

ÖZET

Endüstriyel proseslerin çoğunda olduğu gibi boya endüstrisinde de gaz kimyasallar yan ürün veya atık olarak açığa çıkar ve zehirlilikleri nedeniyle çevre kirlenmesi sorunu yaratabilir. Gaz kirleticiler, proses ekipmanlarından ve bacalardan proses gereği açığa çıktığı gibi, depolama tankları, taşıma hatları ve diğer ekipmanlardan kaçaklar şeklinde olabilir.

Esas olarak öncelikle bu kirliliklerin kaynağında azaltılması istenir. Proseslerde yapılabilecek değişiklikler ve kullanılan ekipmanların teknolojik sınırlamaları atık miktarını her zaman istenilen düzeye indiremeyebilir. Bu nedenle de bir arıtım yönteminin kullanılması gerekmektedir. Atık gazların kontrolünde kullanılan ekipmanlar çeşitli fiziksel etkileşimlere (atık tutma) ve kimyasal reaksiyonlara (atık dönüştürme) dayanır. Atık tutma sistemleri yoğunlaşma, çökme, süzme, adsorpsiyon; atık dönüştürme sistemleri ise ısı, kimyasal, foto aktif vb. bozundurmalarıdır. Arıtım sisteminin seçimi, gaz kirleticilerinin cinsine, miktarına, atık gaz sıcaklığı ve debisine, amaca (geri kazanma ve/veya atıkların zararsız, çevreye

atılabilir hale getirilmesi), mevcut teknolojilere ve maliyete bağlıdır.

GİRİŞ

Son yıllarda artan çevre bilinci, kimyasal maddelerin üretiminden tüketimine kadar tüm evrelerinde çevre uyumlu olmasını ve sürdürülebilir bir kalkınma için temiz teknolojileri zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, ekosisteme pek çok zararlı etkilerinin yanında yer seviyesi ozon derişiminin artmasına dolayısıyla smog oluşumuna neden olan uçucu organik bileşikler (VOC) son yıllarda giderek artan bir önem kazanmıştır. VOC'ler, ya proses gereği açığa çıkar ve bacadan atılır ve/veya ekipmanlar, depolama tankları, taşıma hatları kaçakları şeklinde çevreye yayılır. Hava kalitesini bozan, canlı ve cansız çevre için olumsuz etkileri olan bu kirleticilerin ölçülmesi ve belirlenmiş sınır değerlerin altına indirilmesi gerekmektedir. 2 Kasım 1986'da yürürlüğe giren Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde (H.K.K.Y.) organik buhar ve gazlar üç sınıfta toplanmış ve her sınıf için debiye bağlı derişim sınırları getirilmiştir [1]. H.K.K.Y. Ek-4'deki organik buhar ve gaz emisyon sınırları her sınıf için bazı örneklerle birlikte Çizelge 1'de verilmektedir.

Tarih öncesi çağlardan bu yana çok yaygın bir şekilde kullanılan kaplama malzemeleri (boya, vernik vb.), ham madde üreticileri, boya üreticileri ve boyama ekipmanı imalatçıları içeren çok geniş bir endüstridir. Çok çeşitli kaplama malzemeleri ve teknikleri kullanılmaktadır. Bu kaplama malzemelerinin üretiminde, yüzeylere uygulan-

* TÜBİTAK - Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Tel: 0262 641 23 00

Teknik Yarı

masında. kaplanmış malzemenin kullanı-
mında. yüzeyden çıkarılmasında, boyama
için yüzey hazırlamada ve benzeri aşama-
larda çeşitli VOC' ler açığa çıkmaktadır.

Bu bildiride, kaplama malzemeleri ile ilgili VOC' ler, bun-
ların geri kazanılması ve/veya çevreye zararsız duruma ge-
tirilmesi ve en uygun arıtım sisteminin seçim kriterleri
hakkında genel bir bilgi verilecektir.

Çizelge 1. Organik buhar ve gazlar için H.K.K.Y.'ndeki emisyon sınırları [1].

Sınıf	Örnek	Debi, [kg/saat]	Sınır, [mg/Nm ³]
I	Fenol, o-, p-, m- kresol, 1,2 dikloroetan, diethylamin, diklorofenol, akrilik asit, anilin, dimetil sülfür Toluen, o-, p-,m- ksilen, etilbenzen,	≤ 0.1	20
II	1,1 dikloroetan, asetaldehit, asetik asit, naftalin	≤ 3	150
III	Diklorometan, 1,2 dikloroetilen, etil glikol, dimetil sülfoksit, etanol, aseton, i-propanol	≤ 6	300

KAPLAMA ENDÜSTRİSİ

Kaplama terimi genel anlamda, bir yüze-
ye uygulanan ince sürekli bir film için
kullanılır. Boyalar, sıvı veya toz halinde,
boyar madde(ler) içeren ve bir yüzeye
uygulandığında koruyucu, dekoratif veya
özel teknik özelliklere sahip opak bir film
oluşturan ürünlerdir. Vernikler ise bir

yüzeye uygulandığında boyanın kine benzer özelliklere
sahip, katı ve saydam bir film oluştururlar.

Kaplamanın amacı tahta, metal, plastik veya mineral yapı
malzemelerine koruyucu, dayanıklı ve dekoratif filmlerin
ekonomik bir şekilde uygulanması olduğundan, çok sayıda
kaplama malzemesi ve uygulama sistemi bulunmaktadır.
Ayrıca kaplamalar çok sayıda bileşenden oluşmaktadır
(Şekil 1).

Teknik Yazı

uçucu bileşenler	çözücüler "koalesantlar"			
uçucu olmayan bileşenler	film oluşturanlar reçineler plastifiyanlar	bağlayıcılar	vernükler	boyalar
	katkılar boyar maddeler			
	pigmentler dolgu pigmentleri			

Şekil 1. Kaplama malzemelerinin bileşenleri [2].

Çözücüler, film oluşumu sırasında buharlaşan uçucu sıvılardır. Değişik tipte bağlayıcı kaplama maddeleri için farklı çözücüler kullanılır (mineral spiritler, toluen, ksilen, benzen, ketonlar, alkoller, alkil benzenler, esterler, solvent nafta, glikol eterler vb.) Birkaç çözücüsüz boya ve toz kaplama sistemi dışında su bazlı

boyalar dahil tüm boyalarda organik çözüciye gerek vardır. 1980'lere kadar çözücü içeriği %50-70'e (hacmen) kadar çıkabiliyordu [2]. Artan çevre bilinci, boyalardaki çözücü içeriğinin azalmasını ve yüksek tehlike potansiyeli olan glikol eterler gibi çözücülerin yerine daha az zararlı çözücülerin kullanımına yol açmıştır. Boya çözücülerinde bulunan en yaygın tehlikeli hava kirleticileri Çizelge 2'de verilmiştir [3,4].

Çizelge 2. Tipik boya çözücülerinde bulunan tehlikeli hava kirleticiler ve TLV* değerleri

Kirletici	TLV	
	[ppm]	[mg/m ³]
etilbenzen	100	435
glikol eter**	100	370
metanol**	200	260
metil etil keton	200	590
metil izobutil keton	100	410
toluen**	100	375
ksilen**	100	435

* çalışma ortamında izin verilen maksimum değer (threshold limit value)

** deri için

Teknik Yazı

Boyama sistemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- * çözücü bazlı boyalar (çözücü içeriği > %60),
- * çözücsüz veya az çözücülü boyalar (katı içeriği > %85),
- * su bazlı boyalar,
- * su bazlı dispersiyon boyalar (emülsiyon boyalar),
- * susuz dispersiyon boyalar,
- * radyasyonla sertleşebilen boyalar,
- * elektrokaplama boyalar,
- * toz kaplamalar.

Çözücü bazlı boyama sistemlerinde, boyama sırasında uygulanan yöntemlere göre çözücü emisyonu değişmektedir (Çizelge 3). Toz kaplamalarda fırınlama sırasında buharlaşan bileşenler ise Çizelge 4'de verilmektedir.

Su bazlı boyalarda kullanılan bağlayıcıların üretiminden kaynaklanan (polikondensasyon veya polimerizasyon) \leq %10-15 (ağ.) organik çözücü yanında ayrıca organik ortak çözücüler de bulunur (alkoller, glikol eterler vb. oksijen içeren suyla karışabilen çözücüler). Su bazlı emülsiyon boyalar da %5-10 (ağ.) dolayında organik çözücü içerir. Bunlar yüksek kaynama noktalı çözücülerdir, film oluşumunu iyileştirerek geçici plastifiyan olarak davranırlar. Radyasyonla (UV ve EB) sertleştirmede ve elektrokaplama uçucu organik madde emisyonu diğer uygulama yöntemlerine göre çok azdır.

Çizelge 3. Bazı uygulama yöntemlerine göre teorik çözücü emisyonu [2].

Uygulama yöntemi	Boyanın katı içeriği [% ağ.]	Boyanın organik çözücü içeriği [% ağ.]	Transfer verimi [%]	Çözücü emisyonu [kg/kg film]
Dökme, rulo	70	30	100	0.43
Pnömatik püskürtme				
Metalik astar	13	87	60	11.2
Son kat	50	40	60	1.33
Yüksek hızlı atomizör v elektrostatik püskürtme				
Metalik astar	13	87	75	8.93
İki bileşenli vernik	60	40	75	0.85

Çizelge 4. Termoplastik ve termoset toz kaplamada ısıtma sırasında buharlaşma [2].

Bağlayıcı	Uygulama yöntemi	Önısıtma ve ısıtma sıcaklığı [°C]	Ağırlık kaybı [%]
Poliyeten	Sıcak floklama, sıcak akışkan yatak	280-400	≤1 parafinik hidrokarbanlar
Poliamid	Sıcak akışkan yatak	280-400	0.2 laulaktam
Polivinil klorür	Soğuk elektrostatik püskürtme, sıcak akışkan yatak	160-350	1-6 plastifiyan
Etilen-vinil alkol kopolimeri	Sıcak akışkan yatak	200-400	≤ 0.1 organikler
Polyester	Sıcak elektrostatik püskürtme	240-400	≤ 1 organikler
Epoksi reçine	Soğuk elektrostatik püskürtme,	120-240	≤ 0.1 organikler
	Sıcak elektrostatik püskürtme, akışkan yatak, üfleme	130-240	≤ 1 kraking ürünleri
Epoksi-karboksilik polyester reçine		140-220	< 0.1 organikler
Polyester-triglisidil izosiyanat		160-220	< 0.1 organikler
OH polyester reçine -izosiyanat katılımı		180-220	2-4 kaprolaktam
Akrilik reçine		180-220	≤ 1 organikler 2-4 kaprolaktan

Binlerce boya formülasyonu az sayıda üretim aşamasında üretilir:

1. ön karışımların hazırlanması,
2. sürekli dispersiyon,
3. formülasyonun tamamlanması,
4. son ürün özelliklerinin düzeltilip ayarlanması.

Teknik Yazı

Boya uygulamalarında olduğu gibi boya üretiminde de VOC'ler proses gereği ve/veya kaçaklar şeklinde ortaya çıkmaktadır. Boya endüstrisinin VOC emisyonlarının önlenmesine yönelik ikili bir çevre koruma stratejisi vardır:

1. Emisyonları minimize etmek için ekipmanlar ve proses olabildiğince atmosfere kapalı hale getirilir.
2. Önlenemeyen emisyonların kaynaklandığı ekipmanların çevre havası seçici olarak emilir. Toz kirleticiler filtrelerde tutulur, gaz kirleticiler ise arıtım işlemine gönderilir (ısıtıl veya katalitik yakma, adsorpsiyon, vb.).

Çeşitli yüzeylerdeki mevcut boyaların çıkarılmasında kullanılan kimyasal ve ısıtıl yöntemlerde de VOC emisyonları söz konusu olup, bunlar organik çözücüler ve piroliz ürünleridir. Boyamadan önce yüzeyin hazırlanmasında uygulanan kimyasal yağ gidermede ağırlıklı olarak klorlu hidrokarbonlar kullanılmaktadır.

Boya üretim ve uygulamalarından kaynaklanan VOC'lerin giderilmesinde kullanılan sistemler ve sistem seçimi kısaca aşağıda anlatılacaktır.

KAPLAMA ENDÜSTRİSİNDE HAVA KİRLİLİĞİ ÖNLEMLERİ

Boya üretimi ve boyama ile ilgili organik çözücüler atmosferde bozunurlar veya güneş ışığında diğer atmosfer bileşenleri (azot oksitleri) ile reaksiyona girerek

fotoooksidanları oluştururlar. Bunlar çok düşük derişimlerde bile insan sağlığı ve bitkiler için zararlıdır. Çözücü emisyonları temel olarak üç yolla azaltılabilir:

1. Çözücüsüz veya çözücü içeriği düşük ürünlerin kullanılması.
2. Çözücü emisyonu düşük boyama yöntemlerinin kullanılması.
3. Boyama ve boya sökme işlemlerinin yapıldığı ortamlarda atık gaz arıtım sistemlerinin kullanılması.

Son iki yöntem ancak büyük kapasiteli boyama ve boya sökme işlemlerinin gerçekleştirildiği ortamlarda uygulanabilir. Esnafın ve bireylerin uygulamalarında emisyon ancak boyanın çözücü içeriği düşürülerek azaltılabilir. Boya üretim ve boyama tesisleri ve atölyelerinde yaygın olarak kullanılan arıtım yöntemleri, arıyıkma ve adsorpsiyondur. Arıyıkma ısı enerjisi çoğunlukla geri kazanılırken adsorpsiyonla çözücü geri kazanımı sağlanır. Atık gaz sistemi maliyetini ve bu amaçla hacmini azaltmak için, sözkonusu alan kapalı hale getirilir ve ortam havası geri çevrilir. Geri çevrilen ortam havasındaki boya aerosolleri yağ yıka, torbalı filtre veya elektrofiltrelerde tutulur. Gaz kirleticiler belli bir derişime gelince arıtma yada geri kazanma birimine alınır. Elle boyama yapılan ortamlarda bu her zaman mümkün olmadığından yüksek debili, düşük çözücü içeriği olan hava döner adsorpsiyon sistemlerinden sürekli olarak geçirilerek kirleticiler tutulur ve desorpsiyondan sonra uygun arıtım/geri kazanım işlemi uygulanır [2.5].

Çözücü içeren atık gazların biyolojik olarak arıtımı da mümkündür. Gaz debisi yüksek, çözücü içeriği düşük atık gazlar için araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir [6.7].

Almanya, İskandinavya, İsviçre ve A.B.D. gibi ülkelerde boyama tesislerinde yönetmeliklere uygun olarak bu arıtım/geri kazanım teknikleri uygulanmaktadır. Bir araba

Teknik Yazı

metalik görünüŖ verecek Ŗekilde. %85'e kadar çözücü içeren bilinen boylarla boyandığında. 180 g/m²-yüzey çözücü emisyonu olmakta, dolayısıyla 90 m² yüzey alanı olan bir araç için 16 kg çözücü atmosfere verilmektedir. Düşük çözücü içeren kaplama malzemesinin kullanılmasıyla (elektrokaplama, su bazlı ilk astar, su bazlı metalik astarlar, çözücü bazlı cila) günümüzde bu değer modern tesislerde 30-45 g/m²'ye indirilmiŖtir. Cila için su bazlı boyların kullanımıyla bu değer 20 g/m²'ye kadar indirilebilecektir [2].

Atıkgazın çözücü içeriği teknolojinin izin verdiği ölçüde indirilse de sonuçta yine arıtılması gereken bir atıkgaz (özellikle çözücü bazlı boyların kullanımının hala gerekli olduğu durumiarda) bulunacaktır. Bu atıkgaza uygulanabilecek arıtım/geri kazanım yöntemleri aŖaęıda genel hatlarıyla özetlenmektedir.

ATIK GAZLARDAN VOC GİDERME YÖNTEMLERİ

VOC içeren atık gazlar bileŖenler ve miktar açısından çok çeŖitli olduğundan arıtım yöntemleri de çok çeŖitlidir. Tesis çıkışında VOC gidermede kullanılan süregelen ve yeni geliŖmekte olan teknolojiler Ŗunlardır:

- * ısıl oksidasyon (ısıl insinerasyon)
- * katalitik oksidasyon (katalitik insinerasyon)
- * baca ucunda yanma (fleyr)
- * yoęuŖma

- * adsorbsiyon
- * absorbsiyon
- * kazanlar/proses ısıtıcıları
- * biyofiltrasyon
- * membranlı ayırma
- * UV oksidasyonu
- * koronada bozundurma
- * plazma teknolojisi.

Bu teknolojilerden yaygın olarak kullanılanlarla ilgili bazı bilgiler ve uygulama alanları Çizelge 5'de verilmektedir. Bunlar içinde boya endüstrisinde en yaygın olarak kullanılanlar ısıl oksidasyon, katalitik oksidasyon, baca ucunda yanma, yoęuŖma ve adsorbsiyondur. Biyofiltrasyon, membranlı ayırma ve UV oksidasyonu son yıllarda ticarileŖtirilen arıtım teknolojileridir.

Katalitik oksidasyon tek arıtım yöntemi olarak veya diğer arıtım yöntemleriyle birlikte hemen hemen her türlü atıkgaza uygulanabilir (Ŗekil 2).

Adsorpsiyon da gaz içeriğine bağlı olarak tek başına veya diğer arıtım yöntemleriyle birlikte kullanılır. En yaygın olarak kullanılan adsorban aktif karbondur. Gazdaki çözücü miktarı çoksa amaç genelde geri kazanmadır ve rejenerasyon uygulanır. Çok büyük gaz akımlarından az miktardaki kirleticilerin tutulması durumunda, kullanılmıŖ aktif karbonlar uygun bir Ŗekilde yakılır.

YoęuŖma, yüksek kaynama noktalı (>38 °C) VOC'leri oldukça yüksek derişimde içeren atık gaz akımlarda uygundur. Düşük sıcaklıklarda ve/veya yüksek basınçlarda yoęuŖturulan VOC'ler içeriğine bağlı olarak proste yeniden kullanılabilir, satılabilir veya enerjilerinden yararlanmak için yakılabilir.

Teknik Yazı

Çizelge 5. VOC giderme teknolojileri [3].

Arıtım teknolojisi	Emisyon kaynağı ^a	VOC tipi ^b	Atık akım debisi, [ft ³ /dak]	VOC derişimi [ppmv]
Isıl oksidasyon	PV, ST, TO, WW	AHC, HHC, A, K	<20.000 ^a ≥20.000 ^a	20-1000 ≥1000
Katalitik oksidasyon	PV, ST, TO, WW	AHC, HHC ^c , A, K	≤10.000	≥50
Baca ucunda yanma	F, PV, ST, TO, WW	AHC, A, K	≤200	≥50
Yoğuşma	PV, ST, TO	AHC, HHC ^c , A, K	≤200	≥200
Absorpsiyon	PV, ST, TO	A, K	≥1000	≥1000
Adsorbsiyon	PV, ST	AHC, HHC, A, K ^c	≥1000	≥500
Kazan ve proses ısıtıcıları	PV	AHC, A, K		
Biyofiltrasyon	PV, WW	AHC, HHC ^c , A, K	≥1000	≤1000
Membranla ayırma	PV, TO	AHC, HHC, A, K	≤500	≥5000
UV ile oksidasyon	PV	AHC, HHC, A, K		
Sürekli adsorbsiyonla	PV, ST, TO, WW	AHC, HHC ^c , A, K ^c	≥10.000	≤600

^a Emisyon kaynakları: F= kaçaklar, PV=proses blöfleri, ST= depolama tankları, TO=taşıma işlemleri. WW= atıksu işlemleri

^b VOC tipi: AHC=alifatik ve aromatik hidrokarbonlar, HHC=halojenli hidrokarbonlar, A=alkoller, glikoller, eterler, epoksiler ve fenoller, K=ketonlar ve aldehitler

^c Sınırlı uygulanabilirlik

^d ısı geri kazanımı yok

^e ısı geri kazanımı var.

Isıl oksidasyon her türlü kirletici derişiminde uygulanabilirse de düşük derişimlerde çok yüksek debili bir atıkgaz akımı 650-800°C'ye ısıtılacağından enerji gereksinimi fazladır ve böyle durumlarda katalitik oksidasyon daha avantajlı olabilir.

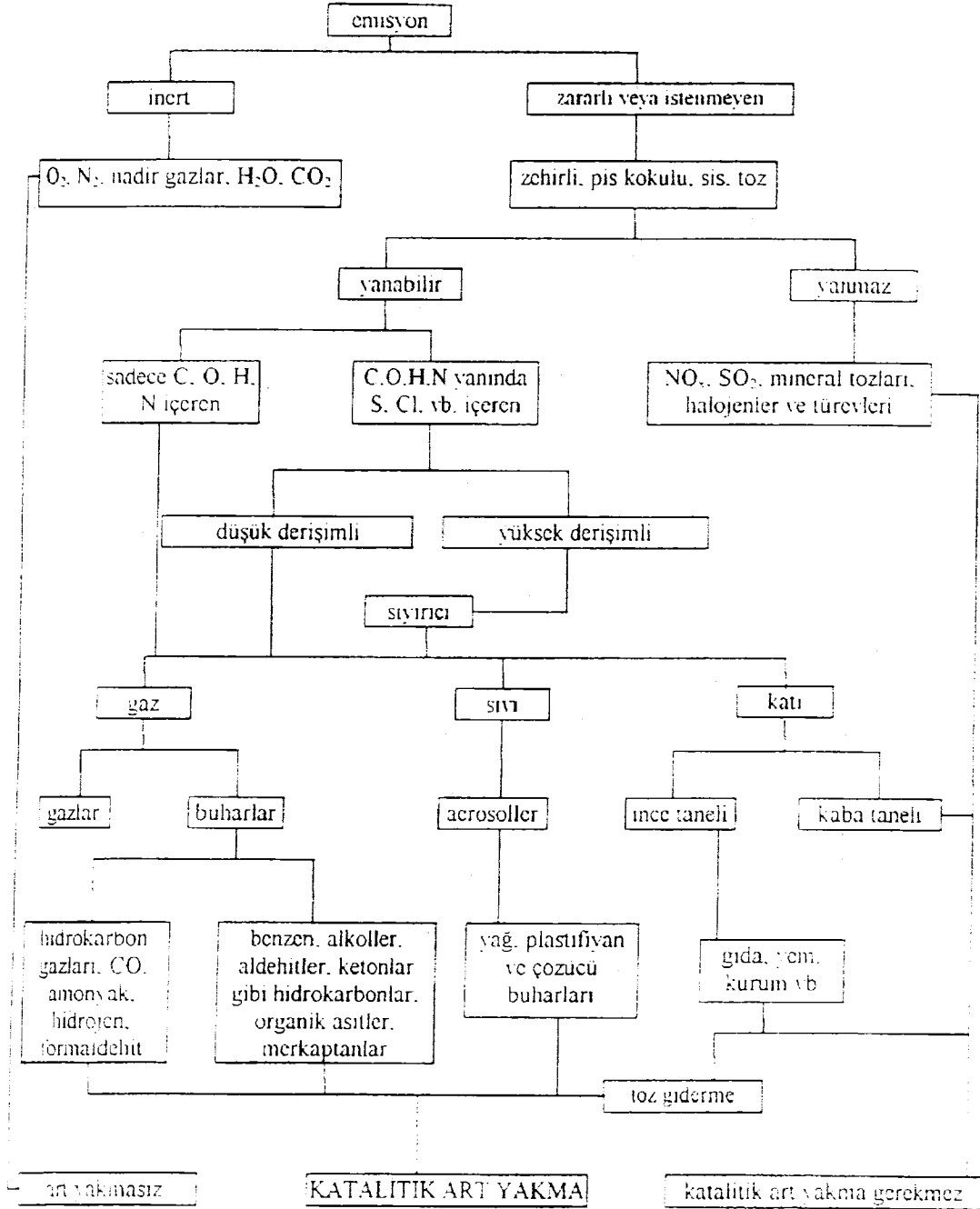
Baca ucunda yanma ise atıkgazda yeterince yanabilir madde varsa (hidrokarbonlarda alt alev almada yanma ısısı 1.93 MJ/m³) uygulanabilir.

Atık sularındaki biyolojik arıtıma benzer olan *biyofiltrelerde*, doğal olarak bulunan mikroorganizmalar yardımıyla kirlilikler bozundurulur ve sonuçta su, karbondiok-

sit ve mineral tuzlarına dönüştürülür. 1990'lardan sonra hızla gelişerek ticarileşen bir arıtım sistemidir.

Membran prosesinde atıkgazdaki kirleticiler yarıgeçirgen bir membran yardımıyla ana akımdan daha derişik bir şekilde ayrılır ve hemen hemen her türlü kirleticiye uygulanabilir. CFC, HCFC, vinil klorür gibi değerli kimyasalların geri kazanılmasında endüstriyel uygulamaları olan membran prosesi, özellikle kirlilik yükü yüksek (>1000 ppm, tercihen >5000 ppm) atıkgaz akımlarına uygulanır.

Koronada bozundurma ve plazma teknolojilerinin ticari uygulamaları henüz yoktur ve araştırmalar devam etmektedir. Yaygın olarak kullanılan teknolojilerde de daha iyi katalizörler, daha iyi adsorbanlar, daha etkin ısı iletimi sağlayan ısı değiştiriciler ve kriyojenik sıvıların kullanımı gibi konularda araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.



Şekil 2. Endüstriyel emisyonların arıtımında katalitik art yakma [8].

Teknik Yazı

VOC GİDERME SİSTEMİNİN SEÇİMİ

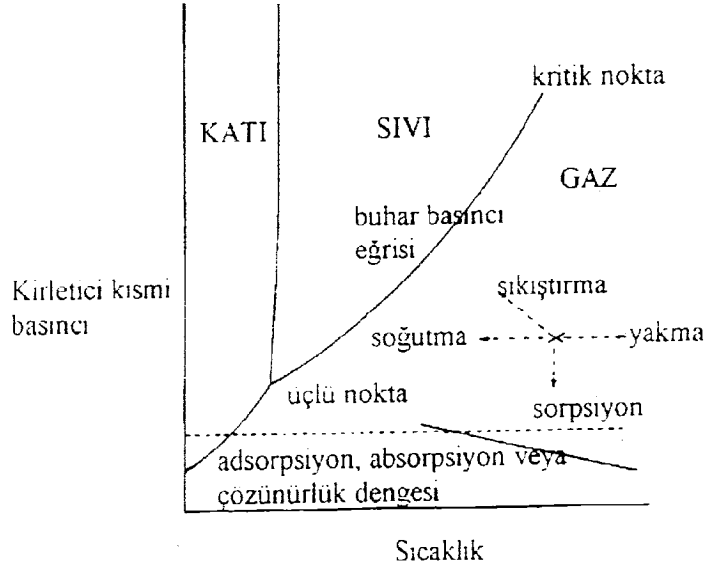
VOC giderme sisteminin seçimi, gaz kirleticilerin cinsine, miktarına, atıkgaz sıcaklığı ve debisine, arıtımın geri kazanma ve/veya atıkların zararsız, çevreye atılabilir hale dönüştürülme amacıyla uygulanmasına, mevcut teknolojilere ve maliyete bağlıdır.

Arıtım sistemi seçiminde çeşitli yaklaşımlar vardır. Örneğin, kirletici içeriğine göre [9,10]

0.01-0.1 g/Nm³ rejenere edilmeyen bir seferlik adsorpsiyon kolonları

0.1-5.0 g/Nm³ katalitik yakma, biyolojik filtreler, membranlı ayırma

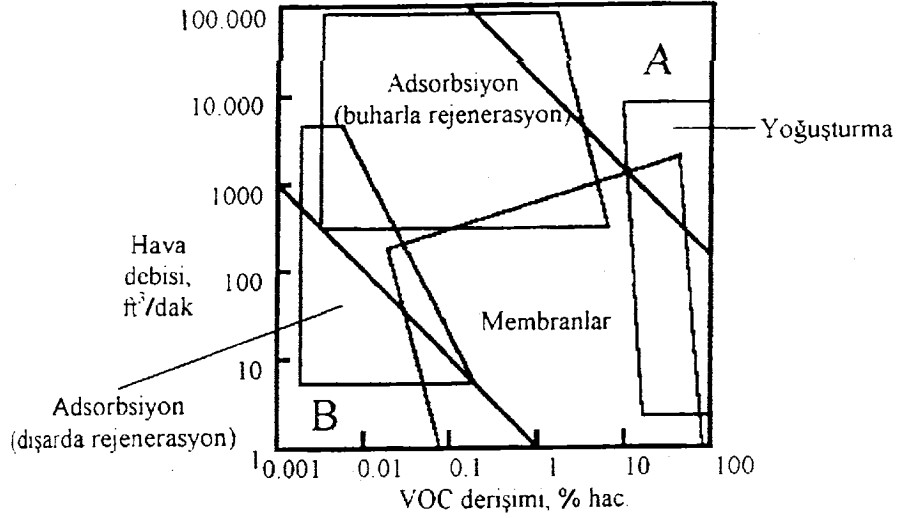
5.0->100 g/Nm³ membranlı ayırma, yoğuşma, absorpsiyon, geri kazanmalı adsorpsiyon yöntemleri uygulanabilir. Gaz kirleticinin sıcaklık ve kısmi basıncına bağlı olarak Şekil 3, geri kazanma amaçlı teknolojilerde ise, gaz kirletici içeriği ve atık gaz debisine göre Şekil 4'de verilen grafik yaklaşımlar kullanılabilir.



Şekil 3. Gaz kirleticilerin kirletici sıcaklığı ve kısmi basıncına bağlı olarak arıtım prosesi seçimi [11].

Arıtım sisteminin seçiminde bir diğer önemli kriter de maliyettir. Bazı VOC giderme işlemlerinin kıyaslamalı toplam maliyetleri Çizelge 6'da, ekipman gideriminin bir çarpanı olarak toplam yatırım gideri Çizelge 7'de, çalışma şartlarıyla birlikte yatırım ve işletme maliyeti veri-

leri ise Çizelge 8'de verilmektedir. Belirli bir uygulama için Çizelge 8'de verilen genel kıstaslar ışığında uygulama olasılığı olan prosesler belirlendikten sonra Çizelge 9'da bir örneği verilen BACT (Best Available Control Technology-En İyi Mevcut Kontrol Teknolojisi) analizi yapılarak, olası proseslerden en uygun olanı seçilir.



Şekil 4. Bazı VOC geri kazanım teknolojilerinin uygulama alanları [9]
(A: Bu alanda fazla gaz akımı bulunmaz, B: Bu alandaki gaz akımları yaygın olmakla birlikte çevre kirliliği açısından sorun yaratmaz.).

Çizelge 6. Bazı VOC giderme yöntemlerinde göreceli toplam maliyet [12].

Arıtım teknolojisi	Aynı arıtma için göreceli toplam maliyet
Yakma	100
Klorla oksidasyon	46
Ozonla oksidasyon	46
Aktif karbonda adsorpsiyon (rejenerasyon dahil)	15
Biyofiltrasyon	6

Çizelge 7. Hava kirliliği kontrol ekipmanları için ortalama mayliyet faktörleri [13].

Maliyet	Isıl ve katalitik insineratör	Karbon adsorber	Gaz absorber	Yoğuşturma	Fleyr
Toplam ekipman gideri (ölçü, kontrol, taşıma, vergi, sigorta dahil)	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Doğrudan yatırım gideri çarpanı	0.30	0.30	0.85	0.43	0.57
Dolaylı yatırım gideri çarpanı	0.31	0.31	0.35	0.31	0.35
Toplam yatırım gideri	$1.61 X_1$	$1.61 X_2$	$2.20 X_3$	$1.77 X_4$	$2.10 X_5$

Çizelge 8 VOC kontrol teknolojileri

Kontrol teknolojisi	Uygun deşişim aralığı, [ppm]	Kapasite [ft ³ /dak]	Uzaklaşırma verimi, [%]	Yatırım maliyeti, [\$ /ft ³ /dak]	Yıllık işletme maliyeti, [\$ /ft ³ /dak]	İkincil atıklar	Avantajlar	Sınırlama ve dezavantajlar
Isıl oksidasyon	100-2000	1000-500 000	95-99.1	Rekuperatif: 10-200 Rejeneratif: 30-450	Rekuperatif: 15-90 Rejeneratif: 20-150	Yanma ürünleri	% 95'e kadar enerji kazanımı mümkün	Halojenli bileşiklerde sınırlı uygulanır, kesikli işletimde uygulanmaz
Katalitik oksidasyon	100-2000	1000-100 000	90-95	Dolgu: 20-250 Akişkan: 35-220	Dolgu: 10-75 Akişkan: 15-90	Yanma ürünleri	%70'e kadar enerji kazanımı mümkün	Isıl verim düşer, halojenli bileşiklerde uygulanması sınırlı, katalizör zehirlenebilir
Yoğuşma	> 5000	100-20 000	50-90	10-80	20-120	Kondensat	Ürün geri kazanımı yıllık işletim maliyetini azaltır	Kaynama noktası >38°C için uygulanmaz, yoğunlaştırıcıda kabuklaşma ve tıkanma vb.
Karbon adsorpsiyonu	20-5000	100-60 000	90-98	15-120	10-35	Kirli karbon ve organik atıklar	Ürün geri kazanımı yıllık işletim maliyetini azaltır, derişirici olarak kullanılabilir, dönüşlü proseslerde iyidir	RH>%50 için önerilmez, ketonlar, aldehitler ve esterler karbon yüzeyle reaksiyona girip tehlikeli miktarda ısı çıkışına neden olabilir
Absorpsiyon	500-5000	2000-100 000	95-98	15-70	25-120	Anksu, taneccik kirliliği	Ürün geri kazanımı yıllık işletim maliyetini azaltır	özel yıkama ortamı gerekir, tasarımı zordur, tıkanma ve kirlenme olur

Teknik Yarı

Çizelge 9. Uygulanabilir VOC giderme teknolojilerinin örnek kıyaslanması

Karakteristik	Teknoloji 1	Teknoloji 2	Teknoloji n
Teknolojik özellikler:			
Giderme verimi, [%]			
Emisyon akımı debisi, [m ³ /saat]			
Tanecik etkisi	(nozullar tıkanır, ısı transfer yüzeylerine zararlı vb.)		
Asidik gaz etkisi	(pahalı malzeme gerekir, etkilenmez, mümkün değildir vb.)		
VOC derişimi salınımının etkisi	(iyi, etkilenmez, çok etkilenir vb.)		
VOC türlerinin etkisi	(iyi, etkilenmez, çok etkilenir vb.)		
Benzer alanda uygulama	(yok, az, yaygın vb.)		
Ekipman boyutları	(geniş alan gerektirir vb.)		
İşletme özellikleri:			
Devreye alma	(çok karmaşık, karmaşık, kolay vb.)		
Durdurma	(çok karmaşık, karmaşık, kolay vb.)		
Bakım gereksinimi	(yüksek, orta, düşük vb.)		
Emniyet tehlikesi potansiyeli	(yüksek, orta, düşük vb.)		
İlerde genişletme olanağı	(kolay, zor, vb.)		
Çevre/enerji etkileri:			
Atıksu	(yok, az, çok)		
İkincil hava kirliliği	(yok, az, önemli)		
Tehlikeli atık	(varsa cinsleri)		
Diğer atıklar	(yok, yüksek çözünmüş katı içerikli atıksu vb.)		
Enerji gereksinimi	(doğal gaz, elektrik, buhar vb.)		
Gürültü	(az, orta, yüksek vb.)		
Ekonomik etkiler [MTL]:			
Ekipman sabit yatırımı			
Önişlem maliyeti			
Yıllık işletme maliyeti			
Amortisman			
Birim atık giderme yıllık toplam maliyeti			
Yasal faktörler:			
Mevcut sınırları karşılıyor mu?	(evet, hayır, tam sınırdan vb.)		
Gelecekteki sınırlara yeterli olacak mı?	(evet, hayır, tam sınırdan, belli değil vb.)		

Teknik Yazı

SONUÇLAR

Endüstriyel proseslerde açığa çıkan VOC'ler çok çeşitli yöntemlerle giderilebilir. Maliyeti en düşük, çevre kirliliği riski en az yöntem VOC içeren malzemelerin kullanımını azaltmak ve VOC içeren proseslerde sıfır atık ilkesini benimsemektir. Bu ilkeye uygun olarak tüm procese yönelik bir maliyet-yarar analizi yapılarak prosesin hangi noktalarında ne oranda VOC emisyon indirimi yapılabileceği ve bunun için ne gibi ekipman, proses koşulu vb. değişiklik gerektiği ortaya konulmalıdır. Proseslerde bu tip bir analiz sonucu yapılabilecek iyileştirmeler mevcut teknolojilerle sınırlandırıldığından, emisyon kaçılmaz olduğunda en uygun arıtım yönteminin seçilmesi ve uygulanması gerekir. Bu seçimde dikkat edilecek önemli bir nokta da, tüm dünyada artan çevre bilincine paralel olarak emisyon sınırlarının sürekli aşağıya çekilmesidir.

KAYNAKLAR

1. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete, Sayı 19269, Çevre Bakanlığı, 6 Kasım 1986.
2. Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, A18, 362-535, VCH Verlagsgesellschaft GmbH, Weinheim, 1991.
3. Encyclopedia of Chemical Processing and Design, 63, 104-198, Marcel Dekker Inc., 1998.
4. Dangerous Properties of Industrial Materials, 4th Ed., N.I. SAX, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1975.
5. Kenson, R.E. Mishra, P.N., Willard,

W.L., "Paint solvent emissions control, using an activated carbon fiber system", Proseed. of 80th Annual Meeting of APCA New York, New York June 21-26, 1987.

6. Eland J.H., van de Weyden, "Reduction of hydrocarbon emissions in paint and printingink manufacture", Verfkro-niek, 60(9), 300-304, 1987.

7. Kinney, K.A., "Innovative Biofiltration System for VOC Control at Aircraft Painting Facilities", List of Technical Abstracts of 1998 symposium of Strategic Environmental Research and Development

8. Vollheim G., "Catalytic Afterburning of Industrial Waste Gases: Principles and Application", Disposal of Process Wastes, Liquids, Solids, Gases. A Symposium Acheme 1964, Frankfurt, tercüme: Max Wuldinghoff P.E., Chem Pub. Comp. Inc., New York, 1968.

9. Herrmann, E., "Treatment of waste air and gases in the process industries", Disposal of Process Wastes, Liquids, Solids, Gases. A Symposium Acheme 1964, Frankfurt, tercüme. Max Wulfing hoff P.E., Chem. Pub. Comp. Inc., New York, 1968.

10. Baker, R.W., Kaschemekat, J., Wijmans, J.G., "Membrane Systems for Profitable VOC Recovery", Chemtech, July, 37-43, 1996.

11. Spivey, J.J., "Complete Catalytic Oxidation of Volatile Organics", Ind. Eng. Chem. Res., 26, 2165-2180, 1987.

12. Bohn, H., "Consider biofiltration for decontaminating gases", Chem. Eng. Prog., 34-40, April 1992.

13. Vatavuk, W.M., "Pollution, Air, Costs: Part 2. Capital and Operating Costs", Encyclopedia of Chemical Processing and Design, McKETTA J.J., v.39, Marcel Dekker Inc., 1992.

- Bu Yazı Kimya Mühendisleri Odasının izniyle BOYA'99 3. Uluslararası Boya, Vernik, Mürekkep ve Yardımcı Maddeler Sanayi Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabından alınmıştır.