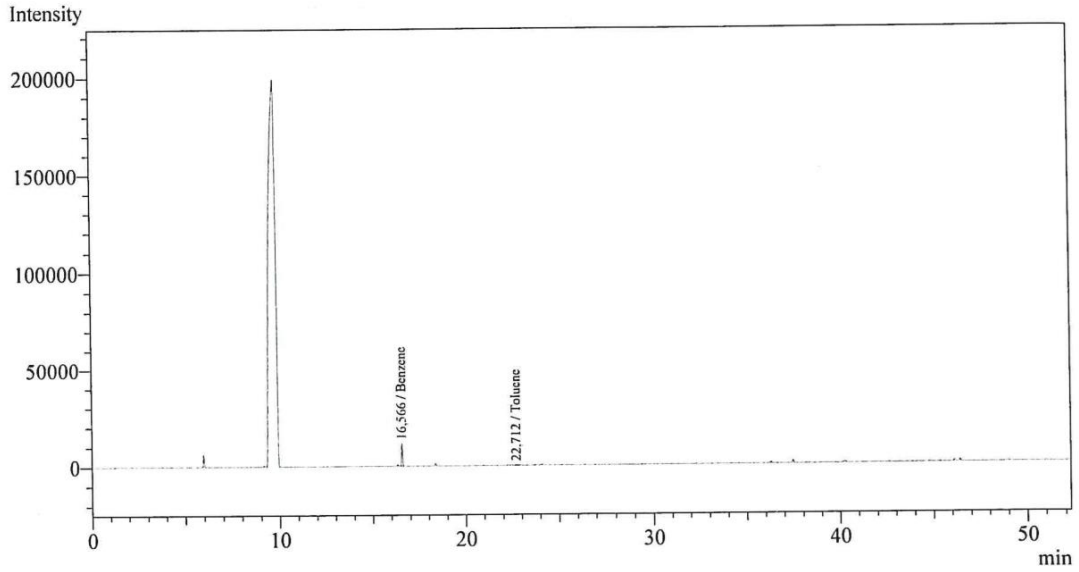
Ç20 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,567	25687	14,101	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,714	985	0,341	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

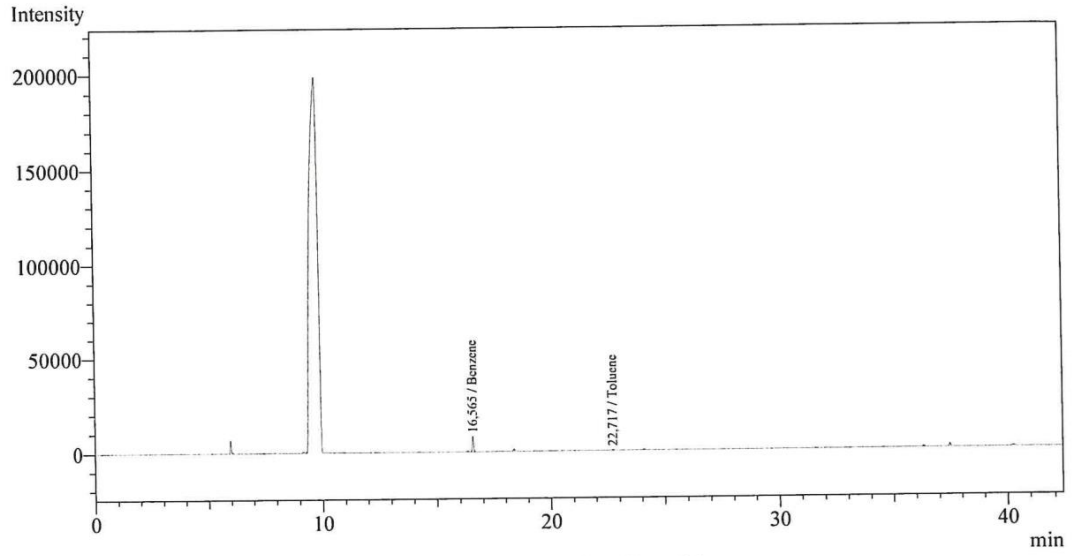
Ç21 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,566	41955	23,031	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,712	835	0,289	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

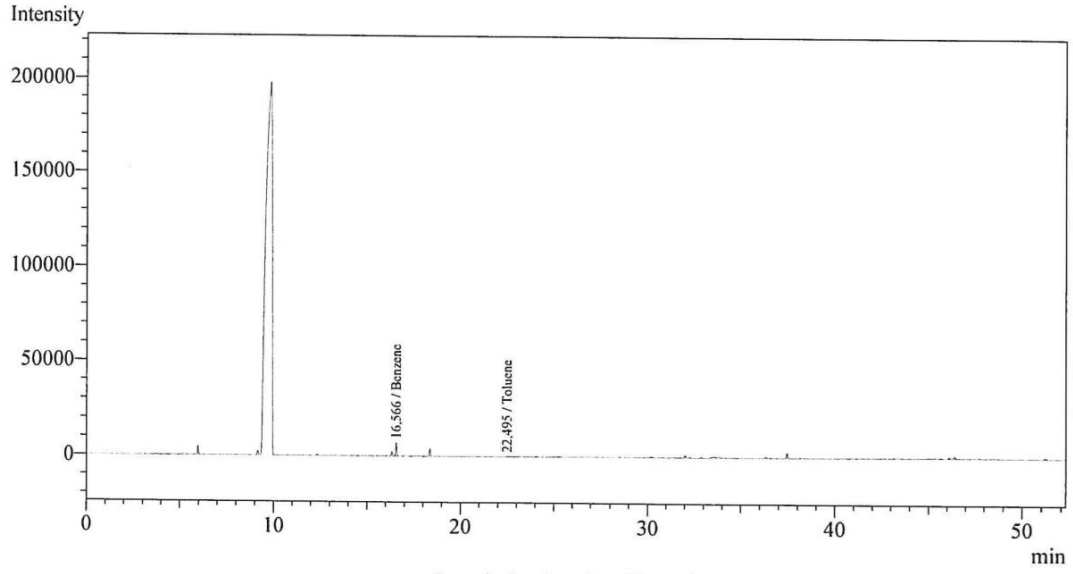
Ç22 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,565	29289	16,078	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,717	994	0,344	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

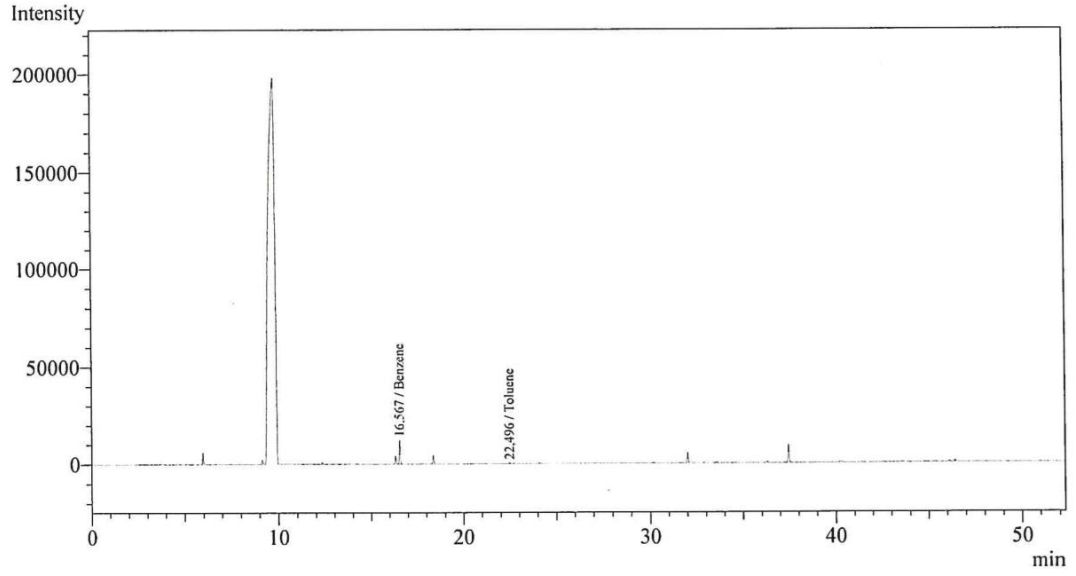
Ç23 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,566	26120	14,338	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,495	1320	0,457	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

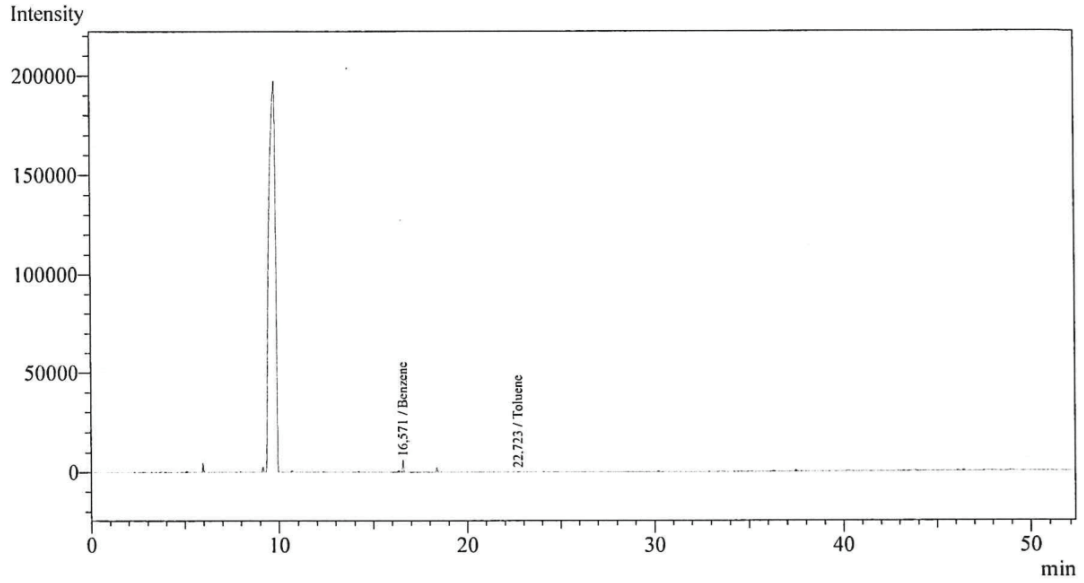
Ç24 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,567	44029	24,169	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,496	1290	0,447	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

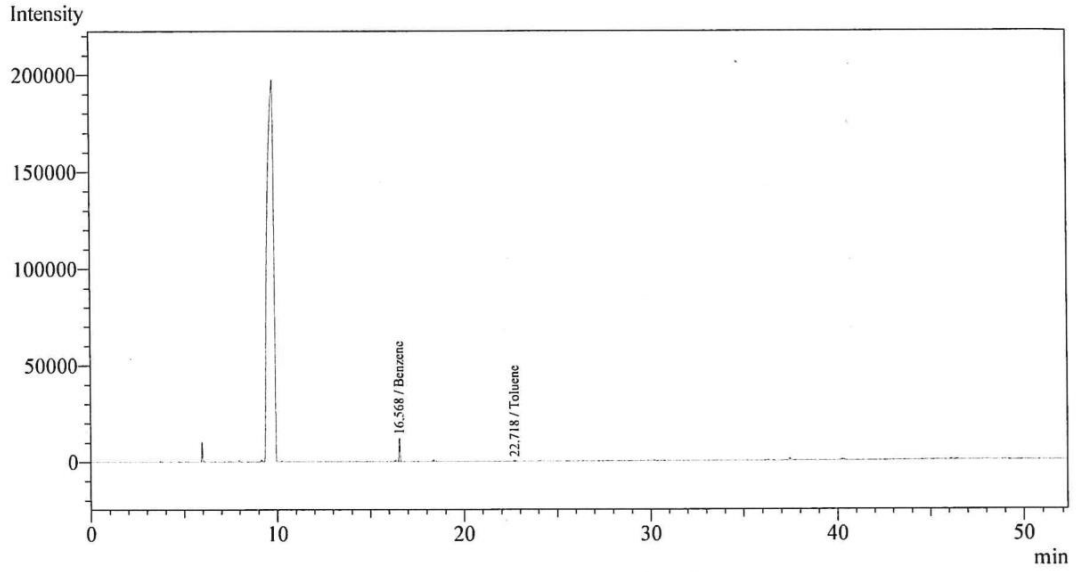
Ç25 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,571	21999	12,076	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,723	1129	0,391	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

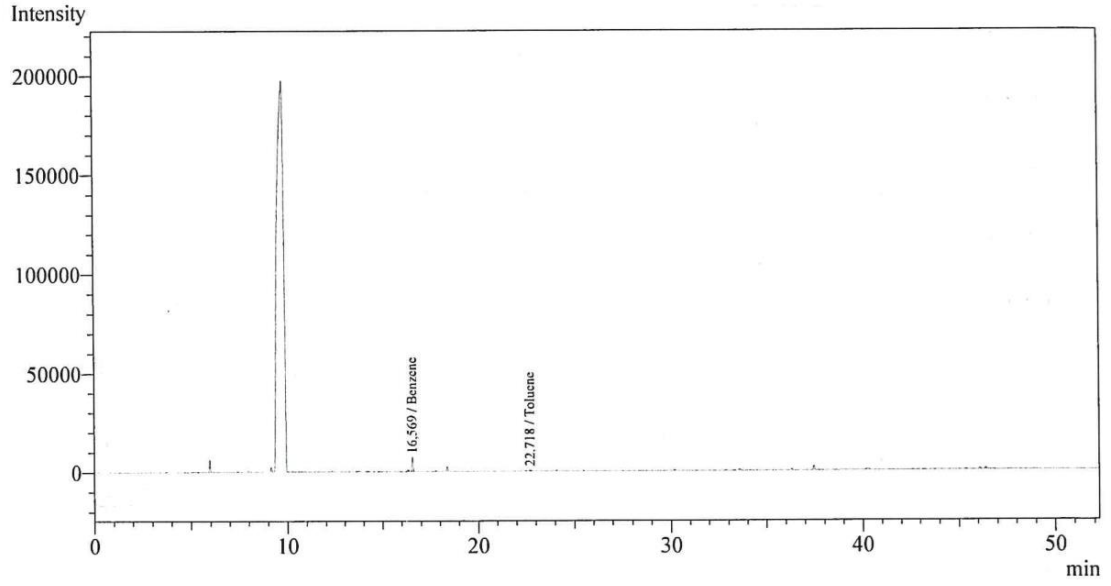
Ç26 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,568	43794	24,040	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,718	1656	0,574	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

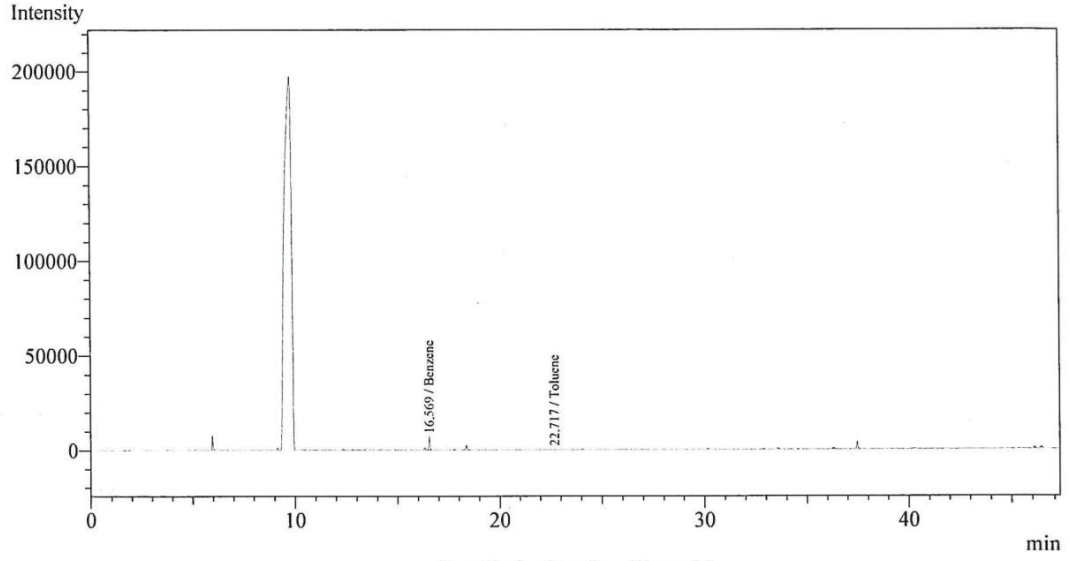
Ç27 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,569	26314	14,445	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,718	2061	0,714	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

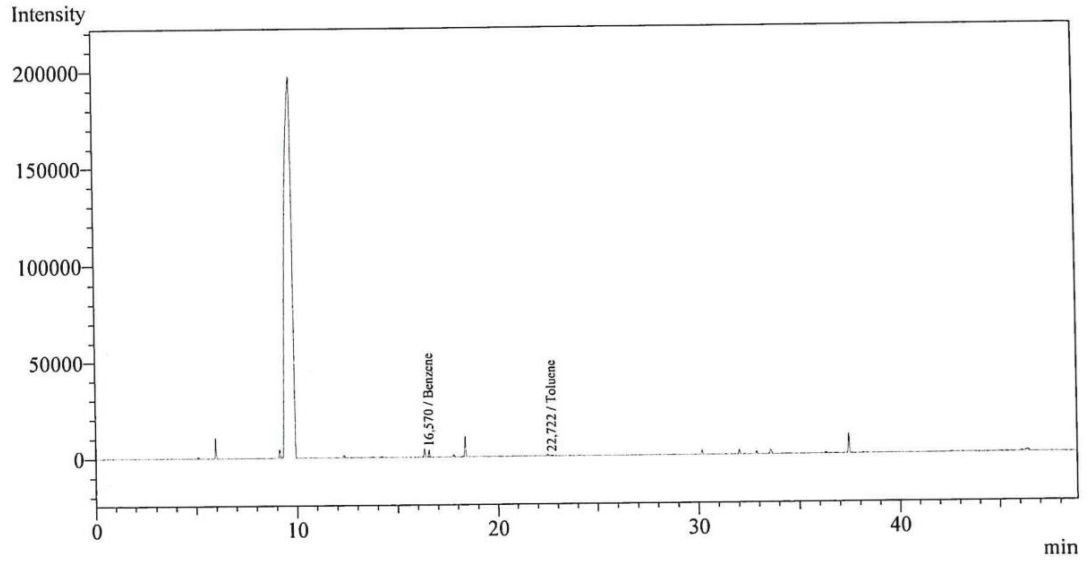
Ç28 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,569	24560	13,482	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,717	779	0,270	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

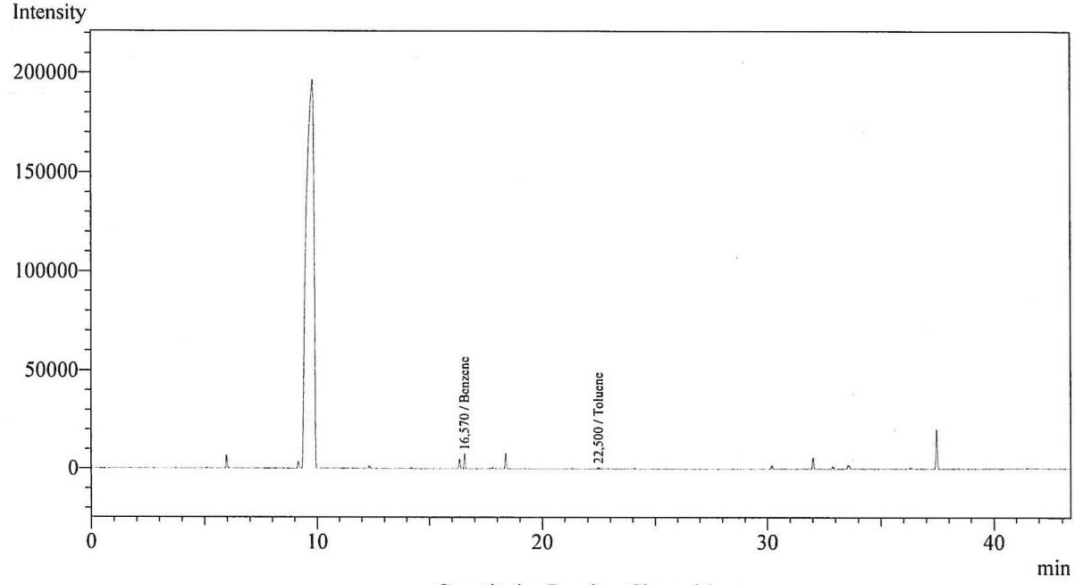
Ç29 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,570	12604	6,919	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,722	1007	0,349	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

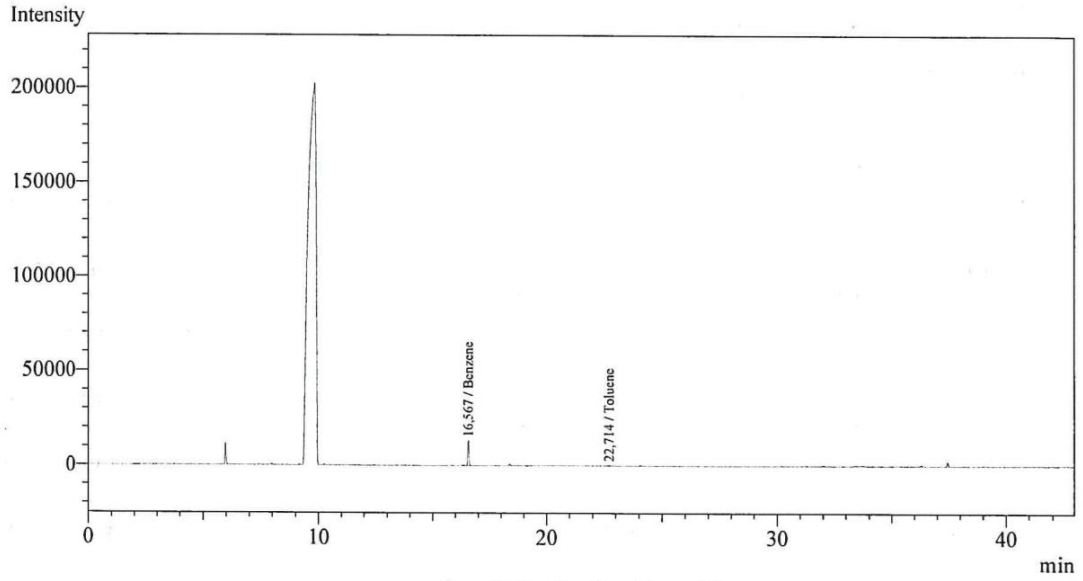
Ç30 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,570	27522	15,108	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,500	3313	1,147	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

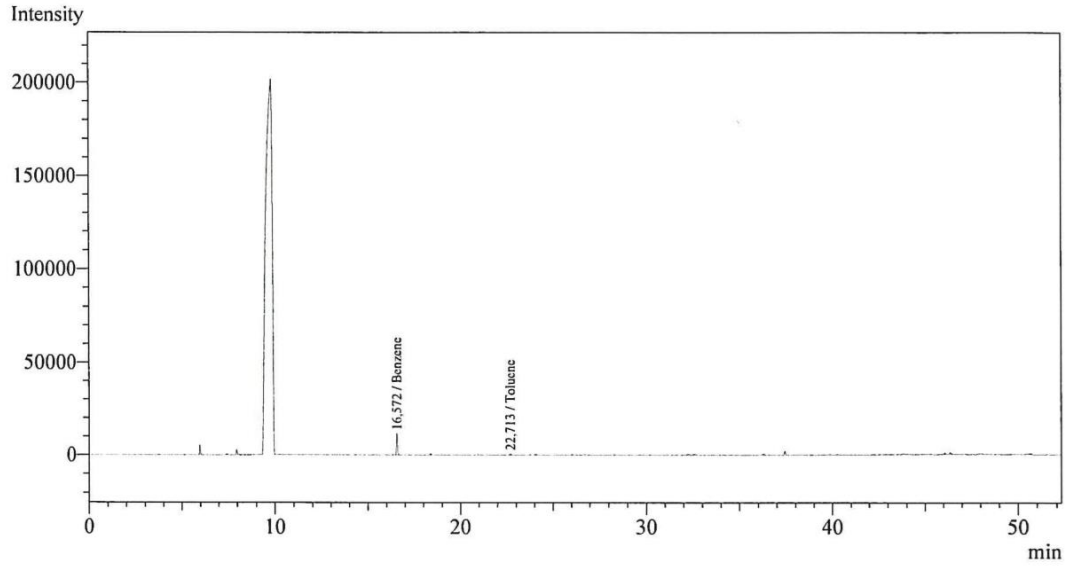
Ç31 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,567	47305	25,968	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,714	1867	0,647	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

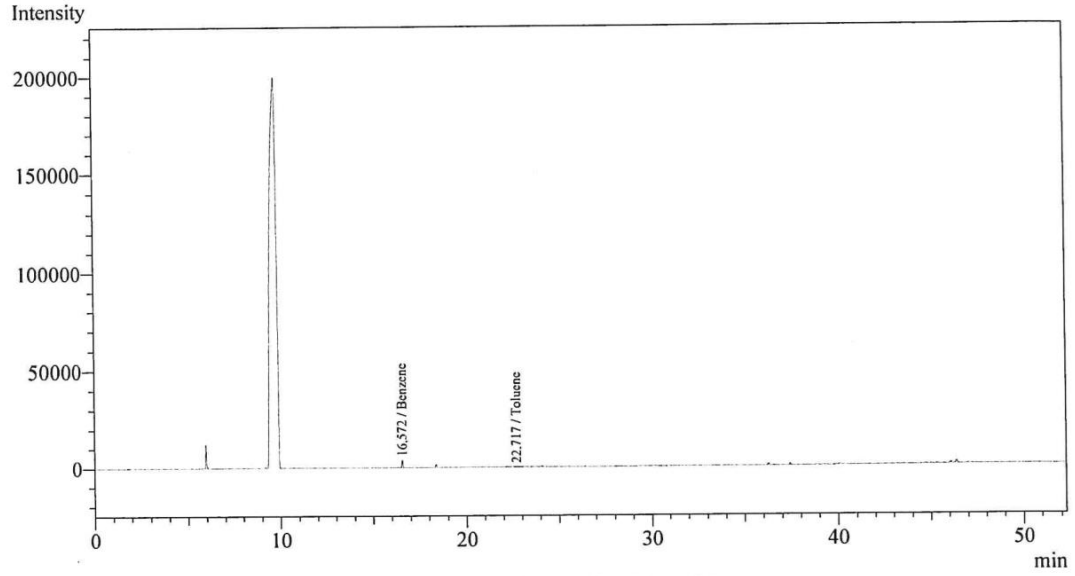
Ç32 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,572	41331	22,688	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,713	1852	0,641	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

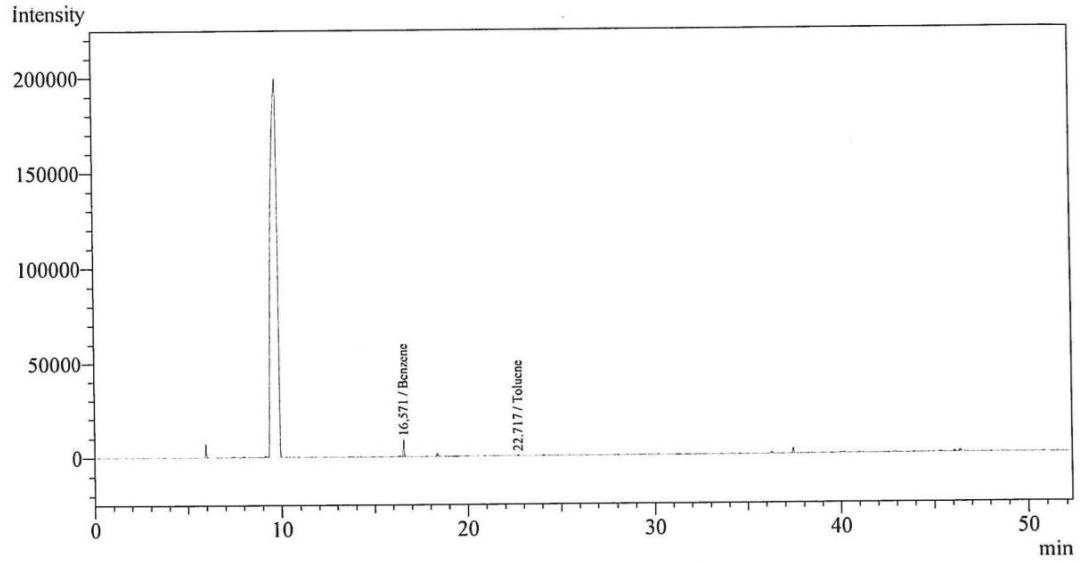
Ç33 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,572	14799	8,124	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,717	807	0,279	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

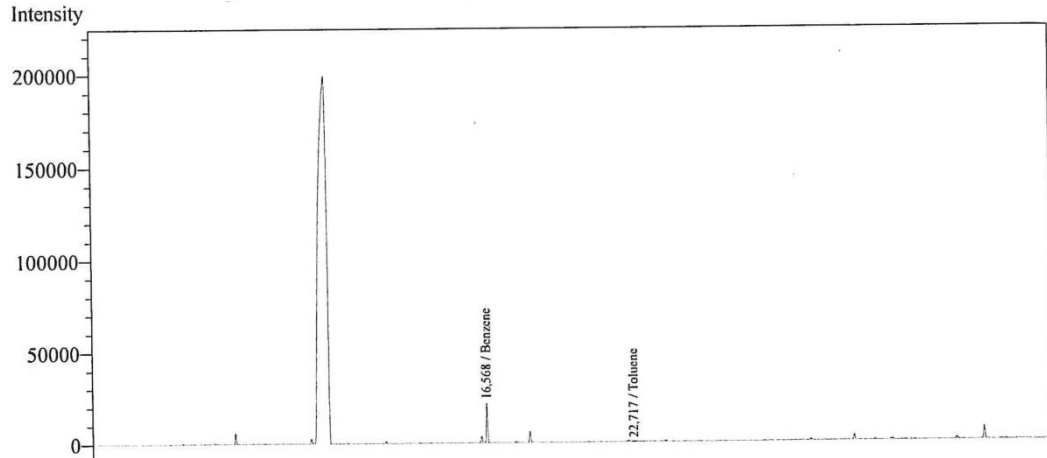
Ç34 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,571	31910	17,517	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,717	1656	0,573	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

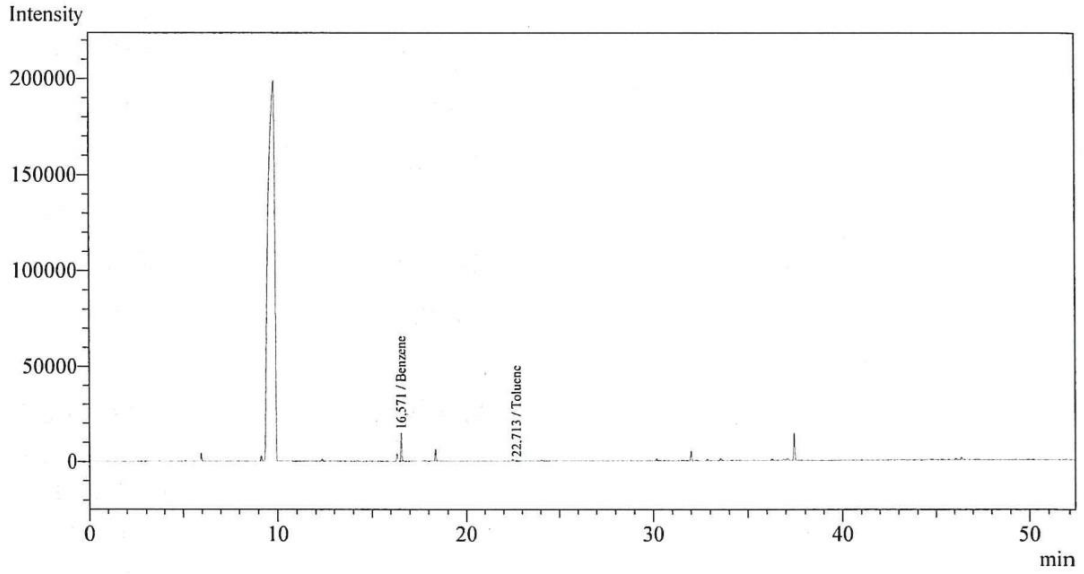
Ç35 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,568	78244	42,952	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,717	955	0,331	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

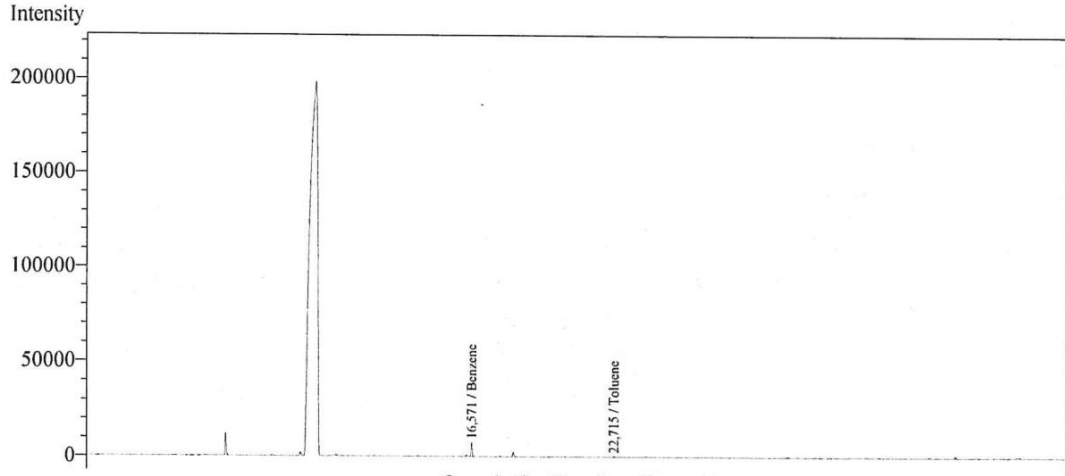
Ç36 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,571	51305	28,164	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,713	1103	0,382	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

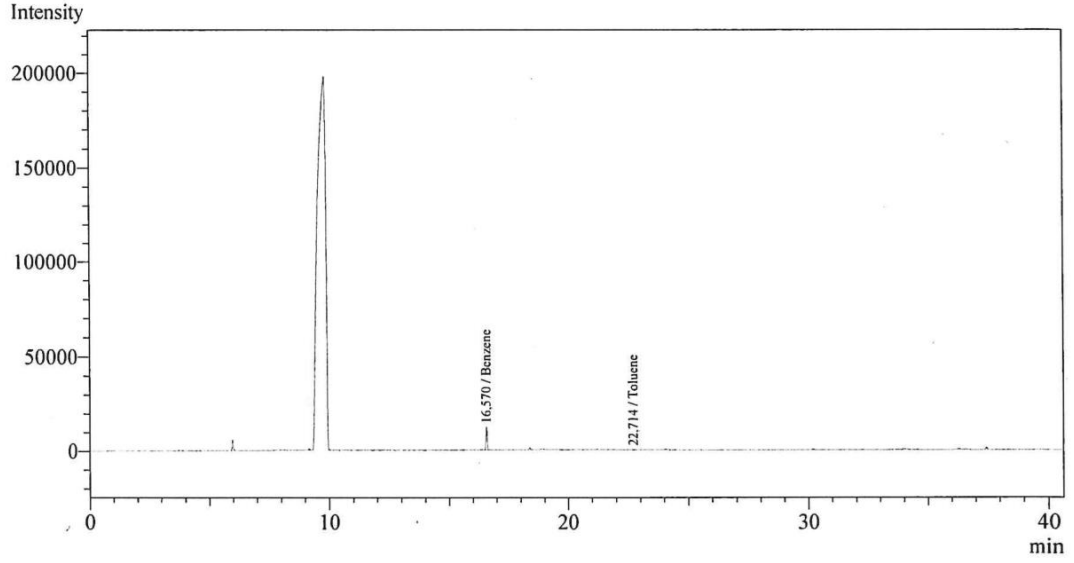
Ç37 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,571	26950	14,794	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,715	829	0,287	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

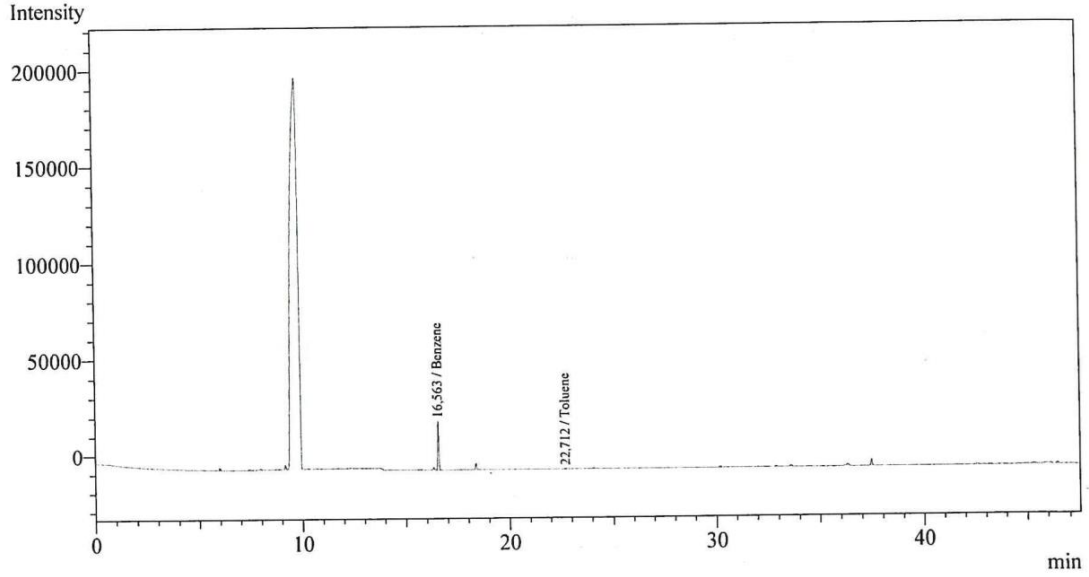
Ç38 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,570	44059	24,186	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,714	1052	0,364	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

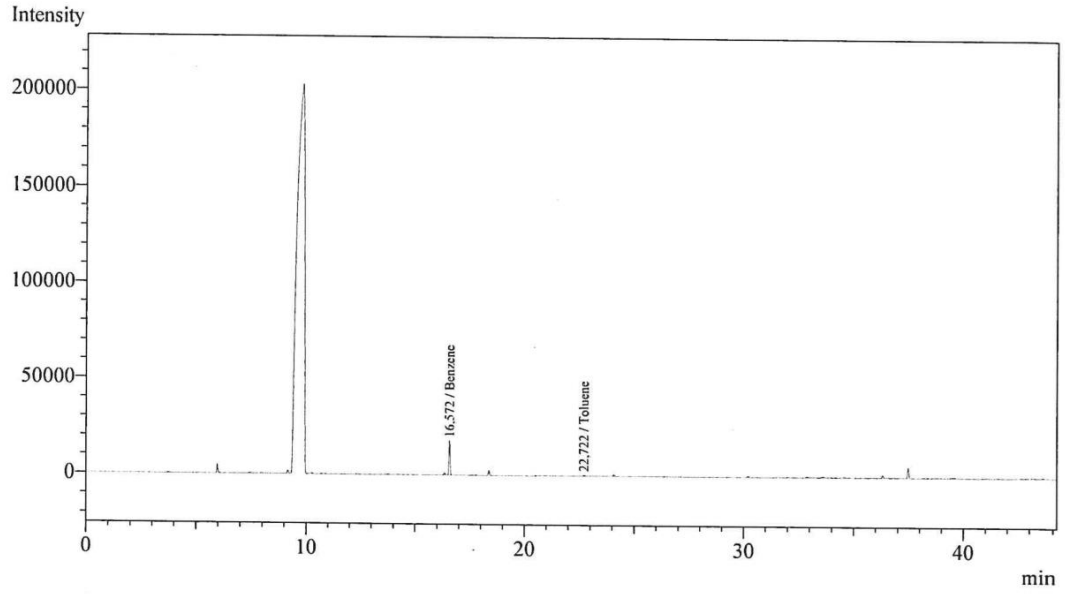
Ç39 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,563	91874	50,434	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,712	1486	0,514	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,1,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

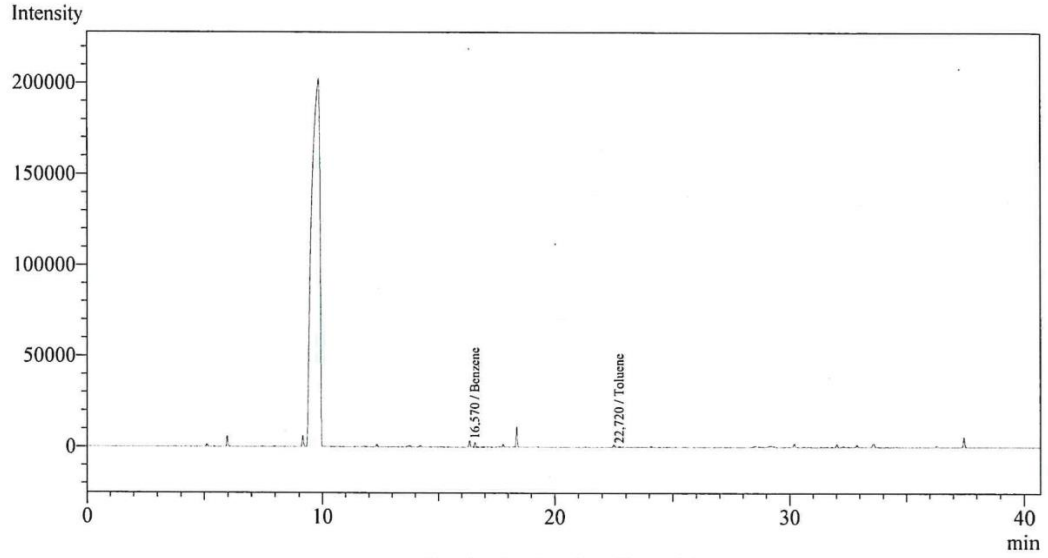
Ç40 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,572	64481	35,397	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,722	2154	0,746	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

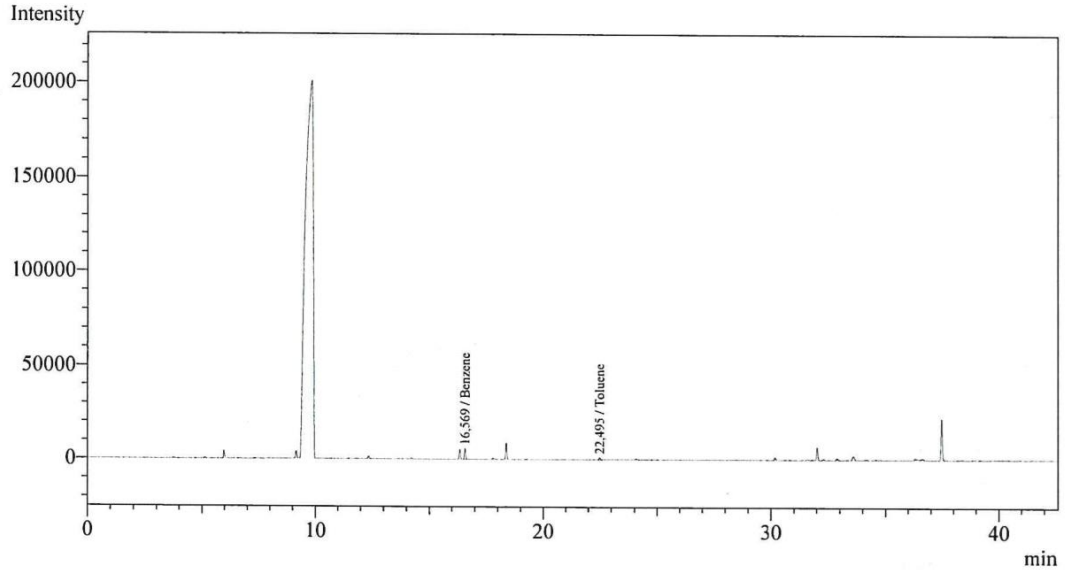
Ç41 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,570	9297	5,104	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,720	1737	0,601	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

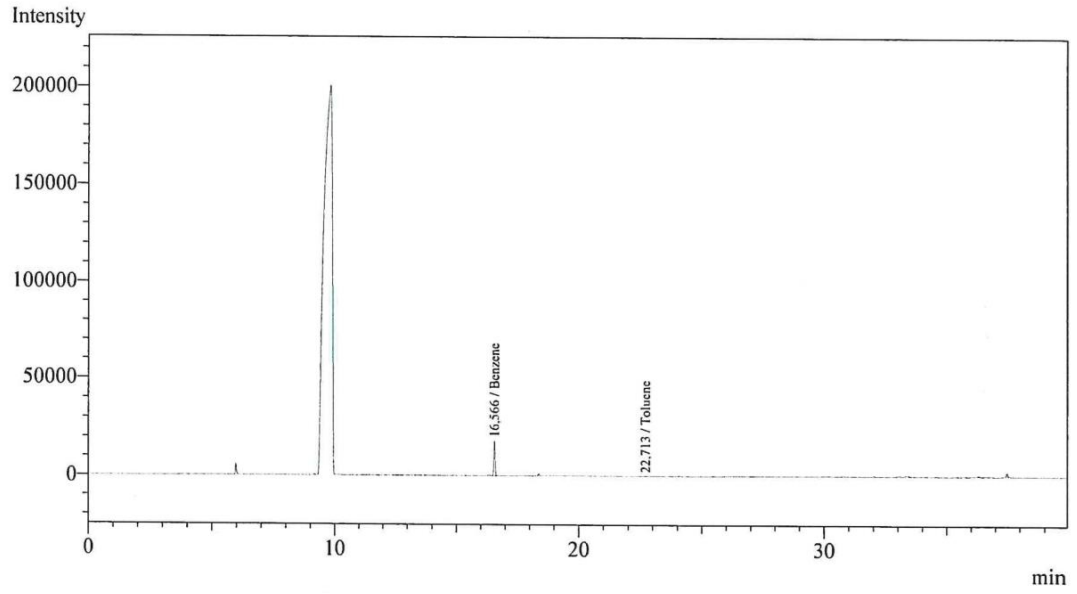
Ç42 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,569	20499	11,253	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,495	4583	1,587	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

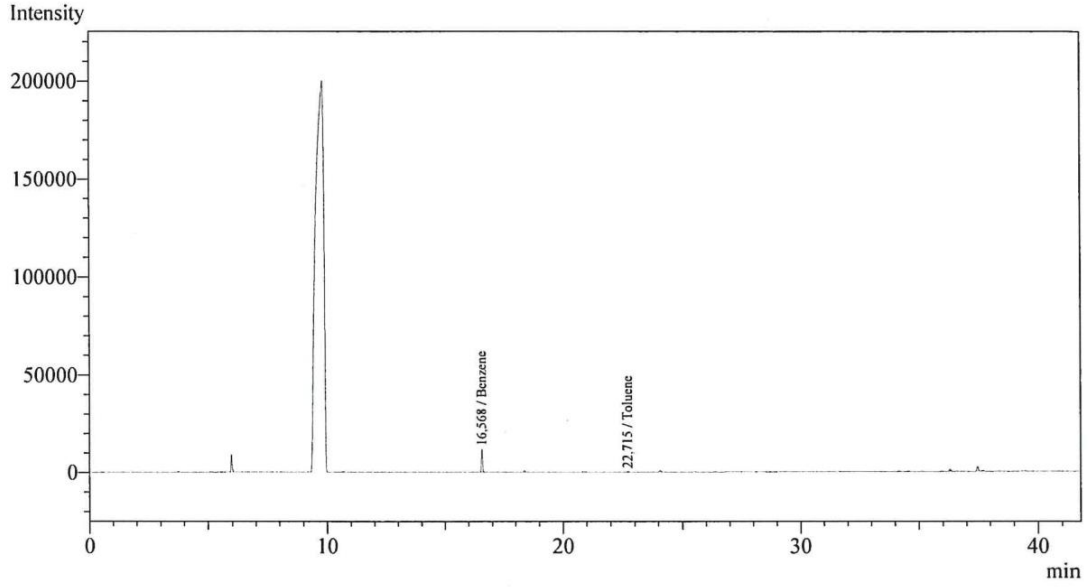
Ç43 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,566	64637	35,482	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,713	410	0,142	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

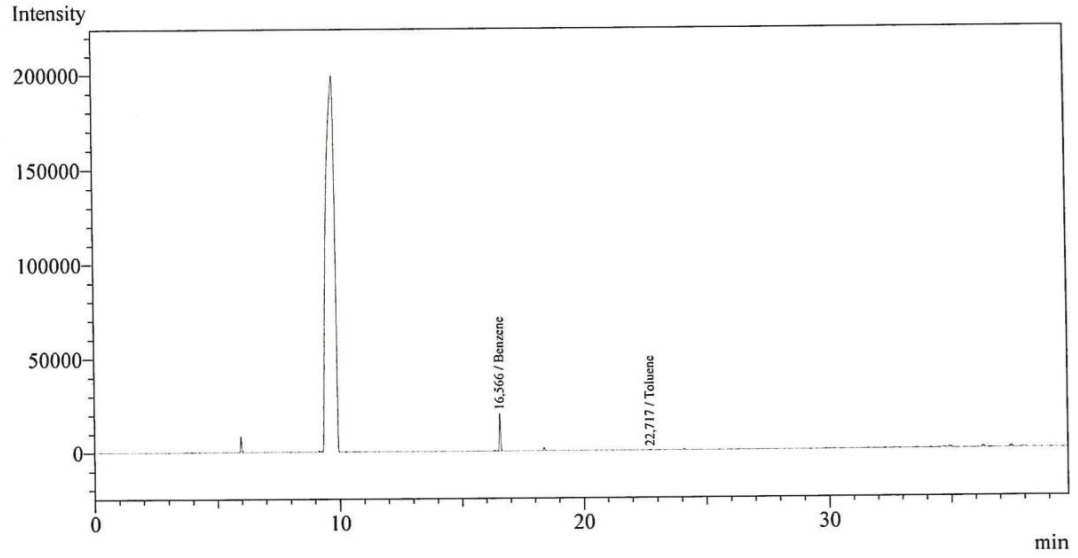
Ç44 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,568	41759	22,923	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,715	479	0,166	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

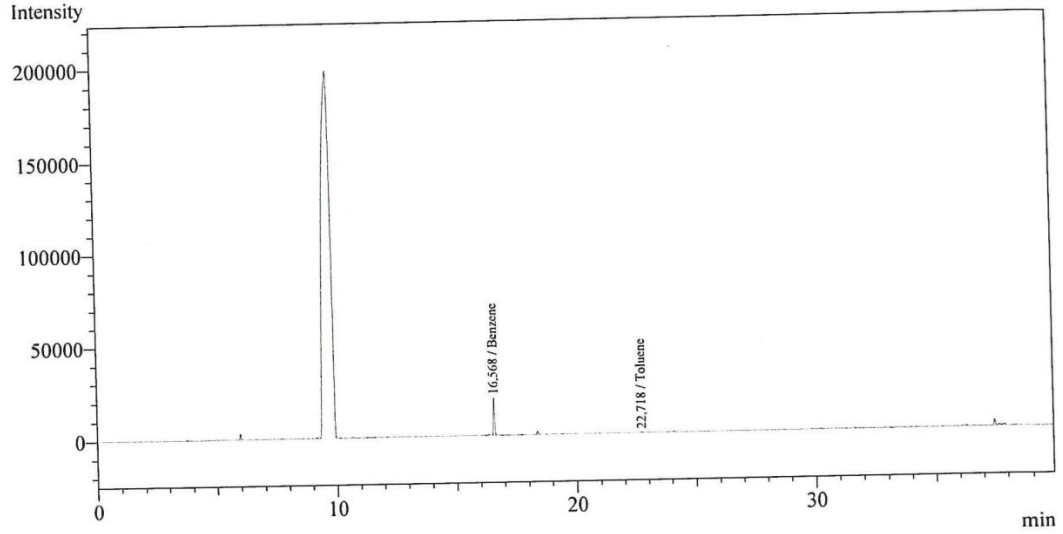
Ç45 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,566	71889	39,463	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,717	709	0,246	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

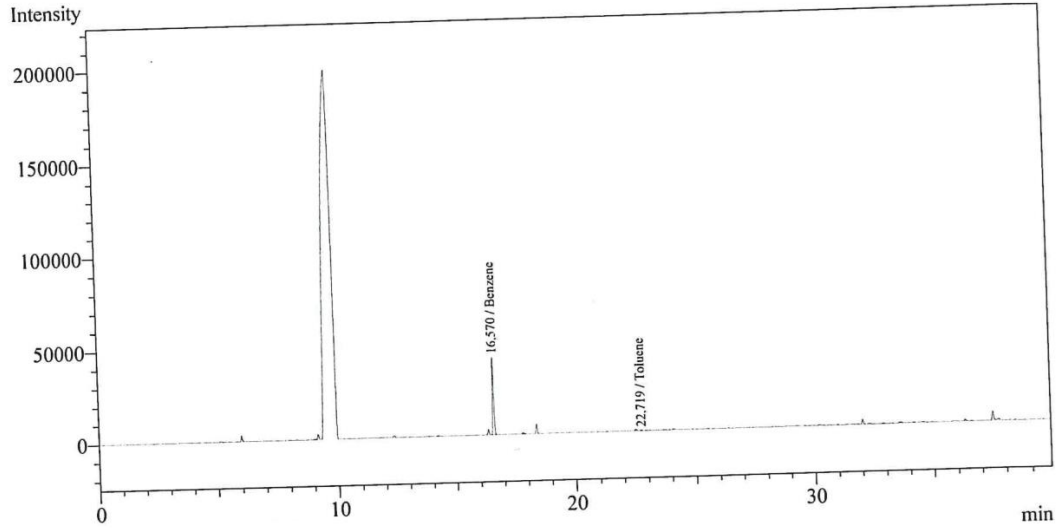
Ç46 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,568	71941	39,491	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,718	714	0,247	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

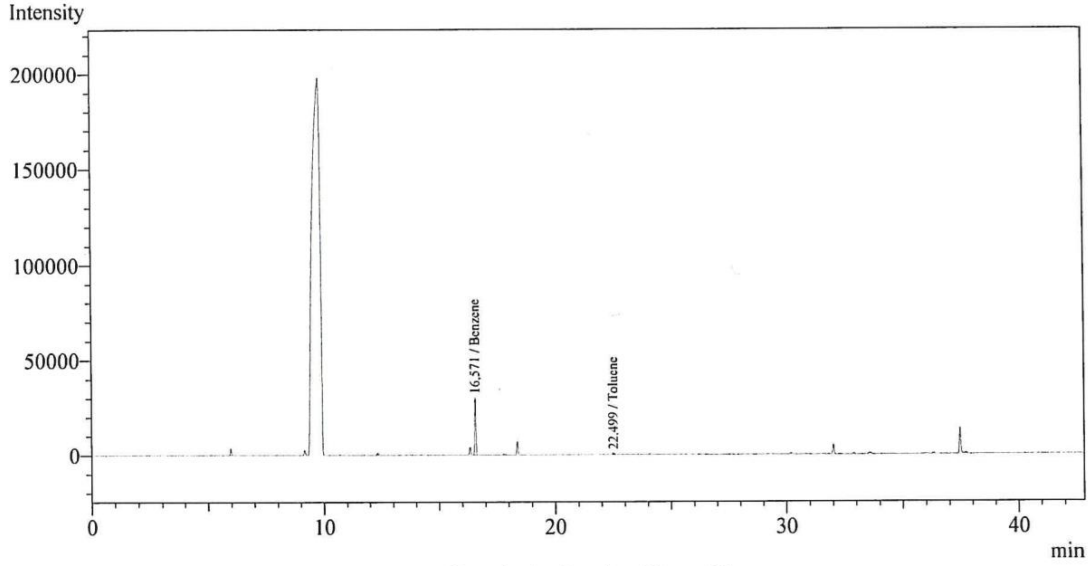
Ç47 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret. Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,570	149977	82,329	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,719	1142	0,396	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L

Ç48 no'lu örneğin sonucu



Quantitative Results - Channel 1

ID#	Name	Ret.Time	Area	Conc.	Units
1	1,1-Dichloroethene	0,000	0	0,000	mg/L
2	1,1-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
3	Chloroform (Trichloromethane)	0,000	0	0,000	mg/L
4	1,1,1-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
5	Benzene	16,571	109059	59,867	mg/L
6	1,2-Dichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
7	1,2-Dichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
8	Bromodichloromethane	0,000	0	0,000	mg/L
9	Toluene	22,499	4026	1,394	mg/L
10	1,1,2-Trichloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
11	Chlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L
12	Ethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
13	m+p-Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
14	o Xylene	0,000	0	0,000	mg/L
15	Bromoform	0,000	0	0,000	mg/L
16	Isopropylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
17	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0,000	0	0,000	mg/L
18	1,2,3-Trichloropropane	0,000	0	0,000	mg/L
19	1,3,5-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
20	1,2,4-Trimethylbenzene	0,000	0	0,000	mg/L
21	1,2-Dichlorobenzene	0,000	0	0,000	mg/L