

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMİ İNŞAATINDA ATIKLAR VE BOYA EMİSYON
TAHMİNİ**

Gemi İnşaatı Yük. Müh. Uğur Buğra ÇELEBİ

**FBE Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 12 Kasım 2008
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nurten VARDAR (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet EKERİM (YTÜ)
: Prof. Dr. Tamer YILMAZ (YTÜ)
: Prof. Dr. Selma ERGİN (İTÜ)
: Y.Doç. Dr. Yalçın ÜNSAN (İTÜ)

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTIMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ATIK VE ENDÜSTRİYEL ATIK KAYNAKLARI	16
3. GEMİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN PROSESLER VE ATIKLARI	19
3.1 Yüzey Hazırlama	21
3.1.1 Raspa Yöntemi	22
3.1.1.1 Raspa Malzemeleri	24
3.1.1.2 Raspa Prosesi	28
3.1.1.3 Raspa Prosesi Atıkları	30
3.1.2 Raspa Prosesi Atıklarını Azaltma ve Önleme için Alternatif Çözümler	31
3.2 Kaynak Prosesi	36
3.2.1 Kaynak Yöntemleri	38
3.2.1.1 Erimeyen Elektrodla Kaynak Yöntemi	38
3.2.1.1.1 TIG Kaynağı	38
3.2.1.1.2 Plazma Kaynağı	39
3.2.1.2 Eriyen Elektrodla Kaynak Yöntemi	39
3.2.1.2.1 Örtülü Elektrodla Kaynak	39
3.2.1.2.1.1 Örtülü Elektrodla Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	41
3.2.1.2.2 Gazaltı Kaynağı	42
3.2.1.2.2.1 Gazaltı Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	43
3.2.1.2.3 Tozaltı Kaynağı	44
3.2.1.2.3.1 Tozaltı Kaynağı Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	45
3.2.2 Kaynak Prosesi Atıkları	45
3.2.2.1 Hava Emisyonları	46
3.2.2.2 Katı Atıklar	48
3.2.3 Kaynak İşlemlerinde Atıkları Azaltmak İçin Alternatif Çözümler	48
3.3 Boya Prosesi	53
3.3.1 Boyama İşlemi ve Kullanılan Boya Tipleri	53
3.3.1.1 Boya Tipleri ve Özellikleri	55

3.3.1.1.1	Fouling (Sakallanma)	55
3.3.1.2	Antifouling Boyalar	56
3.3.2	Boya Prosesi Atıkları	57
3.3.2.1	Uçucu Organik Bileşikler (VOC):	57
3.3.2.2	Antifouling Boyaların Zararları	58
3.3.3	Boya İşlemi Atıklarını Azaltma ve Önleme İçin Alternatif Çözümler	59
4.	GEMİ ÜRETİM YÖNTEMLERİNDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN TAHMİN MODELLERİ	62
4.1	Yüzey Hazırlama Prosesinde Emisyon ve Tahmin Modeli	62
4.2	Kaynak Prosesinde Emisyon ve Tahmin Modeli	66
4.3	Boyama Prosesinde Emisyon ve Tahmin Modeli	69
5.	BOYA PROSESİNDEN KAYNAKLANAN VOC EMİSYONLARI İÇİN YENİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	74
5.1	Modifiye Edilmiş Kütle Dengesi Modeli	74
5.2	Akıllı Sistem Modeli	79
5.2.1	Makine Öğrenmesi Modeli	79
5.2.1.1	Yapay Sinir Ağları Yöntemi	81
5.2.1.2	En Küçük Ortalama Kareler Yöntemi (LMS-Least Median Square)	89
5.2.1.3	Basit Lineer Regresyon Yöntemi (SLR-Simple Linear Regression)	89
5.2.1.4	Pace Regresyon Yöntemi (PR)	90
5.2.1.5	Destek Vektör Regresyonu (SVR-Support Vector Regression)	90
5.2.1.6	Model Ağaçları Yöntemi (M5)	91
5.2.2	VOC Emisyon Tahmini Uygulamaları	93
5.2.2.1	Hesaplama Hataları	96
5.2.2.2	Yapay Sinir Ağları Uygulaması	97
5.2.2.2.1	Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Modeli Sonuçları	97
5.2.2.2.2	Radyal Temelli Fonksiyon Ağı (RBF) Yöntemi Sonuçları	99
5.2.2.3	Basit Lineer Regresyon (SLR) Yöntemi Sonuçları	101
5.2.2.4	Model Ağaçları (M5) Yöntemi Sonuçları	102
5.2.2.5	Destek Vektör Regresyonu (SVR) Yöntemi Sonuçları	106
5.2.2.6	Pace Regresyon (PR) Yöntemi Sonuçları	108
5.2.2.7	M5 Model Kuralları (M5R) Yöntemi Sonuçları	110
5.2.2.8	En Küçük Ortalama Kareler Yöntemi (LMS) Sonuçları	112
6.	SONUÇLAR	120
	KAYNAKLAR	126
	ÖZGEÇMİŞ	136

SİMGE LİSTESİ

A	Aşındırıcı raspanın kullanım oranı (kg/saat)
a_j	Çıkış katmanındaki gerçek aktivasyonu
C_i	i bileşenin aşındırıcı raspa oranı (ppm)
C_{ib}	Kazınan boyadaki i kirleticisinin oranı (ppm)
CE_i	i kirleticisi için kontrol etkeni (%)
E_i	i kirleticisinin PM emisyonu (kg/yıl)
EF_{PM}	Aşındırıcı maddenin havaya karışma oranı
EF_{PMx}	Aşındırıcı maddedeki PM'lerin havaya karışma oranı (%)
$E_{kpy,VOC}$	Boyama operasyonundan çıkan toplam VOC emisyonu kg/yıl
E_{ib}	Sökülen boyanın i bileşenin kirletici emisyonu (kg/yıl)
HS	Aşındırılan toplam yüzey (m^2)
i	:Kirletici tipi
j	Boyanan bölgenin tipi
k	Boya tipi
N	Örnek sayısı
OpH	Aşındırıcı raspa operasyonu miktarı (saat/yıl)
Q	Yıl içinde kullanıldığı kaydedilen toplam boya (litre/yıl)
Q_m	m^2 başına harcanan boya miktarı (litre/ m^2)
$\rho_{VOC i}$	i tipteki VOC bileşeninin yoğunluğu (gram/litre)
ρ_x	Yüzey kaplamasının yoğunluğu (kg/m^3)
t_i	: i . örneğin tahmin edilen çıkış değeri
t_j	Katmandaki j düğümü için hedef aktivasyonu
Th	Ortalama yüzey kalınlığı (mm)
t^*	Örneklerin tahmin edilen çıkışlarının ortalaması
$sd(K)$	K değerlerinin standart sapması
VOC_i	Toplam VOC içinde i tipi VOC'nin oranı (%) (Çizelge 4.10)
VOC_i	Toplam VOC içindeki i tipi kirletici oranı (%)
x	Gemi tipi
X_i	X veri kümesinin i . özelliklerinin değerleri

X_i^+	X veri kümesinin i. özelliği θ 'dan büyük olanlarının değerleri
X_i^-	X veri kümesinin i. özelliği θ 'dan küçük olanlarının değerleri
y_i	i. örneğin gerçek çıkış değeri
y^*	Örneklerin gerçek çıkışlarının ortalaması
$ K $	K kümesinin eleman sayısı
$[EVOC_i^k]_j^x$	x gemisindeki j yüzeyine uygulanan k boyasından meydana gelen VOC bileşimi içindeki i kirletici (gram/m ²)

KISALTIMA LİSTESİ

ASE	Advanced Shipbuilding Enterprise
CC	Correlation Coefficient
EPA	Environmental Protection Agency
HAP	Hazardous Air Pollutant
HVLP	High Velocity Low Pressure
ILO	International Labour Organization
IMO	International Maritime Organization
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LMS	Least Median Square
LVLP	Low Velocity Low Pressure
MAE	Mean Absolute Error
MAG	Metal Activated Gas
MEPC	Marine Environment Protection Committee
MIG	Metal Inert Gas
MLP	Multi Layer Perceptron
MSE	Mean Squared Error
NESHAP	National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NPI	National Pollution Inventory
NSRP	National Shipbuilding Research Program
OSHA	Occupational Safety and Health Administrator
PM	Particulate Matter
PR	Pace Regression
PVC	Polyvinyl Chloride
RAE	Relative Absolute Error
RBF	Radial Basis Function
RMSE	Root Mean Squared Error
RRSE	Root Relative Squared Error
RSE	Relative Squared Error
SDR	Standard Deviation Reduction
SLR	Simple Linear Regression
SVR	Support Vector Regression
TBT	Tribütülin

TIG	Tungsten Inert Gas
VOC	Volatile Organic Compound
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Endüstriyel sistem girdi ve çıktıları	16
Şekil 3.1 Bir tersanede üretim yöntemleri, tersanedeki sahaları ve atık oluşumu şeması.....	20
Şekil 3.2 Gemi yüzeyinde biriken organizmalar	22
Şekil 3.3 ISO 8501-1:1998 e göre A'dan D'ye kadar pas dereceleri	23
Şekil 3.4 Yakıt tüketiminin pürüzlülükle artışı	23
Şekil 3.5 Aşındırıcı raspa sisteminin çalışma prensibi	24
Şekil 3.6 Aşındırıcının şekline göre yüzeyde yarattığı pürüzlülük	24
Şekil 3.7 Basınçlı emme nozulu	29
Şekil 3.8 Emme tipi raspa makinesi	29
Şekil 3.9 Basınç tipi raspa makinesi.....	29
Şekil 3.10 Islak basınçlı raspa makinesi.....	30
Şekil 3.11 Kuru basınçlı raspa ünitesini ıslak basınçlı raspa ünitesine dönüştüren adaptör	30
Şekil 3.12 Hava aşındırıcılı ıslak püskürtme nozulu	33
Şekil 3.13 Aşındırıcı malzeme ile birleştirilmiş sünger malzemenin çalışma prensibi.....	36
Şekil 3.14 Genel kaynak ve kesme yöntemleri	37
Şekil 3.15 Örtülü elektrodla kaynak yöntemi.....	40
Şekil 3.16 Gazaltı kaynağı.....	42
Şekil 5.1 A ve B gemilerinin ana güverte ve baş kasarasının boyanmasında açığa çıkan VOC bileşenleri.....	76
Şekil 5.2 A ve B gemilerinin aynı bölgelerinin boyanmasında açığa çıkan toplam VOC miktarları.....	77
Şekil 5.3 A ve B gemilerinin tüm boyanan bölgelerinin VOC miktarları.....	77
Şekil 5.4 Yıllara göre VOC miktarları.....	78
Şekil 5.5 Çok girdili hücre modeli	83
Şekil 5.6 Doğrusal (a) ve Logaritmik sigmoid (b) aktivasyon fonksiyonu	84
Şekil 5.7 YSA hücre modeli	85
Şekil 5.8 Çok katmanlı perseptron sinir ağı	87
Şekil 5.9 Farklı hata eşikleri için oluşturulmuş regresyon ağaçları ve çıkışları	91
Şekil 5.10 Örnek bir M5 model ağacının alt uzay sınırları	92
Şekil 5.11 Örnek bir M5 model ağacı	93
Şekil 5.12 MLP sonuçları	98
Şekil 5.13 MLP çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması	99
Şekil 5.14 RBF sonuçları.....	101

Şekil 5.15 RBF çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması	101
Şekil 5.16 SLR sonuçları	102
Şekil 5.17 M5 sonuçları	103
Şekil 5.18 M5 çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması	103
Şekil 5.19 BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişleri için karar ağacı	105
Şekil 5.20 DWT-L-BYA-TBM girişleri için karar ağacı	106
Şekil 5.21 SVR sonuçları	108
Şekil 5.22 SVR çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması	108
Şekil 5.23 PR sonuçları	109
Şekil 5.24 PR çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması	109
Şekil 5.25 M5R sonuçları	111
Şekil 5.26 M5R çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması	112
Şekil 5.27 LMS sonuçları	113
Şekil 5.28 LMS çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması	114
Şekil 5.29 DWT'a göre MKDM ve MLP ile hesaplanan m ² başına TVOC emisyonları	115
Şekil 5.30 DWT'a göre MKDM ve MLP ile hesaplanan TVOC emisyonları	115
Şekil 5.31 DWT'a göre MKDM ve RBF ile hesaplanan m ² başına TVOC emisyonları	116
Şekil 5.32 DWT'a göre MKDM ve RBF ile hesaplanan TVOC emisyonları	116
Şekil 5.33 DWT'a göre MKDM ve M5R ile hesaplanan m ² başına TVOC emisyonları	116
Şekil 5.34 DWT'a göre MKDM ve M5R ile hesaplanan TVOC emisyonları	117
Şekil 5.35 DWT'a göre MKDM ve M5 ile hesaplanan m ² başına TVOC emisyonları	117
Şekil 5.36 DWT'a göre MKDM ve M5 ile hesaplanan TVOC emisyonları	117

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Tersane prosesleri ve atık akışı	19
Çizelge 3.2 Raspa malzemelerinin karşılaştırılması.....	28
Çizelge 3.3 Raspa malzemelerinin kirletici emisyonları	31
Çizelge 3.4 Geri dönüşümlü cam ve bakır cürufu karşılaştırılması	36
Çizelge 4.1 Raspa işlemlerinde PM, PM ₁₀ ve PM _{2,5} için emisyon faktörleri.....	64
Çizelge 4.2 Raspa işlemlerinde PM, PM ₁₀ ve PM _{2,5} için emisyon faktörleri	64
Çizelge 4.3 Aşındırıcı malzemelerin metal içerikleri.....	65
Çizelge 4.4 Kaynak işlemleri sırasında ortaya çıkan tehlikeli atıklar	68
Çizelge 4.5 TSP, PM _{2,5} , PM ₁₀ için emisyon faktörleri	69
Çizelge 4.6 Metal partiküller için emisyon faktörleri.....	69
Çizelge 4.7 Havalandırmalı alanlarda yapılan boyama işlemlerinde emisyon hesap yaklaşımı karşılaştırması	72
Çizelge 4.8 Açık havada yapılan boyama işlemlerinde emisyon hesap yaklaşımı karşılaştırması	72
Çizelge 4.9 Kaplama malzemelerindeki VOC yoğunluğu	73
Çizelge 4.10 Kaplama malzemelerinde toplam VOC içindeki VOC _i 'nin oranı.....	73
Çizelge 5.1 Giriş Parametreleri	94
Çizelge 5.2 Örnek giriş parametreleri	95
Çizelge 5.3 Hesaplama kombinasyonları	95
Çizelge 5.4 MLP test kümesi sonuçları tablosu	99
Çizelge 5.5 RBF test kümesi sonuç tablosu	100
Çizelge 5.6 Lineer regresyon test kümesi sonuç tablosu.....	102
Çizelge 5.7 Model ağaçları (M5) test kümesi sonuç tablosu.....	104
Çizelge 5.8 BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişleri için oluşturulan modeller.....	104
Çizelge 5.9 DWT-L-BYA-TBM girişleri için oluşturulan modeller.....	106
Çizelge 5.10 Destek Vektör Regresyonu test kümesi sonuç tablosu.....	107
Çizelge 5.11 Pace Regresyon test kümesi sonuç tablosu	110
Çizelge 5.12 Model Kuralları test kümesi sonuç tablosu	111
Çizelge 5.13 DWT-L-BYA-TBM girişi için oluşturulan kurallar.....	112
Çizelge 5.14 En küçük ortalama kareler yöntemi test kümesi sonuç tablosu	113
Çizelge 5.15 DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişi için test kümesi ortak sonuç tablosu	114
Çizelge 5.16 12.000 DWT'luk geminin karşılaştırmalı sonuçları.....	118
Çizelge 5.17 iki model için karşılaştırmalı sonuçlar	118

ÖNSÖZ

Gemi yapımı insanlığın bilinen en eski üretimlerinden biridir. Tarih boyunca gemilerin kullanılması ile dünya ticareti gelişmiş, yeni yerler keşfedilmiş, bu sayede siyasi ve ekonomik gelişmeler ve değişimler yaşanmıştır. Günümüzde de donanması ve deniz ticaret filosu güçlü olan ülkeler dünyada söz sahibi olmaya devam etmektedirler. Ağır sanayi kimliğine sahip gemi inşaatı sanayii; desteklediği ve geliştirildiği bütün ülkelerde önemli bir istihdam potansiyeli yaratan emek yoğun bir sektördür. Ülkemizde ise hep söylendiği gibi üç yanımız denizlerle çevrili olmasına rağmen hak ettiği ilgiyi görememiş, ilgi ve desteğin artırıldığı son on yıl içerisinde gelişmeler olmuştur.

Gemi üretimi tersanelerde gerçekleşir. Tersanelerde üretim aşamaları incelendiğinde, yeni gemi üretimi ve gemi bakım-onarımı şeklinde iki ayrı kategori görülür. Bu iki kategori, farklı görülmekle beraber temel endüstriyel üretim yöntemleri açısından, kullanılan hammaddeler, mamuller ve yarı mamuller açısından, işlemler sırasında çevreye ve insana zararlı atıkları ve kirleticileri açısından benzerdir. Gemi üretiminde kullanılan en önemli prosesler yüzey hazırlama ve raspa, kesme ve kaynakla birleştirme, talaşlı ve talaşsız imalat ve boya işlemleridir. Özellikle raspa, kaynak ve boya işlemleri, işlemler sırasında ve sonrasında zehirli atık ve kirlenici madde ürettiği gözle görülmekle beraber bu konunun bilimsel açıdan yeterince incelenmemiş olması nedeniyle önemli görülmüş ve tez konusu olarak belirlenmiştir. Amaç, bu atıkların üretim aşamasında azaltılıp azaltılamayacağı hakkında bir durum tespiti yapmak ve bir model üretmek olmuştur. Bunun için örnek tersane ve gemiler kullanılarak kirlenici miktarlarının tahmini modelleri üzerinde çalışılmıştır.

Çalışmam boyunca bana inanan, güvenen ve her zaman yanımda olan sayın hocam Doç. Dr. Nurten Vardar'a, eşim ve aileme şükranlarımı sunarım. Ayrıca Jotun Boya A.Ş.'den Gemi İnşaatı Mühendisi Hakan Altınöz'e, Hempel A.Ş.'den Gemi İnşaatı Mühendisi Müjdat Dal'a, Gisan Tersanesi'nden Makine Mühendisi Nihat Özdemir'e, Maden Gemi İnşaat A.Ş.'den gemi inşaatı mühendisi Doğan Maden'e çalışmam boyunca yaptıkları sektörel katkıdan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu çalışmada yeni gemi inşaatı ve onarım sonucunda ortaya çıkan çoklu ortam kirleticileri (toprak, su ve hava) incelenmiştir. Gemi inşaatı ve tamir sektörü imalat ve inşaat endüstrisinin karakteristiklerini içerir. Gemi inşaatı ve tamir sektöründe çok sayıda üretim materyalleri kullanılır ve atık üretilir. Yeni gemi inşaatı ve onarımı pek çok ortak endüstriyel prosesten oluşur. Gerçekte ikisinin de uygulanmasında, benzer yöntemler, işlemler, yan sanayii ve atölyeler bulunur.

Gemi inşaatı ve tamiri sektörü pek çok prosesten oluşur. Bu süreçlerden bazıları, yüzey hazırlama, boya ve astar kaplama, metal kaplama, yüzey tamamlama, çözücü temizleme, yağ giderme, makinelenendirme ve metal işleri, kaynak ve fiberglas işlemleri olmak üzere çeşitlidir. Tersanelerde, gemi üretimi ve onarımı proseslerinden pek çok tipte katı, sıvı ve gaz kirletici maddeler üretilir. Gemi inşaatı ve onarımı endüstrisinde ham madde girişi olarak, öncelikle çelik ve diğer metaller, boya ve çözücüleri, aşındırıcılar, makine ve kesme yağları sayılabilir. Buna ilave olarak yağ temizleyici çözücüler, asit ve alkali temizleyiciler ve kaplama solüsyonları gibi ağır metal ve siyanür iyonları içeren pek çok çeşitli kimyasallar yüzey hazırlama işlemlerinde kullanılmaktadır. Tersanelerde yeni gemi inşaatı ve onarımından kaynaklanan kirleticiler ve atıklar, uçucu organik bileşikler, partiküller, atık çözücüler, yağ ve reçineler, metal artıkları, kirli su, kirli atık boya, atık boya parçaları ve atılan aşındırıcıları içerir.

Yüzey hazırlama yöntemi olarak genellikle aşındırıcı raspa yöntemi kullanılır. Yüzey hazırlamada kullanılan bazı aşındırıcı maddeler ise, çelik bilye, kum, cam, garnet, bakır ya da kömür cürüfları, temizleme sıvıları, deterjanlar, kimyasal boya sökücüleridir. Yüzey hazırlama işlemlerinde atık olarak çıkanlar, gaz emisyonları, aşındırıcı raspadan dolayı parçacık emisyonları ve boya parçalarıdır. Parçacık emisyonları bulunulan alana ya da bir hava akışı söz konusu ise alanı çevreleyen suya toksik metal taşırlar..

Boyama için malzeme girdisi öncelikle boya ve çözücülerdir. Çözücüler boya pigmentlerini yüzeye bağlamak için ve boya ekipmanlarını temizlemek için kullanılır. Boya, krom, titanyumdioksit, kurşun, bakır, tributil-tin türevleri gibi zehirli pigmentler içerirler. Deniz boyalarındaki toluen, etil benzen, ksilen, metil etil keton, etilen glikol, n-hekzan ve aseton içeren organik çözücüler inceltme ve temizleme için kullanılırlar.

Boya atıkları tersanelerde pek çok kategoride tehlikeli atık ürün oluşturmaktadır. Tipik bir tersanede bu işlemler tehlikeli atık ürünlerin yarısından fazlasını oluşturabilmektedir. Bu, artan, fazla püskürtülmüş boya ve fazla uzun süreli olarak kullanılmış pas ve diğer malzemeler tarafından kirletilen boyayı da kapsamaktadır. Genelde boya miktarı geliştirilen ekipmanlarla, alternatif kaplama yöntemleri ve iyi atık yönetim planlarıyla azaltılma yoluna gidilebilir. Boya işleri önemli ölçüde gaz emisyonları ihtiva eder. Boya işlemleri sonucunda önemli ölçüde uçucu organik bileşikler ve tehlikeli kirleticiler oluşmaktadır.

Tersanelerde pek çok farklı kaynak tekniği kullanılmaktadır. Atık genellikle yöntem ve kaynak büyüklüğüne bağlıdır. Önemli ölçüde cüruf ve atık su bu işlemlerin sonunda atık olarak oluşur. Atık su ve cüruf gibi diğer katı atıklar ortamdan gönderilmelidir. Kaynak elektrodları, kablo artıkları ve kaynak tel makaraları bu işlemlerden gelen katı atıklar olarak ortamı kirletir. Kaynak dumanı emisyonu ve parçacıklar bu işlemlerden gelen potansiyel gaz emisyonlarını oluştururlar.

Genelde tersanelerdeki emisyonların tahminlerini hesaplama tekniği olarak aşağıdaki dört yöntem kullanılmaktadır.

- Kaynak örnekleme

- Kütle dengesi
- Tahmini emisyon izleme
- Emisyon faktörleri

Bu çalışmada emisyon tahminleri için iki yeni model geliştirilmiştir. Birincisi kütle dengesi, ikincisi makine öğrenmesi metotları kullanılarak oluşturulmuştur. Her iki yöntem de geminin boyanan birim yüzeyi başına toplam VOC emisyon miktarını hesaplamaktadır.

Bu çalışmada, tersane üretim prosesleri ve atıkları detaylı olarak incelenmiş ve boya emisyonları için tahmin modelleri oluşturulmuştur. Modifiye edilen kütle dengesi modeli iki farklı gemi için uygulanmıştır. daha sonra boya emisyon tahminleri için makine öğrenmesi tabanlı yeni modeller oluşturulmuştur. Yapılan tüm denemeler sonucunda tersanelerde boyama proseslerinden oluşan emisyonların tahmininde yapay sinir ağları yöntemleri ve model ağaçları daha başarılı yöntemler olmuşlardır. Yapılan çalışmalarda emisyon tahminlerinin akıllı sistemlerce modellenebildiği görülmektedir.

Bu alışma sonrasında yapılacak çalışmalarda evre ve insana duyarlı tersanelerin geliştirilebilmesi için alternatif üretim yöntemlerinin uygulanması, geleneksel malzeme ve hammaddeler yerine geçebilecek evre dostu malzemeler kullanılması için yapılacaklar araştırılmalıdır. Bunun yanı sıra atık oluşumunun en aza indirgenmesi, geri kazanım, yeniden kullanım ya da organizasyon yapısında değişiklik seçenekleri araştırılmalıdır. Emisyon tahminleri konusu da sadece boya emisyonu tahminleri ile sınırlı kalınmayıp, raspa ve kaynak yöntemleri için de emisyon tahmin modelleri geliştirilmelidir. Üretim proseslerinin insan sağlığına zarar vermeyecek hale getirilmesi, işe uygun kişisel koruyucu donanımların kullanılması son derece önemlidir. Tersanelerde alışan işçilerin sağlığı üzerine yapılacak disiplinler arası çalışmalar teşvik edilmelidir. Tersanelerde atık ve emisyon oluşturan prosesler irdelenerek, ulusal kurallar ve emisyon standartları belirlenmeli ve daimi olarak izlenmelidir. Gelişmişliğin simgesinin çevreye ve insan sağlığına duyarlılıktan getiği unutulmamalıdır.

Anahtar kelimeler: VOC, emisyon tahmini, makine ğrenmesi, tersane, gemi

ABSTRACT

This study focuses on shipyard processes, and associated multimedia pollutant emissions (solid, liquid and air) resulting from shipbuilding and ship repair activities. The shipbuilding and repair industry has characteristics of both manufacturing industry and construction industry. The shipbuilding and repair industry uses and produces a wide variety of manufactured components in addition to basic construction materials. New ship construction and ship repairing have many industrial processes in common. They both apply to essentially the same manufacturing practices, processes, facilities, and support shops.

The shipbuilding and repair industry consists of several processes. Some of these processes include surface preparation, painting and coating, metal plating and surface finishing, solvent cleaning and degreasing, machining and metalworking, welding, vessel cleaning, and fibreglass operations etc. They consume various types of products and produce solid, liquid, and gaseous pollutants. Many different production processes employed in shipbuilding and repair require a vast amount of material inputs and generate large amounts of waste and considerable emissions. Raw material inputs to the shipbuilding and repair industry are primarily steel and other metals, paints and solvents, blasting abrasives, and machine and cutting oils. In addition a variety of chemicals are used for surface preparation and finishing such as solvent degreasers, acid and alkaline cleaners, and plating solutions containing heavy metal and cyanide ions. Pollutants and wastes generated include volatile organic compounds (VOCs), particulates (PM), waste solvents, oils and resins, metal bearing sludges and wastewater, waste paint, waste paint chips, and sent abrasives.

Common surface preparation method adopted by the shipyards is abrasive blasting. Material inputs used for preparing surfaces include; abrasive materials such as steel shot or grit, glass, garnet, copper or coal slag; cleaning water, detergents, and chemical paint.

Air emissions from surface preparation operations include particulates emissions of blasting abrasives, and paint chips. Particulates emissions can also contain toxic metals which are concerns both in the immediate area surrounding the work and if they are blown off-site or into surrounding surface waters.

Material inputs for painting are primarily paints and solvents. Solvents are used in the paints to carry the pigment and binder to the surface, and for cleaning the paint equipment. Paints contain toxic pigments such as chromium, titanium dioxide, lead, copper, and tributyl-tin compounds. The organic solvents contained in marine paints and used for thinning and cleaning are also likely to contain toluene, ethyl benzene, xylene, methyl ethyl ketone, ethylene glycol, n-hexane and acetone.

Painting wastes are believed to be the largest category of hazardous wastes produced in a shipyard. In a typical shipyard it may account for more than half of the hazardous wastes produced. This may include leftover paint, overspray, paint that is no longer usable, rags and other materials contaminated with paint. In many cases the amount of paint can be reduced through the use of improved equipment, alternative coatings, and good operating practices. Painting activity involves significant air emissions. Volatile organic compounds and hazardous pollutants result from painting operations that are of concern.

There are many different welding techniques used by the shipbuilding industry. The waste generally depends on the methods and magnitude of welding employed. A considerable amount of slag and wastewater is produced by these processes. The wastewater is sent for onsite/offsite treatment and other wastes such as slag are disposed as solid wastes. Welding rod stubs, wire stubs contaminated with flux and welding wire spools are the solid wastes that come from these activities. Welding fumes and particulates emissions are the potential air

emissions from these operations.

In general, there are four types of emission estimation techniques that may be used to estimate emissions from shipyard facilities;

- sampling or direct measurement,
- mass balance;
- predictive emission monitoring
- emission factor

For the estimation of emissions, two new methods have been designed in the result of the study. The first is based on mass balance and the second method is based on machine learning methods. Both mass balance and machine learning methods are used to calculate the amounts of total VOC emissions per specific painted area of ships.

In this study, shipyard production processes and wastes are investigated in detail and paint emission assumption models are generated. Modified mass balancing model is implemented for two different ships and machine learning based paint emission assumption models are generated. The study results show that, neural network and model tree methods are better in paint emission assumption models. These studies show that the emission assumptions can be modeled by artificial intelligence systems.

The following studies will give the alternative production methods and raw material to replace the traditional used raw material with the aim of environmental and human responsive shipyards. The ways to decrease the process wastes, recycle, reuse and organizational change opportunities should be investigated. Emission assumptions should not be limited with paint emission assumptions and should be enlarged to blasting and welding emission estimation methods. Non-hazardous production processes on human health and appropriate personal protective equipment (PPE) usage is extremely important. Multi discipline studies on shipyard workers health should be supported. Shipyard processes with emission and waste outcome should be investigated; national rules and emission standards should be clarified and traced. The sign of development is permanent with environmental and human health responsibility

Keywords: VOC, emission estimation, machine learning, shipyard, ship

1. GİRİŞ

Gemi imalatı, insanlık tarihinin bilinen en eski üretimlerinden biridir. Dünya deniz ticaretinin ve ülke savunmasının önemli bir aracı olan gemiler, denizcilik faaliyetlerinin en önemli parçasıdır. Tarihte en ilkel anlamdaki tersanelerde imal edilen gemiler bile gerek savaşlarda gerekse ticaret yollarında büyük rol oynamışlar ve çoğu zaman tarihin akışını değiştirmişlerdir.

Dünyada hızla gelişen teknolojilere paralel olarak, günümüzde, gemi inşa sanayi, yük ve yolcu taşımacılığı için gemi inşası başta olmak üzere, bakım-onarım, gemi söküm sanayi, gezi ve deniz turizmi gibi başlı başına bir endüstri alanı olduğu kadar, aynı zamanda bir ticaret ve hizmet dalıdır.

Dünyada, yaklaşık 6 milyon ton yük, 800 milyon DWT kapasitedeki dünya deniz ticaret filosuyla taşınmakta olup, bu pastanın büyüklüğü, 300 milyar dolar civarındadır. Ülkemizin filosu, 8 milyon DWT ile dünya deniz ticaret filosunun ancak yüzde 1'ini oluştururken, bu pastadan, sadece 3 milyar dolarla, yüzde 1'lik bir pay alabilmektedir. Gemi inşa ve denizcilik sektörüne önem veren pek çok ülke, bu pastadan çok daha büyük dilimler koparmaktadır. Gemi inşa sanayi, çelik sanayi, makine imalat sanayi, elektrik-elektronik sanayi, boya sanayi ve lastik-plastik sanayi gibi pek çok sanayi kollarınca da beslenen bir sanayi dalı olması nedeniyle çok yönlü fayda yaratma özelliğindedir. Bu anlamda emek yoğun karakteri ve yarattığı geniş faaliyet alanı ile Türkiye'deki istihdam sorununun çözümüne önemli katkılarda bulunabilme niteliğindedir (Gören ve Barlas, 2006).

Ürettiği mal ve hizmetler itibariyle doğrudan veya dolaylı olarak her zaman uluslararası rekabete maruz bulunan ve ulusal ve uluslararası normlara göre yönlendirilen gemi inşa sektörü, ülkemiz için askeri, ticari ve sosyal açıdan özel bir öneme sahiptir. Ülkemizde modern anlamda tersaneciliğin gelişmesi Cumhuriyet dönemi ile birlikte başlar. Cumhuriyet döneminin başlarında, 1928 yılından itibaren Gölcük Tersanesi'nin kuruluş çalışmaları başlamış ve bu çalışmalar 1934 yılında yeniden projelendirme teşebbüsleriyle sürdürülmüştür. Türk Deniz Ticaret Filosu'nun ihtiyacı olan gemilerin inşa edilebilmesi amacıyla, İstanbul'da 1939 yılında Pendik tersanesinin yapımı için çalışmalara başlanılmıştır. Cumhuriyet devrinde planlı dönemin 1963 yılında başlatılmasına kadar geçen süre içerisinde, yurtiçi tersanelerde çeşitli tip ve tonajlarda gemiler inşa edilmiştir. Türkiye'de planlı dönemin 1963 yılında başlamasıyla, 5 yıllık kalkınma planları kapsamında, gemi inşa sanayi ve deniz taşımacılığı konuları yer almıştır (Koçak, 2007).

Gemi inşaatı ve tamir sektörü, imalat ve inşaat endüstrisinin karakteristiklerini içerir. Gemi inşaatı ve tamir sektöründe çok sayıda hammadde, mamul ve yarı mamul kullanılır. Yeni gemi inşaatında ve mevcut gemilerin bakım onarımında kullanılan proseslerde, ortak atölye özellikleri ve yan sanayi kullanılır. İkisi de iyi bir planlama, mühendislik, kısımlar arası iletişim gerektirir. Yeni gemi inşaatı iş gücü ve kapasite büyüklüğü, bölümlerin fazlalığı, iş akışının daha karmaşık olması bakımından, onarıma göre daha büyük bir yapılanma ve organizasyon gerektirir. Yüzey hazırlama metotları, raspa, boyama işleri, kesme ve birleştirme prosesleri, talaşlı ve talaşsız imalat, fiberglas imalat, tekne temizleme işlemleri, tersanelerde kullanılan imalat yöntemlerinden en önemlileridir. Gemi inşaatı ve onarımı endüstrisinde ham madde girişi olarak, öncelikle çelik ve diğer metaller, boya ve çözücüler, raspa ve aşındırıcılar, makine ve kesme yağları sayılabilir. Buna ilave olarak yağ temizleyici çözücüler, asit ve alkali temizleyici ve solüsyonlar gibi ağır metal ve siyanür iyonları içeren çeşitli kimyasallar da üretim aşmalarında kullanılmaktadır.

Gemi imalatında kullanılan ana hammaddelerden biri de yumuşak ve yüksek alaşımli çeliklerdir. Bunun yanı sıra alüminyum ve diğer demir içermeyen malzemeler de imalatta sıklıkla kullanılmaktadır. Tersanelerde imalat yöntemleri gereğince parçaların birleştirilmesi işleminde kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Buradaki ana amaç birleştirilecek yüzeylerin özelliklerine uygun dolgu malzemesini yüksek sıcaklıkta parçalarla beraber ergiyik bir havuz haline getirmektir (Risk and Technology, 2007). Ticari anlamda 80'den fazla kaynak yöntemi mevcuttur. Elektrik ark kaynağı ise tüm sektörlerde en çok kullanılan birleştirme metodudur. (USEPA AP-42, 1994). Tersanelerde neredeyse her atölye ve alanda kaynakla birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. En çok uygulanan yöntemler ise ark kaynak ile tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleridir. 1960'lı yıllardan itibaren kaynak metotları alanındaki teknolojik gelişmeler sayesinde, yüksek mukavemetli, düşük alaşımli çeliklerin gemi ve deniz platformları inşaatı alanında kullanımları artmıştır (Liu, 1996).

Yüzey hazırlama, tersanelerde özellikle boyama işlemleri öncesinde uygulanan önemli bir üretim kademesidir. Gemilerde boyanan yüzeylerin çok küçük bir oranı, yüzey hazırlama uygulaması gerektirmez. Yani, tamamına yakın yüzey boya işlemi için hazırlanmalıdır. Yüzeyin boyama öncesinde hazırlanması, boyanın yüzeye mümkün olduğunca iyi yapışmasını ve uygulanan kaplamanın dayanıklılık ve güvenilirlik özelliklerinin iyi olmasını sağlamaktadır (NPI, 1999b). Yüzey hazırlama metotları uygulanmazsa, boya, yüzeye bağlanma problemleri nedeniyle istenilen kaplama koşullarını sağlayamaz (NPI, 1999a). Yüzey hazırlamada, eski kaplamanın sökülmesi ve yüzeyin yeni boya için temizlenmesi

olmak üzere iki temel adım vardır. Yeni gemi inşaatı sırasında, genellikle yüzeydeki pas tabakası veya primer boya temizlenir. Onarıma gelen gemilerde ise, öncelikle yüzeydeki deniz organizmaları ve tuzun yüzeyden temizlenmesi gerekmektedir (NPI, 1999b). Metal yüzeyleri boyaya hazırlamak için seçilecek metot yüzeyin boyalı olmasına, yüzeyde kirletici bulunmasına, yüzeyin boya için uygun özellikleri taşımasına, metalin özelliklerine bağlı olarak değişir (Kura ve Lacoste, 1996). Tersanelerde en çok kullanılan yüzey hazırlama metotlarından biri olan raspa, aşındırıcı parçaların basınçlandırılarak yüzeye püskürtülmesi ile uygulanan bir yöntemdir (NIOSH, 2001). Raspa işlemlerinde kullanılan ana malzemeler bakır ve kömür cürufu, grit, çelik bilyeler, mineral tuzları, tahıl tozu, cam gibi aşındırıcı malzemeler, su, deterjan ve metilen klorid esaslı kimyasal boya sökücülerdir (USEPA, 1997).

Boya, gemi yüzeyinin korozyondan korunması için uygulanan en önemli maddedir. İmalatın pek çok aşamasında özellikle açık alanlarda uygulanır (Kura vd., 1998). Gemilerin büyük olması ve her noktasına erişiminin zor olmasından dolayı tersanelerde boya işlemleri genellikle açık alanlarda, ön blok imalatı sonrasında küçük parçaların boyanması da kapalı alanlarda gerçekleşmektedir (USEPA AP-42, 2001). Yeni inşa yöntemlerinde gemi modüller olarak birleştirildiğinden boyama işlemleri birçok aşamada ve tersanenin farklı yerlerinde yapılabilir. Eğer boya ve tamir işleri su hattının altında gerçekleştirilecekse gemi havuza alınır.

Gemi üretiminde özel kaplama gerektiren beş ana kısım mevcuttur bunlar; üst bina, güverteler, yaşam mahalleri, tanklar ve gemi omurgasının su altında kalan kısmıdır. Denize ait kaplamalar gemilerin denizden gelen aşındırıcı ve biyolojik etkilerden korunması için hayati önem taşımaktadır. Çoğu deniz boyası korozyon koruması, ısı ve yangına karşı dayanıklılık ve çürüme önleyici gibi ek özellikler taşımaktadır (USEPA, 1997). Gemilerde özellikle dış yüzeylerin boyanması işlemlerine uygulanan boya katlarının fazla olması sebebiyle, kaplama işlemi denir. Boyama ve kaplama uygulamaları korozyondan korunmanın yanı sıra gemi bünyesine deniz canlılarının yapışması ve birikmesini engellemek için de uygulanır. Gemi inşaatı sektöründe en çok kullanılan boyalar, antikorozyif ve antifouling diye iki gruba ayrılır.

Gemi imalatında su bazlı boyalardan yüksek performanslı epoksi boyalara kadar değişik tipte boya uygulaması mümkündür (NPI, 1999a). Boya üç ana kısımdan oluşur: pigment, bağlayıcı ve solvent. Pigment kaplamaya renk veren kısımdır. Pigmentlere örnek bakır oksit, karbon, kurşun, alüminyum, çinko verilebilir. Bağlayıcı, yüzey ile pigmenti bir arada tutmaya yarar. Pek çok boya, bağlayıcısına göre (epoksi, alkid, üretan, vinil, fenolik) isim alır. Bağlayıcı boyanın esneklik, kimyasal direnç, dayanıklılık gibi özelliklerini de belirler. Solvent bütün

boya bileşiklerini bir arada yüzeye tutundurmaya yarar. Aseton, mineral özler, ksilen, metil etil keton ve su gibi solventin bir kısmı uçar.

Gemi yüzeyinin su içerisinde kalan kısmına yapışarak büyüyen organizmalar gemi yakıt tüketiminde artış, bölgeler arası türlerin taşınımı vb. olumsuz sonuçları nedeniyle istenmeyen maddelerdir. Bu organizmaları uzaklaştırmak amacıyla antifouling maddeler kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze kullanılan antifouling maddelerden kalay içeren Tributiltin (TBT) ve türevlerinin deniz ekosistemlerine verdiği kalıcı zararlar belirlenmiş ve bu nedenle başta Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından (IMO-International Maritime Organization) olmak üzere TBT kullanımına kısıtlama ve yasaklar getirilmiştir (Okay, 2004).

Ağır sanayi olarak kabul edilen gemi imalatı sektörü gerek hammadde gerekse üretim prosesleri açısından değerlendirildiğinde, uygulanan üretim proseslerinin tümüne yakını kirletici olarak çevre ve insan sağlığına etki etmektedir. Tersanelerde, gemi üretimi ve onarımında kullanılan süreçler pek çok tipte katı, sıvı ve gaz kirletici atık maddeler üretmektedir. Bu atık ve kirleticiler önlem alınmadığı takdirde özelliklerine göre hava, su ve toprağı kirletmektedirler.

Son yıllarda küresel ısınmanın etkilerinin artarak hissedilmesi nedeniyle tüm sektörlerin çevreye verdikleri zararları tekrar gözden geçirmesine ve acil önlemler almasına gerek duyulmuştur. İklim değişikliği raporuna göre Dünya'nın ekolojik durumu "ince bir buz üzerinde" olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, özellikle sanayi ve ekonomik olarak gelişmiş ülkelerde çevre ve insan sağlığına verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC), Altı yıl boyunca 2500 bilim adamının katkıları sonucunda hazırladığı ve Paris'te 100'den fazla hükümetin temsilcisi tarafından da tartışılarak onaylanan raporunda, küresel ısınmanın nedenlerini ve etkilerini özetlemektedir. Hazırlanan raporda, 1750 yılından beri atmosferde karbondioksit, metan ve nitrojen oksitlerin artarak devam ettiğini ve 2007 yılı itibarı ile son 650.000 yılın en yüksek seviyelerinde olduğunu belirtilmektedir. Konferansta Chris Tomas: "İnsanoğlu fosil yakıtları bu oranda kullanmaya devam ederse, 2050 yılına kadar, bir milyonun üzerinde bitki ve hayvan türü yok olacak ve dünyada yaşayan yaşam türlerinin üçte biri yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalacaktır" diyerek küresel ısınmanın etkilerinin doğuracağı sonuçları özetlemiştir. Bu nedenlerden dolayı da gemi imalatı ve onarımı sektörünün atık ve kirleticilerinin de minimuma indirgenmesi çevre ve insan sağlığı ve dünyanın geleceği açısından dünyada oldukça önemli bir hal almıştır [1].

Bütün bunların sonunda teknolojik ve ekonomik açıdan gelişmiş ülkelerde örgütlü toplum bilinci giderek ilerlemiş, çevre ve doğal hayatı koruma (hava, su, toprak, bitki ve hayvan toplulukları, insan, bu unsurlar arasındaki ilişkiler, doğal kaynaklar vb.) bilinci üretim ve tüketim ilişkilerinin belli standartlarda olmasını zorunlu kılmıştır. Gelişmiş ülkeler ürün ve üretim faaliyetlerini, yasal uygulamalardan çok piyasa kuvvetleri tarafından kontrolünü sağlayan bazı çevre yönetimi programlarının uygulamasını yürürlüğe koymuştur (Vardar, 2004). Bu amaçla gemi inşaatı sektörüne baktığımızda, sadece yukarıda kısaca bahsedilen, kaynakla birleştirme, raspa ile yüzey hazırlama ve boyama proseslerini ana prosesler olarak kabul ettiğimizde ortaya atık ve kirleticiler yönünden çözülmesi gereken büyük bir sorun çıkmaktadır. Bu atık ve kirleticilerin azaltılması ya da çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde imhası son derece önemlidir. Son yıllarda kirliliği önlemenin en önemli adımının kirlilikten korunma olduğu görülmüştür. Kirlilikten korunmanın birincil hedefi ise üretim süreci sırasında atık ve kirleticilerin minimize edilmesidir. Bunun yanı sıra maliyetleri arttırmayacak çalışmalar yapılması, çevre yönetimi metotları geliştirilmesi ve üretim proseslerine alternatif prosesler geliştirilmesi gerekmektedir.

Dünyada bilimsel çalışmaların yarattığı yenilikler ve gelişmeler, üretilen her bir üründe kendini göstermektedir. Bilimsel çalışmalar sonucunda yeni üretim teknikleri ve yeni ürünler geliştirilmektedir. Bilimin endüstrideki itici gücü tüm dünyada kabul gören bir olgudur. Tersanelerin üretim proseslerinin bilim tarafından sorgulanması sonucu yeni birleştirme teknikleri geliştirilmekte, daha güçlü ve kalıcı boyalar üretilmekte, çevreye daha az zararlı raspa malzemeleri geliştirilmektedir ve sonuçta bütün bunlar çevreye duyarlı gemi üretimi yapımını sağlamaktadır. Aşağıda tersanelerin üretim proseslerini inceleyen ve gerekli gelişmeler sağlamaya çalışan bilim adamlarının çalışmalarından söz edilecektir.

Bu konularda literatürde rastlanan ilk ve en çok çalışma Bhaskar Kura tarafından yapılmıştır. Kura ve Lacoste (1996) yaptıkları çalışmada tersanede üretim prosesleri sırasında ortaya çıkan atıkları incelemiştir. Kura vd., (1996-1998) gemi üretimi ve onarımında toksik kimyasal emisyonlarının salınım riski konusunda çalışmışlardır. Kura, Tadimalla ile (1998, 1999a,b) tersanelerde kirlilikten korunma yöntemleri konusunda, tersane atık sularının oluşma nedenleri, minimizasyonu ve arıtılması üzerine çalışmışlardır. Kura ve çalışma arkadaşları tersanelerde kullanılan katı, sıvı ve gaz malzemelerin üretim prosesleri esnasında kirleticiliği konusunda da çalışmalar yapmıştır (1998, 2006a,b). Tersanelerdeki atık sular ve atık azaltımı konusundaki ilk çalışmalar da Kura ve arkadaşları tarafından 1998 yılında yayınlanmıştır. Kaynak işlemlerinden ortaya çıkan hegzavalan krom bileşiklerini inceleyen Kura ve Mookoni

(1997, 1998b), EPA ve OSHA'nın aldığı kararlar gereğince ortaya konulan maruz kalma limitlerini deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca Kura ve Mookoni (1998a) tersane üreticilerinin kanunlar ve yönetmeliklere uyum sürecinde karşılaştıkları çevresel sorunlar ve çözümlerini içeren çalışmalarında, yürürlüğe giren ulusal ve yerel çevresel kurallara uyum sürecindeki tersaneler için yol haritası çizmişlerdir. Kura ve arkadaşları tersanelerde kesme işlemi ile ilgili emisyon faktörü çalışması yaparak ortaya çıkan hava emisyonlarını deneysel olarak incelemiştir (1999, 2000). Kura (2002a) yaptığı çalışmada tersane çevre yönetimi için bilgisayarlı karar destek sisteminin uygulanmasından bahsetmiştir. Hammadde harcamalarını ve buna bağlı atık miktarlarını hesaplama yöntemini ortaya atmıştır.

Gemi üretiminde en çok kullanılan yüzey hazırlama yöntemi aşındırıcı raspadır. Raspa işlemi sonrasında katı, sıvı ve gaz formunda çevre ve insan sağlığına etkileri olan kirleticiler açığa çıkmaktadır. Woodward ve Judson (1987) 4. American Waterjet Konferansında çelik yüzeylerde yüksek yüzey kalitesi oluşturulması için dizayn ettikleri su jeti nozulunu ortaya koydukları bildirilerini sunmuşlardır. Kinsey, (1995) EPA tarafından yayınlanan raporda raspa işlemi sırasında açığa çıkan emisyon katsayılarını belirlenmiştir. Atıkların tasnifi ve azaltılması konusunda, Salome ve Morris, (1996) yaptıkları çalışmada aşındırıcı raspa malzemelerinin artırılması işlemleri sonrasında ortaya çıkan atıkların çevre ve işçi sağlığı üzerine olan etkilerini incelemiştir. Daha sonra Sowell, (1998) aşındırıcı raspa malzemelerinin çevresel riskleri ve atıkların azaltılması konusunda çalışmıştır. Ault ve Stark, (1999) çalışmalarında, alüminyum yüzeylerde aşındırıcı raspa yöntemlerine alternatif olarak kullanılacak sistemleri deneysel ortamlarda test edilmiş, alternatif mekanik yüzey hazırlama yöntemleri incelemiştir. Kura, (2000) tersanelerde özellikle raspa işlemlerinde, atıkların azaltılması, kaynakların verimli kullanılabilmesi ve lojistik yönetiminin sağlanması amacıyla, malzeme yaşam döngüsü maliyeti hesaplamaları ve yaşam döngüsü yaklaşımı geliştirmiştir. Iborra vd., (2001) gemilerde raspa işlemlerinde kullanılan grit raspa sistemleri için çevreye duyarlı raspa robotu prototipi geliştirmiştir. Austin vd., (2002) yaptıkları çalışmada aşındırıcı raspa teknolojilerini avantajları ve dezavantajları yönünden karşılaştırmışlardır. Çalışmada ayrıca kuru aşındırıcı sistemlerde yeni gelişmeler değerlendirilmiş ve kapalı çevrim raspa sistemleri önerilmiştir. Raspa ile ilgili yapılan çalışmalarda raspa malzemelerine alternatif malzemeler, var olan raspa yöntemlerinde yenilikler, emisyonlar, emisyonların tahmin ve azaltılması ve insan sağlığı üzerine etkileri üzerine çalışmalara rastlanmaktadır. Bu konuda Gould ve Wilson, (2003) yaptıkları çalışmada kömür cürufu, cam grit ve diğer aşındırıcı malzemeleri çevre ve sağlık yönünden incelemiştir. Cam gritin geri dönüşebilen malzeme olması dolayısı ile diğer aşındırıcılara

göre çevreye daha az zarar verdiği belirtilmiştir. Flynn ve Susi (2004), raspa işlemleri sırasında işçilerin maruz kaldığı silika kumu, kurşun, bakır, krom ve diğer toksik hava kirleticilerini incelemiştir. Rosenberg vd., (2006), çalışmalarında yüksek basınçlı raspa tabancası ile çelik grit raspa tabancasını ergonomiklik ve kullanım biçimleri yönünden karşılaştırmışlardır.

Literatürde alternatif raspa malzemeleri üzerine de çalışmalara rastlanmıştır. Kura ve Lacoste, (1996). Stratford, (2000) Elbing vd, (2003) kuru buz raspası ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Uhlmann vd., (2006) kuru buz raspası ve lazer teknolojisini birleştirerek yüzey hazırlama yöntemlerine yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Kullanılan lazer teknolojisiyle yüzey raspaya hazır hale getirilmekte ve kuru buz raspası uygulanmaktadır.

Gemi üretiminde saclar ve profiller kesilir, şekillendirilir ve çeşitli kaynak yöntemleri ile birleştirilir. Genellikle elektrik ark kaynağı, gazaltı ve tozaltı kaynağı yöntemleri kullanılır. Tersanelerde kaynak proseslerinden ortaya çıkan en önemli kirletici kaynak dumanıdır. Hava kirletici emisyonlarının izlenmesi kaynakla imalat yapan büyük endüstriler için bir zorunluluktur. Ancak emisyonların ölçülebilmesi için mevcut yöntemler pahalı olmaktadır; bunun yerine tahminsel modeller çözüm olarak sunulmaktadır. Çevresel kanunlar dünya üzerinde ülke ve bölge bazında farklılık gösterebilmektedir. Bu konuda literatürde birçok çalışma mevcuttur. Amerika Birleşik Devletleri'nde emisyon tahminleri üzerine çalışan en büyük kurum Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından emisyonların hesaplanabilmesi için sektörel bazda hazırlanan AP-42 (1972) havayı kirleten emisyon faktörlerinin hesaplarını veren bir dokümandır ve yeni tariflerin ve hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesi sayesinde sürekli güncellenmektedir. Matczak vd., (1989) çalışmalarında kaynak dumanı içindeki çözünebilir ve çözünemeyen Cr^{+3} ve Cr^{+6} bileşiklerini analitik olarak hesaplamışlardır. Matczak ve Chmielnicka vd., (1989) yaptıkları çalışmada kaynak dumanında ortaya çıkan çözünebilir ve çözünemez formlarda Cr(III) ve Cr(VI) bileşiklerinin analitik olarak çözümü ve işçi maruz kalma miktarlarını hesaplamışlardır. Hewett, (1995a) çalışmasında alaşımlı çelik ve paslanmaz çeliklere uygulanan tozaltı ve gazaltı kaynağı harcamalarını ve partikül boyutlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada bulunan bulgulara göre, metal alaşımlarının oranları ile duman kütlelerinin oranları birbirine benzer özellikler göstermektedir. Bunun yanı sıra kullanılan malzemeye ve yönteme göre duman bileşimi değişiklik göstermektedir. Yine Hewett (1995b) örtülü metal ark kaynağı ve gaz metal ark kaynağı yöntemlerinden işçi maruz kalmalarını geliştirdiği matematiksel model ile hesaplamıştır. Burada gaz metal ark kaynağı dumanı ve maruz kalmalar örtülü metal ark

kaynağına göre % 60 daha fazladır. Bu çalışmaya göre gaz metal ark kaynağı, örtülü metal ark kaynağına göre insan sağlığı açısından daha fazla zararlıdır. Chung ve Carter, (1996) MAG kaynağı ve özlü tel ark kaynağı yöntemleri ile yapılan çalışmalarda partikül boyutlarını incelemiştirlerdir. Kura, (1998) çalışmasında özlü elektrodla yapılan kaynak yönteminden çıkan dumanın diğer yöntemlere göre daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Antonini vd., (1998) tarafından yapılan çalışmada, paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında oluşan yeni kaynak dumanı ortamda bulunan eski dumana göre, daha tehlikeli olduğu gözlenmiştir. Bosworth ve Deam, (2000) yaptıkları deneysel çalışmada duman formasyon oranı ile gazaltı kaynağında damlacık boyutu arasında bir ilişkinin olduğunu bulmuştur. Zimmer ve Biswas, (2001) en çok kullanılan kaynak yöntemlerinden ark kaynağı yöntemlerinin duman karakteristiklerinin anlaşılabilmesi için gazaltı ve tozaltı kaynaklarının dumanlarını analiz ederek hem duman karakteristikleri hem de dumanın akışının incelenmesi ile işçilerin dumana maruz kalma durumları için senaryolar oluşturmuşlardır.

Kaynak dumanı ve ölçülmesi konusundaki AB standartları, 1996 yılında CEN/TC121/SC9/WG2 standardıyla belirlenmiştir. Buna göre operatörün solunma alanı ve maruz kalma alanları tanımlanmıştır. Özellikle tersanelerde sıklıkla kullanılan gazaltı kaynağı emisyonlarının emisyon faktörleri, kaynak dumanının işçi sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin tespiti ve önlenmesi için hazırlanmıştır ve geliştirilmektedir (NSRP, 2000). Hewett, (1995a) çalışmasında alaşımlı çelik ve paslanmaz çeliklere uygulanan tozaltı ve gazaltı kaynağı harcamalarını ve partikül boyutlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada bulunan bulgulara göre, metal alaşımlarının oranları ile duman kütlelerinin oranları birbirine benzer özellikler göstermektedir. Bunun yanı sıra kullanılan malzemeye ve yönteme göre duman bileşimi değişiklik göstermektedir. Yine Hewett, (1995b) örtülü metal ark kaynağı ve gaz metal ark kaynağı yöntemlerinden işçi maruz kalmalarını geliştirdiği matematiksel model ile hesaplamıştır. Burada gaz metal ark kaynağı dumanı ve maruz kalmalar örtülü metal ark kaynağına göre % 60 daha fazladır. Bu çalışmaya göre gaz metal ark kaynağı, örtülü metal ark kaynağına göre insan sağlığı açısından daha fazla zararlıdır. Mener vd., (2001), boyutları 10 mikron ve 2.5 mikron mertebesinde olan partikül emisyonları olan PM_{10} ve $PM_{2.5}$ emisyonlarını da kapsayacak şekilde 200'ün üzerindeki deneysel ve matematik modelleme çalışmaları sonucunda tersanelerde en çok kullanılan elektrod ve tel çeşitleri için kaynak emisyon faktörlerini geliştirmiştir. Stopford, (2005) kaynak dumanı ile ilgili araştırmalar yaparak, kimyasal özelliklerinin yanı sıra partikül boyutları ve oranlarını da incelemiştir. Jenkins ve Eagar, (2005) kaynak dumanı partiküllerinin kimyasal analizleri için geliştirilen teknikleri incelemiştirlerdir. Kaynak dumanında manganeze diğer bileşenlere göre daha az

miktarlarda rastlanmaktadır. Buna rağmen kaynak dumanına maruz kalınan manganez, işçiler için nörolojik sağlık riski oluşturmaktadır (Antonini vd., 2006a; 2006b).

Literatürde kaynak dumanının azaltılması ve alternatif yöntemler kullanılması konusunda yapılan çalışmalar da bulunmaktadır. Zachary ve Jacobs, (1995) kaynak dumanı ve tozunu filtre edebilmek için elektrostatik filtreler ve mekanik filtreler geliştirmişlerdir. Çalışmada mekanik ve elektrostatik filtrelerin bakım onarım, filtrasyon etkisi ve maliyetleri bakımından karşılaştırılmıştır.

Kura, (2002b) tersanelerde kullanılacak hafif, taşınabilir ve özellikle gemi üzerinde kullanılabilen lokal duman tahliye ekipmanları üzerine çalışmıştır. Yapp vd., (2001) tersanelerde kullanılmak üzere düşük yoğunlukta kaynak dumanı oluşumu sağlayan ve hafif olan kaynak tabancası geliştirmişlerdir. Harris ve Castner, (2003) tersanelerde kullanılan kaynak yöntemlerinde dumanın azaltılması ve çevreye daha az zarar verilmesi için mekanizasyon ve otomasyona geçilmesinin zorunlu olduğundan bahsetmektedir. Tersanelerde panel hatlarında yapılan çalışmalarda otomasyona geçiş sağlanması durumunda dumanda heksavalan krom bileşiklerinin % 85 oranında, manganez maruz kalmalarının da % 40 oranında azaltılabildiğini göstermektedir. Paslanmaz çeliklerin kaynağında kromsuz kaynak malzemesi kullanılması ile ilgili yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Paslanmaz çelikler korozyon direnci açısından imalatta tercih edilmektedirler (Frankel ve Lippold, 2004). Su altı lazer kaynağında kaynak kalitesi diğer kaynak parametreleri ile örtünün niteliğine bağlı olarak değişmektedir. Zhang vd., (2004) yaptıkları çalışmada kızılötesi ve ultraviyole sensörlerle su içinde oluşan emisyonları ve kaynak kalitesinin ilişkisini incelemişlerdir. TIG kaynağında otomasyonun ve robotizasyonun sağlanması sonrasında kaynak verimliliği oldukça artmıştır. Christodoulou, (2005) çalışmasında yüksek alaşımlı çeliklerin kaynağındaki kırılma direnci ve kaynak dumanına etkisini azaltmak için itriyum ve flüorür içeren özlü teller geliştirilmesi üzerine çalışmıştır Pires vd., (2007) çalışmalarında 7 adet örtü gazını inceleyerek duman emisyonuna etkisi araştırmışlardır.

Kaynak işlemlerinde yeni teknolojilerin kullanılması üretim kalitesini arttırmakta ve kaynak işlemlerinin çevre ve insana verdiği zararların azaltılmasını sağlamaktadır. Kaynak üretiminin önemli ölçüde arttıran kaynak robotları, işçi kusurlarından bağımsız olarak çalışabilmektedir. Ancak gemi iç bünyesinde kaynak yapılacak yerler karmaşık yapıda olduğu için portatif kaynak robotlarının geliştirilmesi gündeme gelmiştir. Robot sistem, taşınması ve montajı kolay ve dar alanlarda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kaynak dumanının azaltılması, ekonomiklik ve kaynak hassasiyeti açısından sistemin avantajları mevcuttur

(Blasko vd., 1991). Sagatun ve Kjelstad, (1995) tarafından yapılan çalışmada, tersanelerde kullanılmakta olan robot teknolojileri ve tersanelere adaptasyon süreçleri incelenmiştir. Kaynak robotları, toplam işlem zamanında % 50-70 azalma ile produktiviteyi arttırmaktadır. Auriol vd. (1999), tersaneler için dünyanın en büyük iş hacimli kaynak robotunun tasarımını geliştirmişlerdir. NIOSH altı yönde çalışabilen nümerik kontrollü robot kaynak kolunu ve duman emme sistemlerini deneylerde kullanılmak üzere hazırlamıştır. Bunun sayesinde dumana maruz kalma miktarları önemli ölçüde modellenebilmektedir (Antonini vd., 2006a; 2006b).

Bilgisayar destekli tasarım(CAD) ve bilgisayar destekli imalat (CAM) son 20 yıllık zaman diliminde büyük gelişmeler kaydetmiş ve günümüzün vazgeçilmez imalat yöntemi olmuştur. Madden vd., (1991)'nin çalışmaları tersanelerde kullanılacak kaynak yöntemleri için geliştirilen işlemsel zeka yöntemlerini kullanan weldexcell sisteminin prototip çalışmalarını konu almaktadır. Kaynak parametreleri olan voltaj, ilerleme hızı, tel besleme hızı, kaynak açısı gibi parametreler kaynak mühendisliği açısından çok önemli verilerdir. Bu veriler yapay sinir ağları tabanlı modeller ile işlenmektedir. Schoder ve Elkouh, (2004) yaptıkları çalışmalarda adaptif kontroller için bulanık mantık ve diğer nöron ağları gibi yapay zeka metodları denenmiştir. Kaynak dumanı tahminleri konusunda son yıllarda kullanılmaya başlanılan yapay sinir ağları yöntemleri lineer olmayan ilişkilerin kurulmasında oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Ionescu ve Candau, 2007).

Gemi üretiminde boyama işlemleri ön blok imalatı, blok imalatı, kızakta ve havuzda birleştirme işlemleri süresince devam eden bir uygulamadır. Boyama prosesleri, tersanelerde kirletici ve emisyon oluşturan proseslerden en önemlisidir. Tersanenin açık veya kapalı her alanında yer alan birinci derecede emisyon kaynağıdır. Boya, uygulanırken ve kururken ortaya çıkan VOC (Volatile Organic Compound-uçucu organik bileşikler) ve HAP (Hazardous Air Pollutant- tehlikeli hava kirleticiler) dir. Boyama proseslerinden kaynaklanan katı atıklar genellikle kullanılmış boya ve solvent kutuları ve boya uygulama donanımları olarak sayılabilir (Kura ve Lacoste 1996). Tersanede oluşan tehlikeli hava emisyonlarının yarısından fazlasını VOC emisyonları oluşturmaktadır (USEPA, 1997). Ayrıca boya ekipmanlarının temizlenmesi sırasında da atık su açığa çıkar.

Bazı araştırmacılar özellikle boyama proseslerinin uçucu organik bileşik (VOC) emisyonlarını incelemişlerdir. Norback vd., (1995) kapalı alanda su bazlı boyama yapılırken özellikle uçucu organik bileşik emisyonlarını tanımlama ve miktarları belirleme üzerinde çalışma yürütmüştür. Lin ve Leung (1996) endüstriyel tesislerde VOC kontrolü ve bunların sağlık

üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Kura (1998b) boyama sonucu ortaya çıkan uçucu organik bileşikler (VOC) ve tehlikeli hava kirleticilerini (HAP) incelemiştir. Zhishi vd., (1998) yeni boya atılmış yüzeylerden çıkan VOC emisyonları tahmin için yeni bir kütle transfer modeli geliştirmiştir Guo ve Murray, (2000) çeşitli emisyon parametrelerini hesaplayarak kapalı alanda gerçek VOC konsantrasyonlarını tahmin etmiştir. Baoqing vd., (2004) kuruyan malzemelerde VOC emisyonu için analitik yeni bir model sunmuşlardır. Ying ve Yinping (2004) tek kat boyalı kuruyan malzemeyi ve malzemedeki anlık VOC emisyonunu hesaplamak için uygulanabilir yeni bir analitik çözüm geliştirmiştir. Jeroen vd., (2005) Hollanda'da boya kaynaklı VOC emisyonlarındaki belirsizlikleri nitel ve nicel bakımdan gidermek için NUSAP olarak bilinen sisteme yenilikçi bir yaklaşım sunmuştur. Malherbe ve Mandin, (2005) tersanelerde açık alanda boya ve solvent kullanılarak yapılan boyama operasyonlarda salınan uçucu organik bileşiklere odaklanmıştır. Açıkta yapılan boyamanın o bölge içinde yaşayan insanların sağlığına etkileri üzerine çalışmışlardır. VOC emisyonları hesaplanması konusunda, Ke vd., (2007) kuruyan malzemeden çıkan uçucu organik bileşenler için boyutsuz katsayılar geliştirmiştir.

VOC'ların azaltılması için de bazı araştırmacılar çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Örneğin, Bhushan, (1988) yüzey bitirme işlemlerinde yeni VOC sınırlama yöntemlerini incelemiştir. Gemell, (1990) boyama ve sızdırmazlık öncesi elle temizlik için yüksek buharlaşma basıncına sahip solventlerin alternatiflerini ve raspa için plastik malzemeleri değerlendirmiştir. Dobson, (1996) otomobil boyamada boya proseslerinden çıkan uçucu organik bileşenleri azaltmada uygulanabilecek en iyi teknikleri önermiştir. Sauro ile ekibi, (2005) yüzey astarlama da çoğunlukla uçucu organik bileşiklerden oluşan organik solventlerin buharlaşması sonucu çıkan hava emisyonlarında VOC emilimi üzerine yenilikçi ve sürdürülebilir bir prosesi incelemiştir. Kura ve Kura, (2006b) tersanelerde boya proseslerinden açığa çıkan uçucu organik bileşikler ve tehlikeli hava kirleticiler için web tabanlı bir karar destek sistemi programı üzerine çalışmışlardır.

Diğer sektörlerdeki boyama işlemlerinden farklı olarak tersanelerde yeni gemi inşaatı ve onarımı proseslerinde detayları sonraki bölümlerde açıklanacak olan tehlikeli bileşikler ortaya çıkmaktadır. Bunlardan çevreye en zararlı ve tehlikeli olan TBT (Tribütülin) içeren antifouling boyalardır. Gemi, platform gibi yüzen cisimlerin denize batmış yüzeylerinde deniz canlıların üreme, birikme ve yaşamaları istenmeyen bir durumdur. Bu durum "fouling-sakallanma" olarak adlandırılmıştır. Fouling önleyici antifouling boyalar geminin su altında kalan kısmının deniz canlılarından korunması için uygulanmaktadır (USEPA, 1997). 1960

yılından sonra antifouling boyalarda tribütiltin (TBT) bileşikleri aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır (Catharios vd., 2007).

TBT içeren antifouling boyaların kirleticiliği ve deniz ekosistemindeki tahrifatı üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. MacLellan vd, (1999) ve Evans ve Nicholson, (1999)'un çalışmaları TBT'nin deniz canlılarına etkilerini inceleyen iki örnektir. Deniz kirliliğinin % 6-17'si arası TBT boyaların tersanelerden denize salınması nedeniyle olmaktadır. Bu nedenle tersanelerde oluşan TBT içeren atıkların deniz ekosistemine karıştırılmaması gerekmektedir (Vreysen vd., 2008).

Shim vd, (1999) tersanelerin tribütiltin (TBT) ve trifeniltinlerin (TPT) denize salınımında birincil kaynak olduğunu vurgulamışlardır. Fletcher ve Lewis, (1999) yaptıkları çalışmada TBT'lerin yüzeyden sökülmesi ve atık oluşumları için Avustralya'da oluşturulan düzenlemeleri ve etkilerini incelemişlerdir. TBT, deniz organizmaları ve Avustralya iç sularında bulunan deniz yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Sonuçta Avustralya'nın da içinde bulunduğu pek çok ülkede bu boyanın kullanımı ve çevresel etkileri üzerinde çalışmalar yapılması teşvik edilmektedir. Avustralya hükümeti tersanelerdeki havuzlarda suyun atılması ve organotin bileşikleri ile ilgili yönetmelikler çıkaran ilk hükümettir. Bu kurallar arasında raspa işlemlerinde özellikle antifouling boyanın sökülmesi sırasında, grit raspa yerine düşük basınçlı su jeti ve aşındırıcı olarak sünger medya tavsiye edilmektedir. Johnson, (1999) yaptığı çalışmada TBT boyaları ile ilgili Virginia bölgesinde uygulanan yönetmelikler ve kuralların ekonomik etkisi incelenmiştir. Fox vd, (1999) Virginia eyaletinde bulunan tersaneler için havuzlardaki yıkama atıksularından TBT'nin ayrıştırılması için yeni bir ayrıştırma yöntemi geliştirmişlerdir. Ashcroft ve Abel, (1999) İngiltere kıyılarındaki gemi yıkama atık sularından solvent çıkarma prosesleri geliştirilerek TBT arıtımı, arıtımın çevresel yararları ve maliyetleri üzerine çalışmışlardır.

Champ, (1999) küresel olarak yasaklanan TBT içeren antifouling boyaların durumu, alınan kararların yorumlanması ve deniz taşımacılığı, gemi üretimi sektörü ve boya üreticileri üzerine etkileri konusunda çalışmıştır. IMO (International Maritime Organizations)'nun Deniz Çevresi Koruma Komitesi (MEPC-Marine Environment Protection Committee) raporuyla TBT bazlı antifouling boyaları 1 Ocak 2003'ten itibaren tüm dünyada yasaklanmıştır [2]. Damodaran vd., (1999) Uluslararası alanda TBT'nin yasaklanmasının getirdiği ekonomik etkiler ve alternatif antifouling teknolojiler üzerine çalışmıştır. Bugün deniz canlılarına zararlı olan biyosid içeren antifouling boyalar kontrol altına alınmıştır (Kiil vd., 2002). ABD'de yayınlanan yönetmelikler ve ilgili yasalarla deniz suyuna verilecek atık

sulardaki TBT miktarı da 10 ng/l ile sınırlandırılmıştır. Yapılan çalışmalarda bu oranın deniz canlılarını koruyabilecek en üst sınıf olarak belirlenmiştir. Kirlenmenin en yoğun olduğu bölgeler, limanlar ve marinalarla, gemi onarımı ve imalatı yapan yerlerin yakınları olarak belirlenmiştir. TBT boyalarına alternatif olarak sunulan bakır bazlı antifouling boyarda TBT kadar etki gösterememiştir. Uygulamadan 15-18 ay sonrasında yüzeyde yeşil bir tabaka oluşmaya başlamıştır. Bu tabaka bakır ile deniz suyunun tepkimesi sonucu oluşmaktadır. Deniz organizmaları bu yeşil tabakayı geçerek kaplama üzerinde birikmeye başlamışlar bu yüzden de boyanın ömrü deniz suyu sıcaklığına bağlı olarak 30-36 ay ile sınırlı kalmıştır. Bu yıllarda tartışılan bir başka konu da bakım onarım tersanelerinden bakır kaynaklı atık su oluşumudur (Champ, 1999). Damodaran vd., (1999) Uluslararası alanda TBT'nin yasaklanmasının getirdiği ekonomik etkiler ve alternatif antifouling teknolojiler üzerine çalışmıştır. TBT yerine kullanılacak alternatifler konusunda yapılan uygulamalarda, gemi bünyesine takılan organizmalara karşı direnci artırmak için bakır ve çeşitli formları biyosidler ile antifouling boya içinde geçici olarak kullanılmıştır (Voulvoulis vd., 2002).

Yukarıda bahsedilen çalışmaların tümü birlikte incelendiğinde ortaya çıkan durum, gemi imalatı ve onarımı endüstrisinin ağır sanayi olması ve doğası gereği imalat sırasında ortaya çevre ve insan sağlığına zarar verebilen tehlikeli atıkların oluşma riskidir. Yeni gemi inşaatı ve bakım onarımında ortak üç ana proses bile bertaraf edilmesi zorunlu, çoğu tehlikeli atık sınıfında değerlendirilen kirlenici ve atıkların oluşmasını sağlamaktadır. Bütün bunların ışığı altında Türkiye tersanelerinde de benzer durum kaçınılmaz olacaktır. Uluslararası arenada büyük devlerle boy ölçüşen Türk gemi inşa sanayinde de bu prosesler uygulanmakta olduğuna göre tersanelerden çıkan atıklar da benzer olmaktadır. Yapılan tüm çalışmalar tersanelerde var olan işlemlerin hemen hepsinden ortaya kirlenici veya atık çıktığından bahsetmektedir. Bu çalışmalar daha da ileri giderek tersaneler ve gemi imalatı uluslararası kurum ve kuruluşların merceği altına girmiştir. AB üye ülkeleri ve ABD'de bulunan tersaneler için ulusal ve uluslararası kurallar hazırlanmakta ve sürekli olarak iyileştirilmektedir. Özellikle ABD tersaneleri EPA (Environmental Protection Agency), OSHA (Occupational Safety and Health Administrator) gibi uluslararası nitelik taşıyan ve dünyaca kabul gören kurumların sıkı denetiminden geçmektedirler. Bunların yanı sıra Birleşmiş Milletler, IMO, ILO (International Labour Organization) gibi uluslararası kuruluşlar da hem gemi imalatını hem de deniz taşımacılığını sıkı sıkıya kontrol etmektedirler. Tüm bu kuruluşlar teknolojik gelişmelere adapte olarak eski kurallarını güncellemekte veya yeni kurallar getirmektedirler. Bu kuralların yanı sıra atık yönetimi modelleri geliştirilmektedir ve tersaneler bu konular için teşvik edilmektedir.

AB Gemi inşa ve gemi onarım endüstrisi, bu tür yasaların uygulamaya konulmasını desteklemiş, Avrupa Deniz Güvenliği Birliği (EMSA)'nin oluşturulmasında rol almış ve Liman Kontrol Yönetimi'nin güçlenmesini sağlamıştır. Bu konular ile ilgili, Avrupa Birliği, LeaderSHIP 2015 projesiyle gemi inşa sektörünün mevcut durumunu gözden geçirip, mevcut problemleri tanımlamış ve çözüm yolunda yardımcı olacak tavsiyelerde bulunmuştur. Öngörülen temel konulardan biri ise, tersaneler için tüm dünya genelinde uygulanan bir kalite denetim çizelgesi oluşturulmasıdır. Bu sistem sayesinde, sektörde yeterli durumda olan tersanelerin tanımlanması ve puanlandırılması mümkün hale gelecek ve gemiler kalite seviyesi yüksek ve kalite talepleri maksimum seviyede hazırlanacaktır. Böylece daha yüksek güvenli ve çevre standartları elde edilirken, armatörlere, işletmecilere ve denetçilere tersaneleri de gösteren çok kullanışlı bir kılavuz oluşturacak, yüksek bakım ve tamir masrafları oluşturabilecek riskli gemileri daha kolay belirlemeyi sağlayacaktır (Akanlar vd, 2007).

Türkiye tersanelerine baktığımızda çevre bilincinin ve insan sağlığına önemin tam olarak yerleşmediği söylenebilir. Tersanelerin sadece kaynak, raspa ve boya proseslerini incelediğimizde bile durumun ne kadar ciddi olduğu ortaya çıkacaktır. Son aylarda özellikle Tuzla tersaneler bölgesinde yaşanan ölümlü iş kazaları tüm Türkiye'nin dikkatini tersaneler üzerine toplamıştır. Üretim proseslerinin özellikle çalışma güvenliği açısından riskli olduğu bilinmektedir. Ancak esas tehlike, boya, kaynak ve raspa prosesleri gibi insana ve çevreye zararlı emisyonlar ve atıklar üreten proseslerden ortaya çıkan görünmeyen tehlikedir.

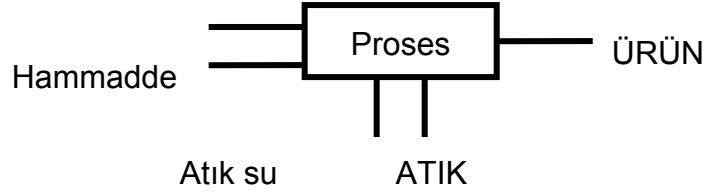
Bu çalışmanın amacı da Türkiye tersanelerinde gemi üretimi sırasında ortaya çıkan atıklar konusunda durum değerlendirilmesi yapmak, uluslararası kural ve standartlara uygun olup olmadığını saptamak ve atıkları kaynağında minimize etmek için model üretmek, önerilerde bulunmaktır. Öncelikle tüm dünyada bu konuda yapılan çalışmalardan örnekler ve modeller incelenmiştir. Daha sonra Türkiye tersanelerindeki uygulamalar incelenerek atık kaynakları saptanmıştır. Öncelikle boya emisyonlarının hesaplanabilmesi için EPA ve NPI'nin (NPI, 1999a; 1999b; USEPA AP-42, 2001) modeli modifiye edilerek oluşturulan, yeni bir model kullanılmıştır (Celebi ve Vardar, 2008). Kullanılan model on örnek gemide uygulanmış ve EPA ve NPI'nin kullandığı modelle karşılaştırılmış ve birbirine yakın sonuçlar bulunmuştur. Gemi üretiminde ana kirletici kaynağı olarak görülen boya işlemlerinden çıkan emisyonların makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları tabanlı modellerle hesaplanması tezin ana konusunu oluşturmaktadır. Boya emisyonları için yukarıda bahsedilen on örnek geminin boyanması sırasında ortaya çıkan VOC emisyonları farklı tahmin modelleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Sonuç açısından diğer modellerle karşılaştırıldığında kullanılan makine öğrenmesi metotlarının emisyonu tahmin etmede daha başarılı oldukları gözlenmiştir. Yapay sinir ağları yönteminde yaklaşık olarak % 5'lik bir hata ile emisyonlar tahmin edilmektedir. Bunun nedeni Türkiye tersanelerinde bu konularda henüz uluslararası standartlarda üretim bilincinin yerleşmemiş olması nedeniyle üreticilerden bilimsel amaçlı veri toplamanın güçlüğüdür. Gereklili yasal düzenlemelerle ve uluslararası standartların oturmaşı ile daha fazla ve daha sağlıklı veri toplanmaşı durumunda modelin daha doğru sonuçlar vermesi beklenmektedir.

2. ATIK VE ENDÜSTRİYEL ATIK KAYNAKLARI

Atık en basit tanımı ile "ihtiyaçlarımızı karşılamak üzere kullandığımız maddelerin, o an için kullanılmayan veya kullanıldıktan sonra atılan kısmıdır". Sanayide, ulaşımda, tarımda, turizmde, inşaat sektöründe, üretim yaparken, hizmet verirken, çok sayıda madde ve malzeme biçim değiştirir. Bu faaliyetler için enerji sağlarken ve enerji kullanırken, gaz, sıvı ve katı halde atıklar ve artıklar ortaya çıkar. Bu atıkların bir bölümü nihai olarak bertaraf edilirken, bir bölümü geri kazanılarak, yeniden kullanılabilir.

Endüstriyel sistemin içinde yararlanılmayan çıktılar eğer endüstri dışında ekonomik olarak başka bir şekilde değerlendirilmiyor ise endüstrinin atıklarını oluşturur. Bir endüstriyel sistem ve bu sistemden en genel halde kaynaklanan atık türleri Şekil 2.1’de verilmiştir



Şekil 2.1 Endüstriyel sistem girdi ve çıktıları

Şekil 2.1’de bir endüstriyel sistem ve en genel halde atık türleri gösterilmiştir. Endüstriyel kirlenme, endüstri kuruluşlarının oluşturduğu atıklar ile çevrede oluşan kirlenmedir. Endüstriyel kirlenme katı ve tehlikeli atıklar, hava kirlenmesi ve su kirlenmesi açısından değerlendirilebilir ve bütün bu kirlenme türlerinde son derece önemli rolü bulunmaktadır. Ancak bir endüstriyel sistemde bütün kirlenme türlerinin birbirleriyle ilişkili olduğu unutulmamalıdır (Olçay, 1996).

Herhangi bir maddenin atık tanımına uyması için aşağıdaki özelliklerden biri veya birkaçını içermesi gerekmektedir.

- 1-Tutuşabilirlik; olağan işleyişinde yangın çıkarabilecek atıklardır. Ateş acil bir tehlike arz etmese de zararlı tanecikler içeren ısı ve duman yayabilir.
- 2-Çürüyebilirlik; toksik bileşiklerle çözülebilirliğinden dolayı özel koruma ve taşıma gerektiren atıklardır.
- 3-Reaktiflik; kendi kendine su ve havayla tepkimeye girebilen, ısı ve şok karşısında durgun bir özellik gösteremeyip gaz veya yanıcı açığa çıkaran atıklardır.

4-Zehirlilik; düzensiz yönetimi sonucunda fazla miktarda insan ve çevreye zararlı toksik maddeler açığa çıkaran atıklardır (Chaaban, 2001).

Atık sayılabilecek maddelere örnek olarak standart dışı ürünler, sağlıklı kullanım süresi geçmiş olan ürünler, dökülmüş, niteliği bozulmuş ya da yanlış kullanıma maruz kalmış olan maddeler (kontamine olmuş maddeler), aktiviteler sonucu kontamine olmuş ya da kirlenmiş maddeler (temizleme işlemi atıkları, ambalaj atıkları), kullanılmayan kısımlar (atık piller ve katalizörler), yararlı performans gösteremeyen maddeler (kontamine olmuş asitler), endüstriyel proses kalıntıları (destilasyon atıkları), kirliliğin önlenmesi amacı ile kullanılan proses kalıntıları (yıkama çamurları, filtre tozları, kullanılmış filtreler), yüzey işlemleri kalıntıları (torna atıkları ve benzeri), hammadde işleme proses kalıntıları (petrol sloopları, madencilik ve benzeri), değerini kaybetmiş olan maddeler, ihracatçı ülkenin kanunlarına göre yasak getirilmiş olan maddeler, yeniden kullanım veya geri kazanım amacı ile getirilen maddeler, kontamine olmuş alanın iyileştirme çalışmalarından doğan maddeler. Yukarıda bahsedilen kategorilere ait olmayan fakat üretici ya da ihracatçı tarafından atık olarak kabul edilen maddeler sayılabilir [3].

Endüstrilerden kaynaklanan atıklar, radyoaktif atıklar dışında 4 temel tür çerçevesinde incelenir. Bunlar;

- Sulu atıklar (atıksular),
- Gaz atıklar,
- Katı atıklar ve
- Tehlikeli atıklardır.

Endüstrilerin kirlenme açısından tanımı ve değerlendirilmesinde bütün atık türleri önem taşır. Bazı hallerde sadece bir veya iki atık türü araştırmanın merkezini oluşturabilir. Bu durumda diğer atık türlerinin temel özelliklerinin belirlenmesi ile yetinilir. Ancak bunlara hiç değinilmeksizin çalışma tamamlanamaz. Çünkü atıkların arasında genelde bir ilişki vardır ve bu ilişkiler ortaya konmadan bir atık türünün karakterizasyonu tam olarak yapılamaz.

Tehlikeli atıklar; son 20 yılda ortaya çıkan bir kavramdır. En genel anlamda tehlikeli atıklar insan sağlığına ve çevreye zararlı etkisi veya zararlılık potansiyeli olan atıklardır. Uygulamada tehlikeli atıklar bileşim ve fiziksel halleri ne olursa olsun bir sıvı deşarj halinde alıcı sulara veya araziye doğrudan verilemezler. Bu açıdan tehlikeli atıklar uzaklaştırma biçimi olarak katı atıklara benzer, ancak özellikleri ve dolayısıyla tanımları ve buna bağlı

olarak arıtım yöntemleri katı atıklardan farklıdır. Tehlikeli atıkların tanımları atıkların homojen bir yapısı olmaması ve kaynaklarının çok çeşitli olmaları nedeniyle güçlük gösterir. En genel tehlikeli atık tanımı aşağıdaki şekilde verilebilir:

Tehlikeli atıklar, bünyelerinde tehlikeli olan veya zararlılık potansiyeli taşıyan maddeleri içeren atıklardır. Tanımda kullanılan zararlı teriminin açıklanması aşağıdaki şekilde yapılabilir:

1- Kısa sürede oluşan zararlar: Örneğin; ağızda, solunum yollarında veya deride absorpsiyon yoluyla akut zehirlilik, aşındırıcılık veya yaygın veya patlama-tehlikesi oluşturma.

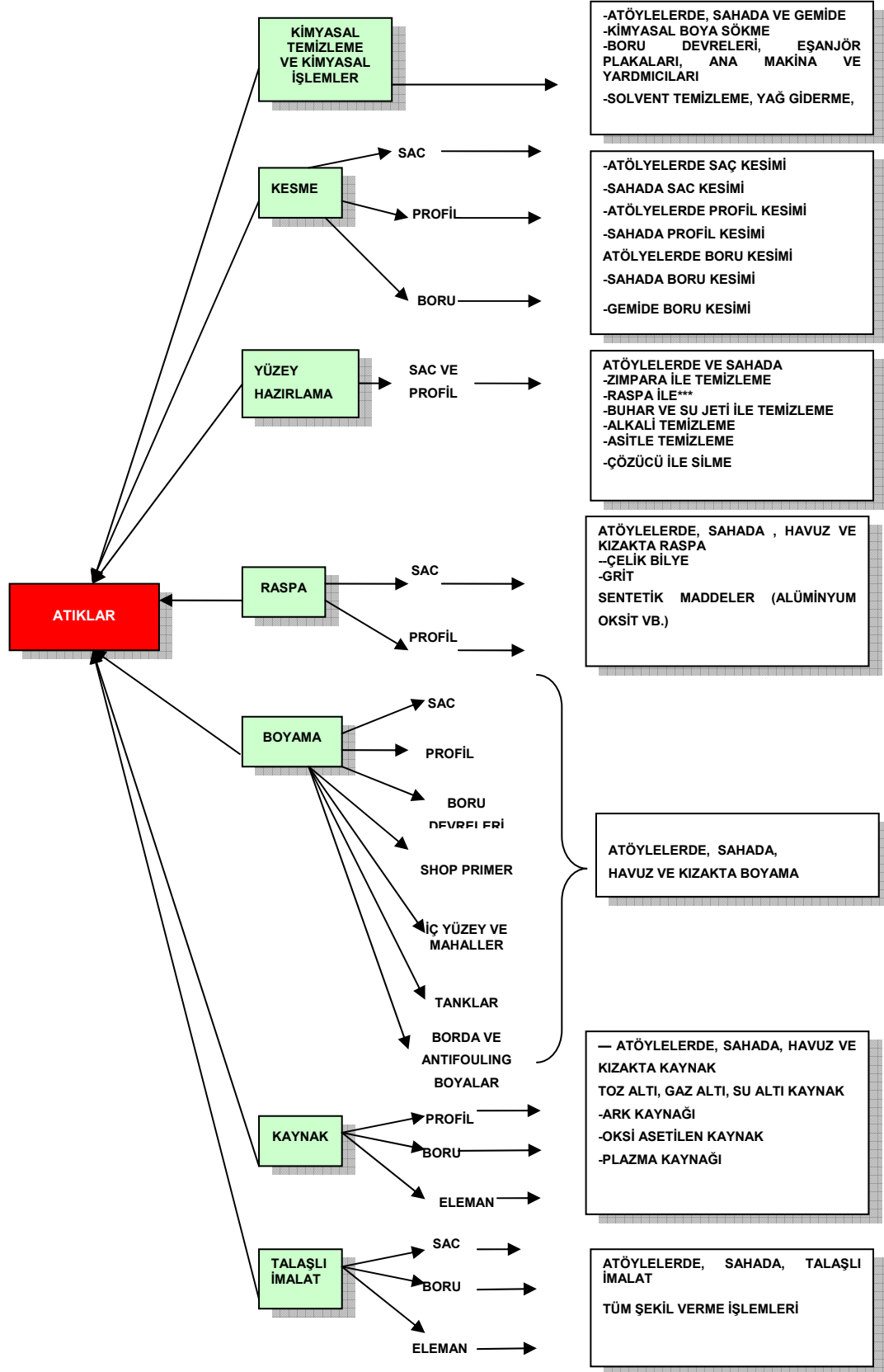
2- Uzun sürede oluşan zararlar: Uzun sürede çeşitli defalar maruz kalınma dolayısıyla oluşan kronik zehirlenme, kanser yapıcılık, birikicilik, biyolojik ayrışma gibi detoksifikasyona direnç ve çevre sularında ekolojik dengenin bozulmasına ve rahatsızlık oluşumuna neden olmasıdır. Bu özellikleri taşıyan atıklar, proseslerden oluşan atıklar ve arıtma sisteminden oluşan atıkları kapsar.

3. GEMİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN PROSESLER VE ATIKLARI

Gemi inşaatı ve tamiri sektörü pek çok prosesten oluşur. Bu proseslerden bazıları, yüzey hazırlama, boya ve astar vb kaplama, metal kaplama yüzey tamamlama, çözücü temizleme, yağ giderme, makinelenendirme ve metal işleri, kaynak ve fiberglas işlemleri olmak üzere çeşitlidir. Tersanelerde gemi üretimi ve onarımı proseslerinden pek çok tipte katı, sıvı ve gaz kirletici maddeler açığa çıkar. Gemi inşaatı ve tamiri endüstrisinde ham madde girişi olarak, öncelikle çelik ve diğer metaller, boya ve çözücüleri (solvent), raspa aşındırıcılar ve makine ve kesme yağları sayılabilir. Buna ilave olarak yağ temizleyici çözücüler, asit ve alkali temizleyiciler ve kaplama solüsyonları gibi ağır metal ve siyanür iyonları içeren pek çok çeşitli kimyasallar yüzey hazırlama işlemlerinde kullanılmaktadır. Kirleticiler ve atıklar uçucu organik bileşikler (VOC), partiküller (PM), atık çözücüler, yağ ve reçineler. Metal taşıma atıkları, kirli su, kirli atık boya, atık boya parçaları ve atılan aşındırıcıları içerir (Vardar, 2004). Aşağıda gemi üretiminde kullanılan prosesler ve malzemeler açıklanmıştır. Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1 tersanelerde üretim prosesleri ve atıkları konusunda bilgi vermektedir.

Çizelge 3.1 Tersane prosesleri ve atık akışı

PROSES	GİRİŞ MALZEMESİ	HAVA EMİSYONLARI	ATIKSU	HURDA ATIKLAR
Yüzey hazırlama	Aşındırıcılar (çelik bilye, grit, bakır cüruf, boya sökücüler ve temizleyiciler)	Partiküller (metal, boya, aşındırıcılar), solvent temizleyicilerden ve boya sökücülerden kaynaklı VOC emisyonları	Boya parçaları, temizleme sıvıları, yüzey kirleticileri, kargo ve balast tanklarından yağ ve hurda yağ	Boya parçacıkları, kullanılan aşındırıcılar, aşındırıcı kutuları, değişen hurda kargo tankları parçaları
Metal kaplama ve yüzey sonlandırma	Kaplama metaller, siyanür çözeltiler, temizleme solventleri, durulama suları	Metal iyon buharı, asit buharı, solventlerden gelen VOC emisyonları	Metal, siyanür, asit, alkaliler, organikler ve solventlerle kirlenmiş Durulama suyu	Kullanılan çözeltiler, atık su iyileştirme sonucu tortu
Boyama	Boya, solvent ve su	Boya ve solventlerden ve temizlenen ekipmanlardan VOC emisyonları	Ekipman temizliğinden ve solventlerden kirlenmiş su	Artık boya, boya ve solvent kutuları,
Fiberglass imalatı	Fiberglas, reçine, katalizörler, ahşap ve plastik malzemeler	İmalat süresinde oluşan VOC emisyonları	Atık su oluşumu çok azdır	Atık fiberglas, reçine ve kutular
Talaşlı imalat ve metal işleri	Kesme yağları, yağlama yağları ve solventler	Yağ gidericilerden ve temizleme solventlerinden kaynaklı VOC emisyonları	Kullanılan solventler, yağlama yağları, kesme yağları ve soğutucu yağlar ile kirlenmiş atık su	Atık kesme yağları, yağlama yağları ve metal talaş



Şekil 3.1 Bir tersanede üretim yöntemleri, tersanedeki sahaları ve atık oluşumu şeması

3.1 Yüzey Hazırlama

Tersanelerin gemi üretimi veya bakımı için kullandıkları birincil hammadde metaldir. Metal dayanıklı olmasının avantajlarının yanında korozyona maruz kalma olasılığı nedeniyle koruyucu bir kaplama uygulamasına ihtiyaç duyarlar. Boyanın da istenilen kalitede uygulanabilmesi maliyet ve geminin yaşam döngüsü açısından oldukça önemlidir. Bütün metal yüzeylerin boyama öncesinde temizlenmesi veya yüzeyinin boyaya hazırlanması gerekmektedir. Çünkü yüzeyde bulunan her türlü istenmeyen madde boyanın kalitesini düşürerek korozyona dayanımı azaltacaktır (Kura ve Lacoste, 1996).

Yüzey hazırlama yöntemleri arasında elektrolitik yağ temizleme, ultrasonik temizleme, termal raspa, solvent, deterjan ve buharlı temizleme, ıslak ve kuru aşındırıcı raspa, kimyasal yüzey hazırlama, mekanik raspa, kuru buz raspası, solventle temizleme gibi birçok yöntem mevcuttur. Tersanelerde bazılarının kullanım alanı kısıtlı olmakla beraber pek çoğu kullanılabilir.

Elektrolitik yağ temizlemede, uygun kancalara veya jiglere takılmış olan temizlenecek parçalar bir elektrodu teşkil eder. Diğer elektrodu ise alkali ihtiva eden tank oluşturur. Elektroliz olayı sayesinde elektrotlarda meydana gelen gaz, kir ve yağ filmlerini yerinden söker ve alkali banyo da bunları emülsiyon haline getirir. Ultrasonik temizlemede, yüksek frekans kullanarak bir transdüser vasıtası ile temizleme solüsyonuna mekanik titreşimler verilir ve bu suretle yüzeyde istenilen temizleme işlemi yapılır. Çelik parçalar bazı hallerde yakma veya yağ yakma diye adlandırılan bir usulle temizlenir. Bu usulde parçalar yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılarak üzerlerindeki yağ tabakası ve gres artıkları yakılır. Bazı hallerde, bazı yağlı kirlerin tamamının temizlenmesi için gereken sıcaklık çok yüksek olabilir. Bu gibi hallerde de çeliğin arzu edilmeyecek şekilde yumuşaması ve bazı parçaların çarpılması problemi ortaya çıkabilir. Bu gibi hallerde parçalar daha evvel bir solvent banyosundan geçirilerek yakma sıcaklığı düşürülebilir. Metal yüzeyler, organik solventler ve yağ gidericileri ile boyama öncesinde temizlenirler. Solventli temizleme, daldırma, silme, spreyleme ya da solvent buharına tutma ile yapılabilir. Bu işlemler yüzeyde kirleticiler yok edilinceye kadar devam eder. Kullanılan solvent genellikle trikloretilendir. Bazı özel hallerde per klor etilen de kullanılır. Soğuk temizleyiciler ile temizleme, oda sıcaklığında kullanılan solventlerle yapılan yüzey hazırlama işlemleridir. Buhar yağ giderme işlemleri, sıcak solvent buharı ile parçaların temizlenmesidir. Solvent buharının olduğu yerde buhar yüzeyde yoğunlaşarak kir ve yağ tabakasını sıvılaştırarak yüzeyden uzaklaştırır. Bu işlemde sadece buharın temas ettiği yüzeylerde temizlik sağlanır. Dipteki yoğunlaşma sayesinde solvent

buharının atmosfere karışması azaltılır. Su buharlı temizlemede, yüksek basınçlı yıkamadan dolayı büyük oranda kirlilik oluşabilmektedir (NPI, 1999a). Mekanik raspa yöntemleri taşlama gibi, mekanik olarak kaplamaların kaldırılması için kullanılan ilkel bir yöntemdir.

Tersanelerin yeni gemi inşaatı ya da bakım onarım proseslerinde tekne temizleme işlemleri oldukça sık karşımıza çıkmaktadır. Özellikle tamir işlemlerinde makine dairesinin temizliğinden başka, ambarlar, balast, sintine, yağ ve yakıt tanklarının temizlik işlemleri tekne temizliğinde önemli bir yer tutmaktadır. Bunun yanı sıra yeni gemi inşaatında boruların temizlik işlemleri, tank temizliği ve boyanacak yüzeylerin temizliği için büyük miktarlarda kimyasal temizleyici ve su kullanılmaktadır (Kura ve Tadimalla, 1999a; 1999b).

3.1.1 Raspa Yöntemi

Gemi inşaatı ve onarımı endüstrisinde raspalama; eski boya, pas tabakası, deniz organizmaları, kir ve tuz gibi diğer yüzey kirleticilerini yüzeyden çıkartmak için başvurulan en yaygın yüzey hazırlama tekniğidir.

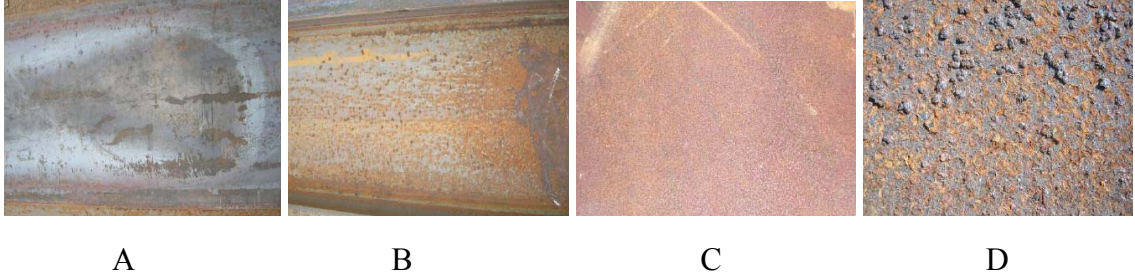
Deniz canlılarının gemi yüzeyinde toplanması olarak nitelendirilen fouling olayı istenmeyen bir durumdur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Gemi yüzeyinde biriken organizmalar

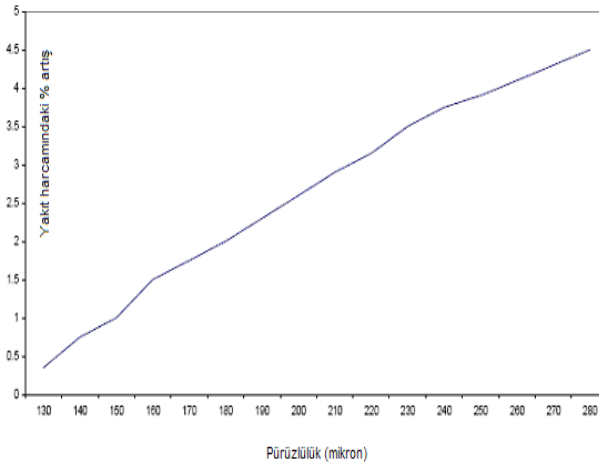
Korozyondan korunma, günümüzde tekneler için çok önemli bir unsurdur. Yüzey hazırlama metotları yüzeyin korozyondan korunmasına yardımcı olmalı, yüzeydeki yağ, gres, pas, kir gibi yüzey kirleticiler temizlemeli ve kaplamannın yüzeye kolay uygulanmasını sağlamalıdır. Çelik atölyelerinde çelik levha haddelendiğinde sıcaklık 1000 °C civarında olmaktadır. Yüzey soğuduğu zaman oksijenle yüzey arasındaki etkileşimden dolayı demir oksit tabakası oluşmaktadır. Bu tabaka su ve hava ile birleşerek pas tabakasını oluşturmaktadır. Pas

tabakaları ISO 8501–1:1998’e göre Şekil 3.3’te verildiği gibi A dan D ye kadar derecelendirilmektedir. A derecesinde paslanma oldukça zayıf görünmekle beraber, D derecesinde ise paslanma ve oyuklaşma çıplak gözle görülecek şekilde artmaktadır. (SSA, 2006).



Şekil 3.3 ISO 8501-1:1998 e göre A ’dan D’ye kadar pas dereceleri

Fouling, paslanma ve korozyon gemi yüzeyinde pürüzlülüğü arttırtarak ek bir direnç oluşmasına ve geminin istenilen hıza ulaşamamasına ya da aynı hız için daha fazla yakıt harcamasına neden olmaktadır. Şekil 3.4’de pürüzlülük artışıyla yakıt tüketiminin artışı grafik olarak gösterilmiştir (SSA, 2006). Bu nedenle özellikle bakım onarıma gelen gemilerde bu takıntıların temizlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.4 Yakıt tüketiminin pürüzlülükle artışı

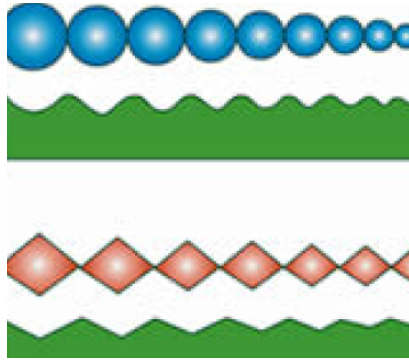
Yeni gemi inşaatında ön blok ve blok imalatlarında, gemi karinası, iç ve dış tankların boyanmasından önce ve boru devrelerinin hazırlanmasında da raspa yapılır (OSHA, 2006). Aşındırıcı raspa, aşındırıcı parçaların basınçlandırılarak yüzeye püskürtülmesi ile mekanik etki oluşması sağlanan bir sistemdir (NIOSH, 2001).

Raspa işleminin temel prensibi raspa malzemesinin Şekil 3.5’te şematik olarak görüldüğü gibi

temizlenecek yüzeye püskürtülerek çarpışma enerjisi ve ısı ile boya parçalarının sökülmesidir. Boya parçaları ile birlikte raspa malzemesi de parçalanarak kirletici toz şeklinde ortama yayılır (Muleski ve Downing, 2006). Yüzeye çarpan raspa malzemesi, şekline göre yüzeyde pürüzlülük yaratır (Şekil 3.6).



Şekil 3.5 Aşındırıcı raspa sisteminin çalışma prensibi



Şekil 3.6 Aşındırıcının şekline göre yüzeyde yarattığı pürüzlülük

3.1.1.1 Raspa Malzemeleri

Raspa işlemlerinde kullanılan aşındırıcı malzeme metalik ve metalik olmayan aşındırıcılar olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Metalik olmayanlar, cüruf, mineral, organik ve imal edilmiş aşındırıcılar olarak çeşitli alt gruplara ayrılırlar. Mineral aşındırıcılar garnet, olivin, kum, storelit gibi madenlerden elde edilen minerallerdir, sert ve kırılındırlar, bu nedenle aşındırıcı özellikleri çok yüksektir. Ancak yüksek oranda toz oluşmasına neden olmaları mineral aşındırıcıların en büyük problemidir. Organik aşındırıcılar fındıkkabuğu gibi organik ürünlerden elde edilirler. Alüminyum oksit, silikon karbit, cam, plastik parçacıklar, kuru buz, sodyumbikarbonat gibi aşındırıcılar ise üretilmiş malzemelerdir. Diğer aşındırıcılara göre maliyeti yüksektir. Cüruf aşındırıcılar genellikle kömür tozunun işlenmesinden elde edilirler. Kum ile raspa en ucuz yöntemdir. Ancak parçalanma oranı çok yüksek olduğundan raspalama işlemi sırasında ve sonrasında büyük miktarlarda toz havaya karışmaktadır (Kinsey, 1995). Kum ile mineral aşındırıcılar birlikte kullanıldığı takdirde toz oranı düşebilmektedir. Metalik aşındırıcılar ağırlıklı olarak demir ve çelik aşındırıcılardır. Demir ve çelik aşındırıcılar genellikle küresel ve grit şeklindedir. Bunun yanı sıra özel boya ve durumlar için pirinç,

alüminyum ve bakır aşındırıcıları da kullanılmaktadır. Küresel çelik raspa malzemesi yeniden kullanım için oldukça uygun bir yapıya sahiptir (Austin vd, 2002).

Silika kumu: Silika kumu dünyada uzun yıllar boyunca tersanelerin de içinde bulunduğu pek çok endüstride raspa malzemesi olarak kullanılmıştır. (Gould ve Wilson, 2003). Tersanelerde silika kumu ile raspa, zararları öğrenilene kadar geçen sürede gemi yüzeyindeki boyayı çıkarmak için en çok kullanılan yöntemdir. Ancak silika kumu ile yapılan raspa işlemlerinde çok miktarda toz açığa çıkmaktadır. Yapılan araştırmalarda bu silika kumu tozunun çevre ve insan sağlığına zararları anlaşılmıştır (Flynn, 2004). 1974 yılında yapılan çalışmalarda silika kumu kullanılması yasaklanmış ve silika kumu yerine geçebilecek kuvars, arsenik, berilyum, kadmiyum, kurşun, krom, manganez, nikel ve vanadyum gibi kristalize silikadan daha az tehlikeli olan yeni malzemeler önerilmiştir (NIOSH, 1974). 2000 yılında ABD ulusal toksikoloji programının düzenlediği 9. kanserojen listesinde kristal silika kanserojen tanımını almıştır (Porter vd., 2001).

Kömür cürufu: Kömür cürufu, kömürlü elektrik güç üretim tesislerinden alüminyum silikat, kalsiyum silikat ve silika eklenmesi ile elde edilir. Yüksek oranda berilyum ihtiva etmektedir (Gould ve Wilson, 2003). Yapılan çalışmalarda kömür cürufu testler sırasında neredeyse silika kumu kadar toksisitesi yüksek bir malzeme olarak değerlendirilmiştir. Düşük maliyetli olması nedeniyle dünya genelinde aşındırıcı raspa işlemlerinde % 42 gibi büyük bir oranda kullanılmaktadır. Kömür cürufu üzerine yapılan çalışmalarda, kömür cürufuna maruz kalan hayvanlarda solunum sistemi hastalıklarının arttığı gözlemlenmiştir (MacKay, 1980). Kömür cürufu pek çok akciğer rahatsızlıklarına neden olmasına rağmen kristal silika kumuna göre sağlık açısından daha az tehlikeli olmasına rağmen kanserojen olarak nitelendirilmektedir (NIOSH, 2001).

Bakır cürufu: Sülfid cevherinden elde edilir. Kum raspanın yerine kullanılmaya başlanmasına rağmen bakır cürufunda yüksek oranlarda arsenik, kadmiyum, kurşun, gümüş, berilyum, vanadyum ve titanyum bulunmaktadır. Ayrıca fareler üzerinde yapılan deneylerde bakır cürufuna maruz kalan deney farelerinde akciğer kanseri tümörü oluşumuna rastlanmıştır (NIOSH, 2001).

Nikel cürufu: Nikel cevherinin ergimiş halinden elde edilir. Bakır cürufu gibi ağır metaller içermemesine rağmen, krom, kadmiyum ve nikel içerdiği gözlemlenmiştir (NIOSH, 2001).

Demir oksit hematit: Kristal silikaya göre düşük toksisiteye sahiptir. Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda demir oksidin kanserojen etkilerine rastlanmamıştır (NIOSH, 2001).

Hematit ve çelik grit, düşük akciğer toksisitesi bulunduğundan silika kumuna alternatif olarak önerilmektedir.

Metal oksitler: Silikon karbür ya da alüminyum oksit gibi sentetik aşındırıcıların maliyetleri kuma göre 3–4 kat olmasına rağmen kumdan daha az toz ortaya çıkarmaktadırlar.

Alüminyum oksit: Erimiş alüminyum taşından elde edilir. Metalik geri dönüşebilen aşındırıcılardan daha pahalıdır. Demir oranı düşük olduğundan özellikle uzay sanayinde ya da yüksek yüzey kalitesinin gerekli olduğu durumlarda demir içermeyen malzemelerin yüzey hazırlama işlemlerinde kullanılmaktadır. Yüksek sertlikleri ve dayanım ömürlerinin yüksek oluşları nedeniyle tercih edilirler. Boya çıkarma veya pürüzlendirme işlemleri için en çok kullanılan malzemelerdir. Silikon karbür ve alüminyum oksit gibi sentetik aşındırıcılar, kumun yerini alabilecek aşındırıcılardır. Bu aşındırıcılar daha dayanıklıdır ve kumdan daha az atık üretir. Bu materyaller yeniden kullanılır (USEPA AP-42, 1997).

Garnet: Garnet Avustralya, Hindistan, ABD ve Güney Afrika gibi ülkelerde bulunan sert silikat mineraldir. Doğada çeşitli formlarda bulunmasına rağmen endüstride oldukça ağır, sert ve dayanıklı olan almandit garnet ve $(Fe_3Al_2(SiO_4)_3)$ bileşiği şeklinde kullanılmaktadır (Gould ve Wilson, 2003). Garnet, yüksek işlem kabiliyeti, düşük toz oranı, geri dönüşebilmesi ve sağlık yönünden daha az zararlı olması nedeniyle demir ve demir olmayan malzemelerin raspa işlemlerinde kullanılabilir. Kimyasal analizlerde ana bileşikler olarak silikon dioksit, demir oksit, magnezyum oksit, kalsiyum oksit ve manganez oksit olarak belirlenmiştir. Garnet, akciğer rahatsızlıklarına maruz kalma yönünden silika kumuna benzer özellikler taşımaktadır (NIOSH, 2001).

Cam kürecikler: Aşındırıcı raspa malzemesi olarak kullanım alanına yeni girmiştir. Cam aşındırıcılar diğer aşındırıcılara göre daha düşük maliyetlidir. Ancak kullanımın efektif olabilmesi için temizleme oranı (m^2 /saat temizlik), eğitimli personel maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Özel raspa işlemlerinin gerektiği alanlarda geri dönüşümü sağlayan kapalı kabinlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Metalik bilyelerden farklı olarak yüzeyde korozyona neden olmamaktadır.

Cam grit: Genellikle geri dönüşebilen atık camlardan elde edilirler. Eposki ve emaye boyaların yüzeyden sökülmesinde oldukça etkili bir malzemedir. Cam gritin 3-4 kere kullanıldıktan sonra atılması gerekir. Cam, çevresel tehlike yaratmamasına rağmen kullanımda son derece dikkatli olmak gerekmektedir (SSA, 2006).

Geri dönüşümlü cam: Cam, toksik olmayan, ağır metal ve toksin içermeyen, bu nedenle

atıkları ve atık maliyeti diğerlerine göre daha az olan bir aşındırıcıdır. İçeriğinde silika kumu olmasına rağmen, fırınlamadan sonra, silika kumu kendi özelliklerini kaybetmiş halde yeni bir malzemeye dönüşmüş olduğundan, silika kumu açısından insan sağlığına zararlı değildir. Geri dönüşümlü cam silika kumu, artık camlar, kalsiyum oksit ve magnezyum gibi hammaddelerin 1260–1540 °C arasında eritilip şekil verilmesi ile oluşur (SSA, 2006).

Olivin: Olivin, doğada bulunan toksik ve silika içermeyen magnezyum demir silikat kökenli malzemedir. Ancak yapılan testlerde asbest liflerine benzer özellikler gösteren bir yapıya sahip olduğu görülmüştür ve canlıda tümör oluşuma neden olmakta ve yüksek oranda hava emisyonu ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle kullanılması ve solunmasında bazı kısıtlamalar getirilmiştir (NIOSH, 2001).

Storelit: Alüminyum ve demirden oluşan bir mineraldir. Silika kumu kadar toz oluşumuna neden olmamaktadır. Storelit çevresel tehlikelere neden olmaz. Ancak kurşun bazlı boyaların raspa işlemi sırasında ortaya kirletici ve toksik maddeler çıkmaktadır ki bu da büyük bir ekolojik tehlikedir (SSA, 2006).

Plastik aşındırıcılar: Plastik aşındırıcılı raspa sistemleri 1980'lerin başlarında havacılık sektöründe kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Plastik aşındırıcılar geri dönüşebilir özelliklere sahiptir. Polyester, akrilik (polimetil metakrilat) ya da daha sert malzeme olan melamin önemli plastik aşındırıcılardır (NIOSH, 2001). Ancak epoksi boyalarda çok iyi sonuçlar vermediğinden, tersanelerde diğer yöntemler kadar fazla kullanılmamaktadır (USEPA, 1997).

Sodyumbikarbonat: Genellikle hassas yüzey işçiliğinin istendiği uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır (SSA, 2006).

Organik malzemeler: Fındık ve ceviz kabukları ile tahıl taneleri, raspa malzemesi olarak özel işlemlerde kullanılabilir (Gould ve Wilson, 2003).

Metalik grit ve bilye: Metalik aşındırıcılar, demir bilye, dökme demir bilye ve çelik bilye içerirler. Dökme demir bilye serttir, kırılmandır ve su banyosuna eriyik dökme demiri püskürtme ile üretilir (USEPA AP-42, 1997). Yüzey boylarının sökülmesinde ve yüzey kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılır. Küresel formda olan metalik parçaların aşındırma etkisi daha fazladır. Bunu yanı sıra çelik aşındırıcılar yeniden kullanılabilir. Islak yüzeylerde yapışma ve birikme oluşması nedeniyle kullanılmamaktadır. Çevresel tehlikeleri minimuma indirebilmek için, bu sistemler kapalı çevrim haline getirilmektedir (NIOSH, 2001). Kapalı çevrim sistemlerde aşındırıcı yüzeye uygulandıktan sonra toplanır ve biriktirilir. Elendikten ve içerisindeki tehlikeli atıklar bertaraf edildikten sonra yeniden sisteme verilir.

Çizelge 3.2’de, genel olarak kullanılan raspa malzemelerinin boyutları, kullanılabileceği çevrim sayısı, ürettiği toz miktarı, maliyet ve uygulama alanı açısından karşılaştırılması verilmiştir [4].

Çizelge 3.2 Raspa malzemelerinin karşılaştırılması

Aşındırıcı	Boyut (mm)	Çevrim adedi	Toz	Maliyet	Birim Maliyet	Uygulama
Sodyum bikarbonat	60-170	1	Yüksek	Yüksek	Orta	Tarihi yerlerin restorasyonlarında
Kuru buz	3	1	Düşük	Yüksek	Orta	Yüzey temizleme ve hassas yüzey temizlemede
Sünger	16-320	5-20	Düşük	Yüksek	Orta	Tarihi yerlerin restorasyonlarında, gemilerde deniz canlıları temizliğinde
Plastik	12-80	8-10	Düşük	Yüksek	Orta	Boya kaldırma ve yüzey temizleme
Cam boncuk	30-325	8-10	Orta	Orta	Orta	Boya kaldırma gibi tüm yüzey hazırlama işlemlerinde
Kömür cürufu	12-40	1	Yüksek	Düşük	Orta	Tüm yüzey temizleme işlemleri ve pas gidermede
Garnet	30-80	3-4	Düşük	Orta	Orta	Metal ve alüminyum yüzeylerde tüm raspa işlemlerinde
Alüminyum oksit	16-220	6-8	Düşük	Yüksek	Orta	Raspa kabinlerinde
Çelik grit	12-50	200+	Düşük	Yüksek	Düşük	Tüm metal yüzey hazırlama işlemlerinde, yüzeyde ağır pas ve kirletici olduğunda
Çelik bilye	10-80	200+	Düşük	Yüksek	Düşük	Tüm metal yüzey hazırlama işlemlerinde, yüzeyde ağır pas ve kirletici olduğunda

3.1.1.2 Raspa Prosesi

Yüzey hazırlama ve temizleme işlemi, aşındırıcı parçaların merkezkaç ya da basınçlandırma yöntemi ile yüksek hızlarda yüzeye püskürtülmesi ile sağlanır.

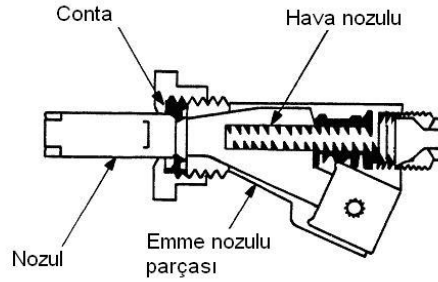
Seçilecek yöntem, yüzeyin boyalı ya da pas tabakası kaplı olup olmadığına, yüzeyin boya gerekliliklerine uygun olup olmadığına, boyut ve büyüklüğe, metalin cinsine bağlı olarak değişmektedir (Kura, ve Tadimalla, R. 1999a; 1999b).

Kuru aşındırıcı raspanın en önemli avantajı hızlı olmasıdır. Ancak en büyük dezavantajı da yüksek miktarda ve kirletici toz oranıdır. Bu nedenle toz oranını azaltmak için çeşitli yöntemler denenmektedir ki bunlardan biri de aşındırıcı ile suyu karıştırarak yüzeye uygulamaktır. Yapılan çalışmada basıncın artırılması maliyeti de etkilemektedir. Ancak sistemin geneline bakıldığında, yüzey etkisini maksimum yapacak optimum basınç kullanıldığında, maliyeti kuru aşındırıcı raspa yönteminden daha düşük olmaktadır. (Woodward ve Judson, 1987).

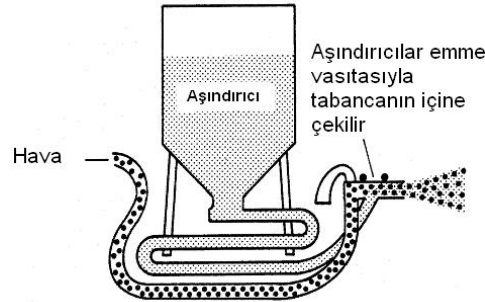
Aşındırıcı raspa sisteminde kullanılan santrifüj kuvvetler, hava basıncı veya su basıncı sevk

metodu olarak kullanılmaktadır. Hava basınçlı raspa sistemleri, aşındırıcıyı temizlenen yüzeye iletmek için sıkıştırılmış hava kullanır. Su raspası metodunda ise sıkıştırılmış hava ve yüksek basınçlı su kullanılır.

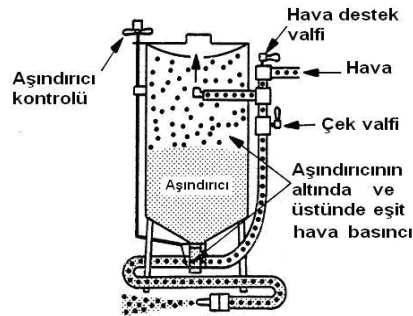
Sıkıştırılmış hava emiş sistemlerinde, iki lastik hortum bir raspa tabancasına bağlıdır. Bir hortum sıkıştırılmış hava sağlayıcısına ve diğeri aşındırıcı sağlayan tanka bağlıdır. Yüksek hızdaki hava jeti kısmi vakum oluşturur. Bu vakum, aşındırıcıyı dıştaki nozula aktarır ve boşaltım açıklığı boyunca dışarı atılır. Bu tip sistemlere örnekler Şekil 3.7-9'da verilmektedir.



Şekil 3.7 Basınçlı emme nozulu



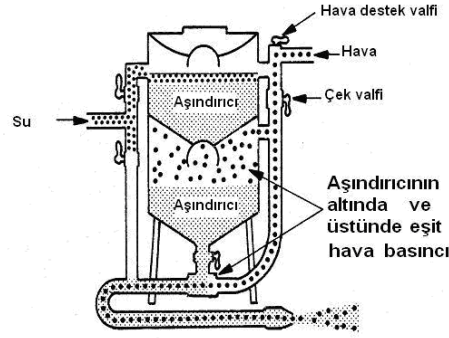
Şekil 3.8 Emme tipi raspa makinesi



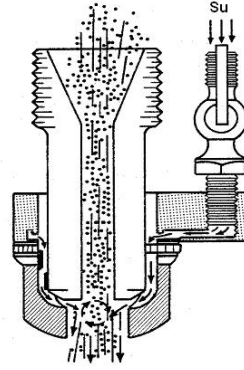
Şekil 3.9 Basınç tipi raspa makinesi

Islak raspa sistemlerinde özel olarak dizayn edilmiş basınç tankı kullanırlar. Aşındırıcının ve suyun karışımı sıkıştırılmış hava ile yüzeye iletilir. Alternatif bir metot olarak bir basınç tankı

ve modifiye edilmiş aşındırıcı raspa nozulu kullanır. Bu modifiyeli aşındırıcı raspa nozulu şekil 3.10 ve 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Islak basınçlı raspa makinesi



Şekil 3.11 Kuru basınçlı raspa ünitesini ıslak basınçlı raspa ünitesine dönüştüren adaptör

Hidrolik raspalamada, yüksek basınçlı su, sıkıştırılmış hava yerine iletici araç olarak kullanılır. Basınçlı raspa sistemleri genellikle vakum raspa sistemlerinden daha hızlı çalışmaktadır ve daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesi sağlanır. Vakum raspa sistemleri genellikle az ve orta kademe üretim ihtiyaçları için, sınırlı alan ve düşük bütçeler için tercih edilirler. Bu sistemler aşındırıcı değiştirmeden ya da yeniden dolum için sistemi durdurmaya gerek kalmadan çalışabilmektedirler. (USEPA AP-42, 1997).

3.1.1.3 Raspa Prosesi Atıkları

Raspa işlemlerinden sonra ortama büyük miktarda atık çıkar. Kullanılan aşındırıcı raspa malzemesi, çoğu yüzeyden sökülen kurşun, selenyum, arsenik, baryum, gümüş, kadmiyum ve krom içeren ve tehlikeli atık sınıfına giren boya parçacıklarını da içerir.

Son yıllarda yeni gemi inşaatı ve onarımından kaynaklanan atıklar üzerine yapılan çalışmalar oldukça artmıştır. Yapılan çalışmalarda raspa işlemleri ve kullanılan aşındırıcıların atmosferik

etkileri, antifouling boyalar ve boyama işlemleri, kaynak dumanı ve işçi maruz kalmaları mercek altına alınmaktadır. Tersanelerde teknik denetimler ve toksiklik gözlemleri ve son yıllarda gelişen teknolojiler yardımıyla bu tip imalat safhalarından ortaya çıkan kirletici ve emisyonlar minimuma indirilmeye çalışılmaktadır.

Bir metalik grit malzemenin yaklaşık olarak içeriği % 20–50 silikon dioksit, % 15–40 demir oksit, % 0–25 alüminyum oksit, % 0–25 kalsiyum oksit ve % 10-15 çinko oksit yada magnezyum oksitten oluşur. Ayrıca pek çok metalik gritte karışım halinde potasyum oksit, soydum oksit, bakır, titanyum ve sülfür de bulunmaktadır. Bu nedenle kullanılan grit malzeme çeşitli tiplerde kirleticiler içermektedir (USEPA AP-42, 1997).

Hava emisyonları: Aşındırıcının ve yüzeyden sökülen boya parçalarının oluşturduğu hava emisyonları oldukça önemlidir. Partikül emisyonları genelde çevreye ve insan sağlığına zararlı toksik malzeme içerirler. Uçucu organik bileşikler ise solvent temizleyicilerden, boya sökücülerden ve yağ gidericilerden ortaya çıkmaktadır (Çizelge 3.3) (Flynn, 2004).

Çizelge 3.3 Raspa malzemelerinin kirletici emisyonları

Aşındırıcı	Arsenik ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Quarz ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kadmiyum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Berilyum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Krom ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kurşun ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Kömür cürufu	8.59	0.148	0.496	3.334	111.4	11.33
Bakır cürufu	4.306		0.344	0.15	3513.1	6.88
Storelit	1.229	2.301	0.248	0.577	74.08	42.82
Silika kumu	4.225	27.6	0.185	0.792	36.08	6.052
Tozu azaltılmış silika kumu	6.190	19.04	0.216	0.94	33.52	8.563
Bakır cürufu	21.82	-	0.448	0.766	73.7	6.785
Garnet	9.292	2.6	1.105	0.505	94.37	8.558
Çelik grit	22.654	-	0.426	-	1025	24.5

Katı atıklar: Raspa işleminden, boya partikülleri ile kontamine olmuş aşındırıcı atıkları, birincil atıklar olarak değerlendirilebilir. Su raspası ve ıslak aşındırıcı raspa sonrasında boya parçaları ve yüzey kirleticileri ile kirlenmiş atık çamur oluşur.

Atık su: Kargo tankları, balast tankları ve sintine tanklarının yıkanması sırasında çok büyük miktarlarda atık su ortaya çıkmaktadır. Bu atık su genellikle atık yakıt, yağ, gres ve diğer çözücülerle kirlenmiş durumdadır ve kesinlikle arıtım işlemi uygulanmadan salınmamalıdır. Eğer su raspası ya da ıslak raspa uygulaması yapılmış ise kontamine su oranı daha fazla olmaktadır (USEPA, 1997).

3.1.2 Raspa Prosesi Atıklarının Azaltma ve Önleme için Alternatif Çözümler

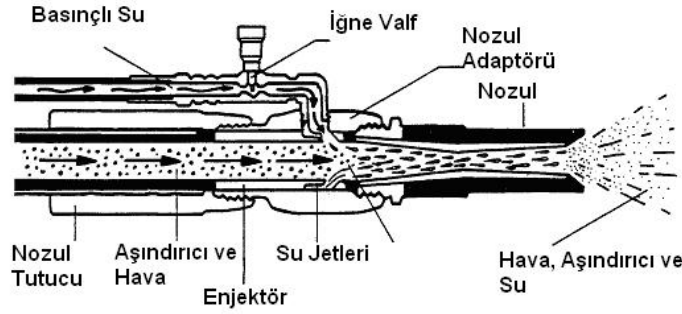
Aşındırıcı raspa malzemelerinin tozu, hava kirleticileri içerdiğinden dolayı raspa prosesleri

havayı, suyu ve toprağı kirletmektedir. Aşındırıcının bileşiminde var olan toksik elementler raspa işlemi sırasında açığa çıkmaktadır. Bakım onarım tersanelerinde özellikle antifouling boyaların yüzeyden sökülmesi sırasında gritle beraber tehlikeli atıklar da oluşmaktadır. Bu nedenle kullanılan aşındırıcı için çevreye daha az zarar verecek alternatifler araştırılmalı tehlikeli madde içeren raspa malzemesi varsa gerekli önlemler alınmalı ve bu konuda eğitimler yapılmalıdır (Sowell, 1998).

1. Direkt veya indirekt olarak iç veya dış yüzeylerin raspalanmasından dolayı kirlilik oluşacaktır. Bunu önlemek için raspa alanını kaplayacak şekilde davlumbaz kullanılması yararlı olabilir.
2. Kullanılan raspa malzemeleri tersane içerisinde özel kapalı alanlarda toplanmalıdır. Raspa çuvalları ayrı bir konteynerde biriktirilmelidir Her raspa işleminden önce ve sonra kayıt tutulmalıdır. Bu kayıta önceden tahmin edilen ve gönderilen aşındırıcı miktarı ve işlem sonunda kullanılan ve kullanılmayan miktarlar kaydedilmelidir.
3. Atık su tahliyesi için gerekli kayıtlar alınmalı ve arıtım raporundan sonra atık su şebekesine verilmelidir.
4. Raspa atığını sınırlandırarak bir veya daha fazla raspa operasyonunu tamamen kapamak için dizayn edilen raspa örtüleri kullanılmalıdır. Raspa örtüleri, aşındırıcı raspa atığını toplama ve tutmada çok etkili olabilir ancak özel uygulamalar için dizayn edildiklerinden diğer yöntemlere göre maliyetli olabilmektedirler.
5. Vakum raspa tabancaları, raspa nozulunu çevreleyen bir yakalama ve toplama sistemi ile harcanan aşındırıcı ve boya atığını eş zamanlı olarak toplamak ve boyayı ve aşındırıcıraspa sonucu oluşan diğer yüzey örtülerini kaldırmak için dizayn edilmiştir. Bu tip bir sistemde, iş devam ederken aşındırıcı, otomatik olarak geri toplanır ve yeniden kullanılır. Vakum raspa tabancaları çeşitli boylarda yapılmaktadır fakat daha küçük birimler daha ağır ve kullanımı daha zordur.
6. Perdeler ve su perdeleri kullanılabilir. Bu yöntemde de gözenekli perdeler oluşturulur. Gözenekli perde kullanılması durumunda atık perde içine nüfuz edebilir ve rüzgar etkilerine bağlı olarak dökülme oluşur. Su perdesi hava ile taşınan atık miktarını azaltır ve ucuzdur.
7. Islak raspa yöntemi kullanılabilir. Islak püskürtme sistemleri, ıslak raspa, yüksek

basınçlı su püskürtme, yüksek basınçlı su ve aşındırıcı püskürtme ve hava ve su püskürtme sistemleridir. Uygulamaya göre ıslak püskürtme yöntemleri seçilir. Islak raspanın başarılı olmasının sebebi sıradan aşındırıcıya su eklenmesidir. Şekil 3.12’de bir ıslak raspa sistemi şematik olarak verilmiştir. Hava ve sulu aşındırıcı sistem birlikte kullanılırsa, çok daha etkili ve geniş bir alanda uygulanabilir. Islak raspa yöntemleri kuru raspa yöntemi ile karşılaştırıldığı zaman daha az toz açığa çıkmaktadır (USEPA AP-42, 1994).

8. Tersanelerde kullanılan aşındırıcı malzemenin geri dönüşümünün sağlanması için öncelikle bir arıtım işlemi gerçekleştirilmelidir. Atık raspa malzemesi, içinde bulunan boya partikülleri temizlendikten sonra asfalt yapımında kullanılabilir (Zafar, 1998).



Şekil 3.12 Hava aşındırıcılı ıslak püskürtme nozulu

Raspa sistemini iyileştirebilecek alternatif yöntemler de mevcuttur. Tek kullanımlık, açık çevrim ve kapalı çevrim yüzey hazırlama sistemleri olmak üzere sınıflandırılabilir (Austin, 2002).

1. Tek kullanımlık aşındırıcı raspa sistemleri genellikle kum ya da cüruf gibi düşük maliyetli aşındırıcıların kullanıldığı sistemlerdir.
2. Açık çevrim raspa sistemleri ise garnet ve çelik gibi sert aşındırıcıların çevrimlerde yeniden kullanıldığı sistemlerdir. Bu tip sistemlerde basınçlı hava kullanılmaktadır. Kullanılan aşındırıcı, sisteme geri dönmediği için toz ve atık oluşumu önlenememektedir. Ancak vakum sistemi eklenmesi durumunda toz oluşumu azaltılabilmektedir.
3. Kapalı çevrim raspa sistemlerinde ise kullanılan mineral veya metalik aşındırıcıların genellikle maliyeti yüksektir. Çelik bilye ve grit, özellikle bu

sistemlerde gerekli eleme ve ayrıştırma işlemleri yapıldığında, diğer aşındırıcılardan daha fazla yeniden kullanılabilir. Kapalı çevrim raspa sistemlerinde santrifüj sistemler ya da basınçlı hava kullanılmaktadır. Kullanılan malzemenin geri dönüşebilen ve yeniden kullanılabilen olması nedeniyle geri kazanım ve yeniden kullanım oranları çok yüksek sistemler olduğundan, atık oluşumu minimum seviyelerdedir. Kapalı çevrim sistemlerde manuel kullanım olmakla beraber genellikle raspalanacak yüzeyin şekline ve büyüklüğüne göre mekanik bir sistem yardımıyla yüzeye ulaşır. Bu sistemde, diğer sistemlere göre kullanılan aşındırıcı ve tozun yönetimi daha kolay olmaktadır. Atık ve toz toplama sistemleri ve vakum sistemleri kullanılarak sistemden çıkan atık minimuma indirilmektedir. Son yirmi beş yılda yeni teknolojilerin ortaya çıkması ile kullanılan aşındırıcıların oranının düşmesi ile toz emisyonları ve atık oluşumları da azaltılmıştır. Ancak kapalı çevrim raspalama sistemlerinin daha ekonomik hale gelmesi gerekmektedir. Bunun yanında performans artırıcı çalışmalar arasında türbin kanadı grit hızlandırıcılar, nümerik kontrollü raspa başı ve platformlar örnek olarak verilebilir (Austin, 2002).

Yukarıda sayılan mevcut raspa işlemlerinde iyileştirmelerin öneminin yanı sıra kullanılan raspa malzemesi de oldukça önemlidir. Atık oluşumuna neden olan etkenlerin başında raspa malzemesi gelmektedir. Raspa malzemeleri konusunda yapılan çalışmalarda alternatif malzemelerin araştırılması son yirmi yıllık dönemde giderek artmıştır. En çok kullanılanlar kuru buz, cam ve sünger medyadır.

1. 1980'li yılların başlarında Lockheed firması tarafından, o dönemde kullanılmakta olan kum rاسبasının sağlık yönünden zararları ve diğer kimyasal yöntemlerde kullanılan deterjanların toksik etkileri nedeniyle, bu tip temizleme ve raspa yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir (Townsend ve Carlson, 1997). Kurubuz rاسبası, kuru buz parçalarının yüzeye gönderilmesi ile çalışan pnömatik bir prostestir. Kuru buz parçaları $-78,5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta katı karbon dioksit (CO_2) içerir. -80°C ' de ve 1 barda karbondioksit salınımı kuru-buz karını oluşturur (Elbing vd, 2003). Sıvı CO_2 buza dönüştürüldükten sonra yüzeye uygulanır. Uygulama sonrasında kuru buz taneleri gaz fazına geçerek kaybolmakta, bu da atık oluşumunu çok aza indirmektedir. Yüksek hızlardaki kuru buz film tabakası alt katmanlara zarar vermeden boya film tabakasını kaldırır (Townsend ve Carlson, 1997). Temizlik işleminin ardından kuru

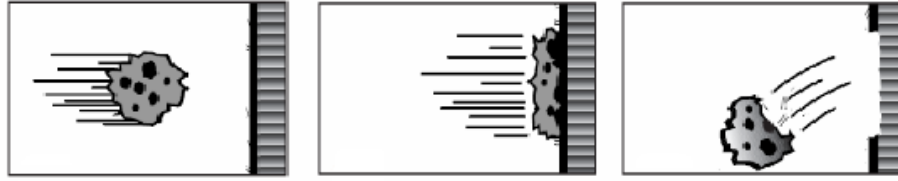
buz raspası atığı bulunmamaktadır, çünkü kuru buz yüzeye çarptığında direk olarak katıdan gazı geçiş olur (Elbing vd, 2003).

2. Yüzeye çarptıktan sonra kuru buz tanelerinin kaybolması ve alt yüzeylere zarar vermemesi, atık oluşumunun minimum seviyede olması, grit kadar fazla çevresel önlem alınmaması, tehlikeli atık oluşumunun olmaması, kuru buz raspasının avantajlarından bazılarıdır. Bunun yanı sıra grit raspaya göre işlem süresinin uzun olması, alt katman yüzeylerin temizlenmesinde etkili olmaması sistemin dezavantajlarından sayılabilir (Townsend ve Carlson, 1997, Uhlmann vd, 2006).

CO₂ gaz fazına geçtiğinde, yakalanmadığı durumda atmosfere salınmaktadır. CO₂ havadan ağır olduğu için solunan hava ile yer değiştirme olasılığı mevcuttur. Bu nedenle uygulamanın yapılacağı alan iyi seçilmeli ve havalandırılmalıdır. Teknolojinin de gelişmesiyle bu tip problemler çözüldüğünde, kuru buz raspası çevreye az zarar vermesi yönü ile de diğer raspa yöntemlerine alternatif bir durum göstermektedir (Stratford, 2000).

3. Son teknolojik gelişmelerde biri de kuru buz-lazer hibrit teknolojisidir. Lazer ışını veya öbeği çeşitli açılarda, yüzeyde belirli yerlere odaklanarak yüzeyi ısıtır ve yüzey kaplamasının kabuklaşmasını ve kolay soyulmasını sağlar. Çevreyle dost yüzey hazırlama metotları arasında yer alan lazer-kuru buz teknolojisi, elde edilen yüzey kalitesine bakıldığında elektrokimyasal ve kimyasal yöntemlere göre çok daha başarılıdır (Elbing vd, 2003).
4. Raspa malzemelerine alternatif olarak son yıllarda geliştirilen malzemeler arasında sünger medya da bulunmaktadır. Muleski ve Downing (2006), çalışmalarında raspa işlemlerinde kullanılabilecek süngerimsi yapıda yeni bir malzeme geliştirmişlerdir. Sünger malzeme poliüretan materyalin aşındırıcı malzeme ile doyurulmasıyla elde edilmiştir. Esnek süngerimsi malzeme, aşındırıcı malzeme ile birleşip hava emisyonlarını mikro düzeyde çevrelemektedir. Toz oluşumunu azalttığı gibi diğer aşındırıcılardan kaynaklanan işçiye zarar verebilen malzeme sekmesi de önlenmiş olmaktadır. Sünger medya ile raspanın çalışma prensibi Şekil 3.13'te verilmiştir. Süngerli malzeme aşındırıcı sistem, hızlandırıcı sistemler tarafından yüzeye püskürtülür. Çarpışma enerjisi yüzeye aktarılır, bu enerji ile aşındırıcı, yüzey kirleticilerini yüzeyden koparır ve boya parçacıkları ve diğer kirleticiler sünger madde tarafından tutulur. Sünger aşındırıcı toz oluşumunu azaltarak yüzeyden ayrılır

(Muleski ve Dowing, 2006).



Şekil 3.13 Aşındırıcı malzeme ile birleştirilmiş sünger malzemenin çalışma prensibi

Tersanelerde kullanılabilecek alternatif raspa malzemelerinden biri de cam malzemedir. Cam, metal cürufları gibi ağır metaller içermediğinden, çevreye ve özellikle deniz habitatına zarar vermemektedir. Çizelge 3.4'te bakır cürufu ile geri dönüşümlü camın deneysel ortamda karşılaştırılması sonuçları verilmektedir (MSP, 2006).

Çizelge 3.4 Geri dönüşümlü cam ve bakır cürufu karşılaştırılması

Karşılaştırılan özellik	Geri dönüşümlü cam	Bakır cürufu
Toz oranı	Raspa sonrası çok az toz oluşumu	Raspa sonrası orta seviyede toz oluşumu
Temizleme oranı	Sa 2 ½- Sa 3 kalitesinde açık metal rengi yüzey	Sa 2 ½-Sa 3 kalitesinde koyu metal rengi yüzey
Tuzluluk	Tuz içermez	Potasyum içerdiğinden tuz oluşumuna neden olur
Prodüktivite	Boyalı yüzeylerde etkili, kirli yüzeyde daha az etkili	Tüm yüzeylerde etkilidir
Atık	Geri dönüşüm	Gömme
Çevresel etkiler	Atık oluşumunu azaltır	Ağır metaller içerir
İnsan sağlığı	Serbest içermediğinden Silika silikoza neden olmaz	Oluşan toz sağlığı olumsuz etkiler

3.2 Kaynak Prosesi

Genel olarak kaynak olayını, parçaların ısı ya da basınç uygulaması yada her ikisinin yardımı ile birleştirilmesi, yüzeylerin ilave bir malzeme ile örtülmesi olarak tanımlamak mümkündür. Birleştirilmesi ön görülen malzemelerin kaynak bölgeleri plastik veya sıvı duruma getirilmekte, eş iki malzemenin birleştirilmesi sonucu oluşan kaynak dikişinin özellikleri de ana malzemeninkine benzemektedir (Güntekin, 1991).

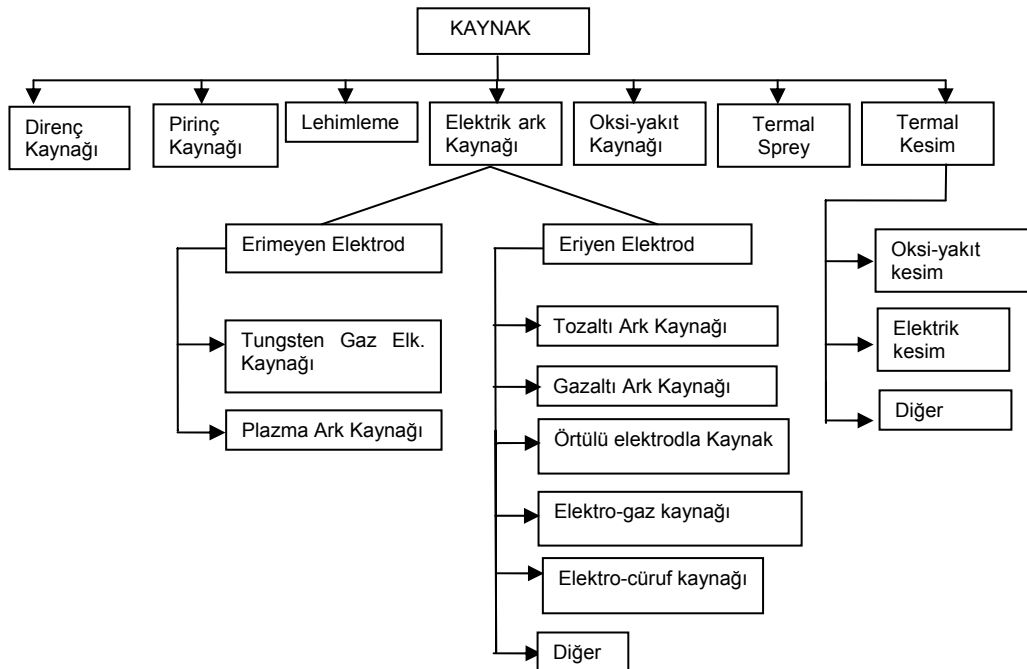
Bütün eritme kaynak yöntemleri temel olarak bir döküm işlemini andırır. Kaynak metal, elektrik arkı veya gaz alevinin yüksek sıcaklığı karşısında erir ve daha önceden hazırlanmış olan kaynak ağzı içine dökülür, bu arada kaynak ağzının kenar yüzeyleri de bir miktar erir ve dolayısı ile erimiş kaynak metal ve esas metal karışarak kaynak ağzı içinde katılaşır. Bu esnada, kaynatılan parçaların kaynak dikişine bitişik kısımlarında, metalin erime sıcaklığından ortam sıcaklığına kadar, çeşitli sıcaklık derecelerinde ısınmış bölgeler ortaya çıkar. Böylece

kaynak esnasında malzeme istenmeden, kaynak işlemine tabi edilmiş bir ısıl işleme tabi tutulmuş olur (Dikicioğlu, 2006).

Son elli yıldır kaynak tekniğinde meydana gelen gelişmeler ile kaynağa uygun yeni çeliklerin imalat sektöründe kullanılmaya başlanması ile kaynak teknolojilerinde büyük gelişmeler sağlanmıştır (Güntekin, 1991).

Çelik, yüksek mukavemetli, form verilebilir olması, işlenebilir ve kaynak edilebilir olması nedeniyle gemi inşaatı ve onarımı sektöründe birincil hammaddedir. Bunun yanı sıra üst bina ve bazı ekipmanların imalatı için alüminyum ve diğer kompozit malzemeler de kullanılmaktadır. Gemi inşaatında korozyon direnci nedeniyle paslanmaz çelikler, galvanizli çelikler ve bakır nikel alaşımları daha çok kullanılmaktadır. Çelikler; yumuşak, yüksek mukavemet ve yüksek alaşım çelikleri olmak üzere 3 ana gruba ayrılır. Yumuşak çelikler kolaylıkla form verilebilir ve birleştirilebilir. Öte yandan yüksek mukavemet çelikleri mekanik özellikleri açısından yumuşak çeliklere göre daha iyidir. Yüksek mukavemet çelikleri gemi üretiminde oldukça fazla kullanılırlar (Zachary ve Jacobs, 1995).

Gemi inşaatı sırasında üretim yöntemi olarak kullanılan farklı kaynak prosesleri bulunmaktadır. Endüstride kullanılan genel kaynak ve kesme yöntemleri şematik olarak Şekil 3.14'te gösterilmektedir (USEPA AP-42).



Şekil 3.14 Genel kaynak ve kesme yöntemleri

3.2.1 Kaynak Yöntemleri

Gemi üretimi sırasında en çok kullanılan kaynak yöntemi olması sebebiyle ark kaynağı hakkında bilgiler verilecektir.

Elektrod çeşitliliği, kullanılan örtü malzemesi ve ekipman yönünden oldukça zengindir. Elektrik ark kaynağı iki metal parçanın eriyen bir ara malzeme ve elektrik akımı aracılığı ile birleştirilmesi işlemidir. Sıcaklıkların 4000 °C'ye ulaştığı bu işlemde, elektrod ve tel ara malzeme eriyerek parçalar arasındaki boşluğu doldurur. Elektrik ark kaynağı, sarf edilen ergiyen ve ergimeyen elektrod yönünden iki ana kısma ayrılır. Elektrodun ucundan çalışma parçasına kadar verilen elektrik akımı, erime için gerekli ısıyı sağlar. Elektrik akımı soğuyarak katılacak bir ergime birikintisi oluşturmak için birleşme noktasında hem elektrodu hem de iş parçasını eritir. Bunun sonucunda ana malzemedeki ısı değişimleri sonrasında metalle birleşir. Yüksek akım değerleriyle oluşturulan ark içinde eriyen elektrotlar, birleştirilecek malzemeler ile uyumlu olması için çeşitli alaşımlardan üretilmektedir. Kaynak işlemi sırasında duman oluşumunun çoğunluğu eriyen elektrottan ve eriyen malzemenin yüzeyler ile tepkimeye girmesinden olmaktadır (NIOSH, 2002).

3.2.1.1 Erimeyen Elektrodla Kaynak Yöntemi

3.2.1.1.1 TIG Kaynağı

Soy gaz koruması altında yapılan TIG (Tunsten Inert Gas) kaynak yöntemi ile bütün metal ve alaşımlarını kaynak yapmak mümkündür. Ancak yöntemin yavaşlığı araştırmacıları, benzer sonuçları veren daha hızlı bir yöntemin arayışına yöneltmiştir (Ertürk, 2008).

TIG kaynağında ark, tungsten elektrod ile parça arasında serbestçe yanar. Koruyucu gaz olarak argon, helyum veya bunların karışımı kullanılabilir. Ark, sadece bir elektrik iletkeni ve ark taşıyıcısı olan tungsten elektrod ile iş parçası arasında yanar. İlave malzeme kaynak banyosuna önden veya yandan, elle sevk edilen çubuk telle veya ayrıca bir sevk aparatı ile verilir. Tersanelerde uygulama alanı olarak genellikle karbon, paslanmaz çelikler (ostenitik ve duplex), bakır ve alüminyum boruların kaynaklarında kullanılmaktadır. TIG kaynağı kullanılarak inşaa edilen gemilerde, boyama prosesi öncesi yapılan tam raspalama işlemi sonrası ortaya çıkan kaynağın içindeki hatalarının (gözenek, cüruf sıkışmaları) ve sac yüzeyindeki haddeleme hatalarının tamirlerinde de kullanılabilirler (Asarkaya, 2004). Bu yöntemde yanıcı yakıcı gaz yoktur, ısı enerjisi elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır. Erimeyen bir elektrod kullanıldığı için kıvrık alın kaynak ağızı hazırlanmış ince parçalar, ek kaynak metaline gereksinme göstermeden birleştirilebilir; gerektiğinde esas metalin eritilerek,

ek kaynak metaline olan gereksinmeyi ortadan kaldırması da yöntemin göz önüne alınması gereken üstünlüklerinden bir tanesidir (Ertürk, 2008).

3.2.1.1.2 Plazma Kaynağı

Plazma ark (PA) kaynağı, TIG kaynağının bir uzantısı olup onun konik şekilli arkı, çeşitli düzenlemelerle büzülüp ince silindirik hale getirilmesi ve böylece de büyük bir güç yoğunlaşması ve sıcaklık yükselmesi elde edilir. Elektrik arkının iyice soğutulmuş bir memeden iyonize gaz içinde sevk edilmesi plazma ark olarak tanımlanır. Plazma, yüksek enerjili ve yüksek derecede ısıtılmış moleküller, atomlar, iyonlar ve elektronlardan oluşmuş bir gaz halinde görünür (Külahlı, 1988).

Plazma kaynağı tungsten ark kaynağına benzemektedir. Aralarında en önemli fark bir nozul içinde sıkıştırılmış olan plazmada 10.000–20.000 °C arasında sıcaklıkların oluşmasıdır (Cunat ve Pont, 2007). Plazma kaynağı, elektrodla iş parçası arasında oluşan ark ile ısı oluşması ve gazın iyonlaşması ile uygulanır. Kullanılan soy gazlar tekil kullanılabildiği gibi karışım olarak da kullanılabilir. Plazma ark kaynağında ergimeyen elektrod kullanılır.

3.2.1.2 Eriyen Elektrodla Kaynak Yöntemi

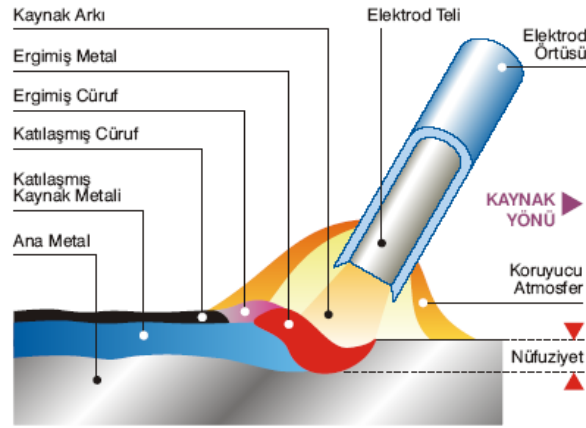
3.2.1.2.1 Örtülü Elektrodla Kaynak

Örtülü elektrotla ark kaynağı endüstride en çok kullanılan kaynak yöntemidir. Örtülü elektrotlar da piyasada en çok bulunan kaynak elektrotlarıdır. Bir diğer adı elle ark kaynağıdır. Ark, iş parçasının yüzeyi ile örtülü elektrotun ucunda oluşur. İşlem esnasında elektrot içindeki çekirdek kısım hem elektriği iletmekte hem de dolgu eriyiğini oluşturmaktadır. Örtülü elektrotun çekirdeği katı bir metal çubuk olabildiği gibi, metal kılıf içine doldurulmuş metal tozu da olabilir (USEPA AP-42, 1994).

Bu kaynak yönteminde, birleştirilecek iki parça arasındaki bağlantının oluşturulacağı bölgede bulunan metal uygulanan yüksek ısı etkisi ile ergir ve kullanılan örtülü elektrodta gelen ergimiş dolgu metali ile birlikte bir karışım oluşturur. Elektrik akımının iş parçası ile örtülü elektrod arasından geçmesi sonucunda "ark" meydana gelir. Metallerin eritilebilmesi için gerekli olan yüksek ısı ise bu elektrik arkı tarafından sağlanır (Eczacıbaşı, 2007). Bu yöntemin temel prensibi; kullanılacak elektrod genellikle kaynak makinesinin artı kutbuna, topraklama kablusunun ise eksi kutba bağlandıktan sonra elektroda gerilim uygulanır. Elektrod üzerinden yüksek miktarda akım (100-250A) geçişi sağlandıktan sonra; katottan yayılan elektronlar yüksek hızla anot kutbunu bombardıman etmeye başlar ve nötr moleküller

iyonize olarak arkı oluştururlar. Oluşan ark sonrasında çok yüksek bir sıcaklığa (25.000°C-35.000°C) ulaşılır ve hem ana metal hem de dolgu metali ergir. Ergiyen elektrod kaynak banyosuna farklı büyüklükteki (ince, orta, kaba) damlacıklar halinde düşer. Kaliteli kaynak dikişi için ark boyunun sabit tutulmaya çalışılması gerekir. Ark üflemesi oluşumundan kaçınılarak, uygun kaynak parametreleri (akım, kaynak hızı) kullanılarak ve kaynakçının el melekelerini kontrol etmesi ile ark boyu sabit tutulabilir (Asarkaya, 2004).

Örtülü elektrodlar, kaynak dikişine dolgu metali verme özelliklerinin yanında gaz, metal buharı ve cüruf oluşturarak ergimiş kaynak banyosunun ve kaynak arkının korunmasını sağlayan bir koruyucu örtü de oluştururlar. Bu koruma sayesinde ergimiş kaynak banyosunun hava ile teması en aza indirilir (Eczacıbaşı, 2007). Elektrod örtüsünün temel amacı ergimiş kaynak metalini atmosferin kötü etkilerinden korumaktır. Aynı zamanda örtü kaynak işleminin başarısına katkıda bulunmaktadır. Ergimiş örtü katılaştıktan sonra, kaynak dikişini, oda sıcaklığına soğuyuncaya kadar devam eden bir koruyucu cüruf oluşturur (Eryürek, 2007). Şekil 3.15'te örtülü elektrodla kaynak yöntemi şematik olarak verilmektedir.



Şekil 3.15 Örtülü elektrodla kaynak yöntemi

Çeliklerin kaynağında dört temel elektrod çeşidi mevcuttur. Asit örtüler oksit ve silikatlardan meydana gelmektedir. Selüloz örtüler ağaç ve bitkisel esaslı maddelerin kullanılması ile elde edilirler. Rutil örtülerin esas maddesi titanyum oksittir. Bu madde iyi bir cüruf oluşturma özelliğine sahiptir ve kullanımı kolaydır. Bazik örtüler, kalsiyum florid ve kalsiyum karbonat gibi bileşikler içerirler (Eryürek, 2007).

Tersane uygulamalarında yoğun kullanım alanına sahip bazik elektrodların en önemli özelliği düşük hidrojen içeriğine sahip olmasıdır. Sahip olduğu yüksek mekanik özellikleri, darbeye yüksek dayanım göstermeleri, dinamik zorlamalarda istenilen teknik özellikleri göstermesi nedeniyle tersanelerde ilk kullanılan kaynak yöntemidir. Bazik elektrodlar kullanılmadan

önce kesinlikle 300 °C'lik fırınlarda kurutulmalı ve 150 °C'lik bekletme fırınlarına alındıktan sonra termoslarla sıcak olarak kullanılmalıdır. Bazik elektrod tersane uygulamalarında genellikle; armuz-sokra kaynaklarında, foundation, menhol, boru birleşimlerinde ve v.b. çelik tekne-teçhiz kaynaklı imalatlarında kullanılır. Tersane uygulamalarında manuel (elle) kullanıldıkları gibi gravite elektrod (5 mm x 450 mm) bu iş için özel olarak üretilmiş alternatif akımla çalışan makinelerle, düşük alaşım (A Grade) profillerinin, stifinerlerin köşe kaynaklarında kullanılır. Selülozik elektrodların örtüsünün içeriğinde yüksek oranda selüloz ve diğer organik birleşikler mevcuttur. Aralık doldurma kabiliyetinin iyi olması ve nüfuziyetinin yüksek olması nedeniyle özellikle boruların kök pasolarında kullanılır. Bunların yanı sıra asidik, demir dışı, karbon, derin nüfuziyetli ve kaplama elektrod tipleri de mevcuttur (Asarkaya, 2004).

3.2.1.2.1.1 Örtülü Elektrodla Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları :

1. Örtülü elektrod ark kaynağı açık ve kapalı alanlarda uygulanabilir.
2. Elektrod ile ulaşılabilen her noktada ve pozisyonda kaynak yapmak mümkündür.
3. Diğer kaynak yöntemleri ile ulaşılamayan dar ve sınırlı alanlarda kaynak yapmak mümkündür.
4. Kaynak makinesinin güç kaynağı uçları uzatılabildiği için uzak mesafedeki bağlantılarda kaynak yapılabilir.
5. Kaynak ekipmanları hafif ve taşınabilir özelliktedir.
6. Pek çok malzemenin kimyasal ve mekanik özelliklerini karşılayacak örtülü elektrod türü mevcuttur. Bu nedenle kaynaklı birleştirmeler de ana malzemenin sahip olduğu özelliklere sahip olabilir.

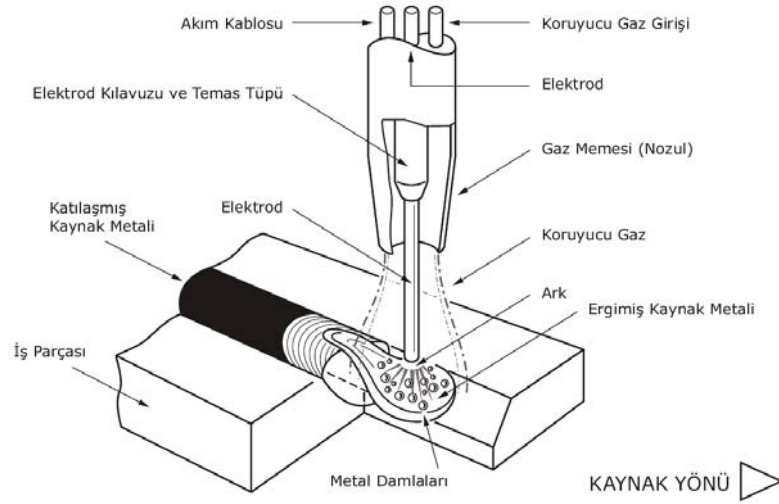
Dezavantajları :

1. Örtülü elektrod ark kaynağının metal yığıma hızı ve verimliliği pek çok ark kaynak yönteminden düşüktür. Elektrodlar belli boylarda kesik çubuklar şeklindedir, bu nedenle her elektrod tükendiğinde kaynağı durdurmak gerekir.
2. Her kaynak pasosu sonrasında kaynak metali üzerinde oluşan cürufu temizlemek gerekir.

3.2.1.2.2 Gazaltı Kaynağı

Gazaltı kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenen bir elektrod ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Kaynak bölgesine sürekli şekilde beslenen, masif haldeki tel elektrod eriyerek tükendikçe kaynak metalini oluşturur. Elektrod, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen gaz veya karışım gazlar tarafından korunur. Burada elektrod tükenir tiptedir. Eriyen dolgu teli ve iş parçası arasında koruyucu gaz altında bir ark oluşturulmaktadır. Özlü telle ark kaynağı prosesleri gazaltı kaynağının değişik bir biçimidir. Öz, elektrod örtüsü ile aynı görevi görmektedir (Cunat ve Pont, 2007).

Gazaltı kaynağı, arkın kaynak torcuna bağlı besleme sisteminin sağladığı gazla korunduğu yöntemdir. Amerika’da bu yönteme GMAW-gaz metal ark kaynağı, İngiltere ve Almanya’da MIG/MAG kaynağı adı verilmektedir. Ülkemizde de eriyen elektrodla gazaltı veya MIG/MAG kaynağı adları kullanılmaktadır. Koruyucu olarak soy gazlar (MIG-Metal Inert Gas) ve aktif gazlar (MAG-Metal Activated Gas) kullanılmaktadır. Yöntem, Şekil 3.16 da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Gazaltı kaynağı

Bütün koruyucu gaz kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MIG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekir. Ark atmosferinin karakteri, kullanılan çeşitli gaz ve gaz karışımlarına bağlı olarak değişir. Argon, helyum gibi asal gazların meydana getirdikleri ark atmosferinin nötr bir karakter göstermesine karşın, argon gazına oksijen veya karbondioksit gibi aktif gazların karıştırılmasıyla ark atmosferine oksitleyici bir karakter kazandırılabilir. Hidrojen gazının karıştırılması halinde ise

redükleyici bir gaz atmosferi oluşur. Böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur. Ayrıca, koruyucu gazın oksijen içermesi düşük akım yoğunluklarında da ince taneli ve kısa devresiz damla geçişinin (Sprey ark) oluşmasına yardımcı olur. Çeliğin MIG kaynağında argon gazına oksijen ve karbondioksit karıştırılmaktadır. Böylece oksijen kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, eriyen elektrot telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatmakta ve ince taneli bir metal geçişi sağlamaktadır. Oksijenin oksitleyici etkisi, oksijene karşı büyük bir afinitesi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum, zirkonyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir. Koruyucu gazların farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, düzgün ve sakin yanışlı bir ark ile kaynak yapabilmek için, her bir gaza belirli bir ark gerilimi ve akım şiddeti uygulamak gerekmektedir. Örneğin; karbondioksit molekülünün ayrışması için yüksek akım yoğunluğuna gerek vardır (Ertürk, 2008).

3.2.1.2.2.1 Gazaltı Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları:

1. Tel şeklindeki kaynak elektrodu kaynak bölgesi sürekli beslendiği için kaynakçı örtülü elektrod ark kaynak yönteminde olduğu gibi tükenen elektrodu değiştirmek için kaynağı durdurmak zorunda değildir.
2. Cüruf oluşmadığı için örtülü elektrolardaki gibi her paso sonrası cüruf temizliği işlemi yoktur ve kaynak metalinde cüruf kalıntısı oluşma riski olmadığından, daha kaliteli kaynaklar elde edilir.
3. Örtülü elektrod ark kaynağına göre daha düşük çaplı elektrodlar kullanıldığından, aynı akım aralığında yüksek akım yoğunluğuna ve yüksek metal yığıma hızına sahiptir.
4. Gazaltı kaynağı ile elde edilen kaynak metali düşük hidrojen miktarına sahiptir, bu özellikle sertleşme özelliğine sahip çeliklerde önemlidir.
5. Gazaltı kaynağında derin nüfuziyet sağlanabildiği için bazen küçük köşe kaynakları yapmaya izin verir ve örtülü elektrod ark kaynağına göre daha düzgün bir kök penetrasyonu sağlar.
6. İnce malzemeler çoğunlukla TIG kaynak yöntemi ile ilave metal kullanarak veya kullanmadan birleştirilse de, gazaltı kaynağı ince malzemelerin kaynağında örtülü elektrod ark kaynağından daha iyi sonuç verir.

7. Hem yarı otomatik hem de tam otomatik kaynak sistemlerinde kullanıma çok uygundur.

Dezavantajları :

1. Gazaltı kaynak ekipmanları, örtülü elektrod ark kaynağı ekipmanlarına göre daha karmaşık, daha pahalı ve taşınması daha zordur.
2. Gazaltı kaynak torcu iş parçasına yakın olması gerektiği için örtülü elektrod ark kaynağı gibi ulaştırılması zor alanlarda kaynak yapmak kolay değildir.
3. Sertleşme özelliği olan çeliklerde gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak birleştirmeleri çatlamaya daha eğilimlidir. Çünkü örtülü elektrod ark kaynağında olduğu gibi kaynak metalinin soğuma hızını düşüren bir cüruf tabakası yoktur.
4. Gazaltı kaynağı, gaz korumasını kaynak bölgesinden uzaklaştırabilecek hava akımlarına karşı ek bir koruma gerektirir. Bu nedenle, örtülü elektrod ark kaynağına göre açık alanlarda kaynak yapmaya uygun değildir.

3.2.1.2.3 Tozaltı Kaynağı

Normal örtülü elektrotla yapılan kaynağa göre bu yöntemde kullanılan aynı çaplı elektrot daha yüksek kaynak akımı ile yüklendiğinden, daha büyük kaynak banyosu ve daha derin nüfuziyet elde edilir. Yöntem, yarı otomatik ve tam otomatik kaynak uygulamalarına da müsait olduğu için, modern kaynak uygulaması olarak sanayileşmiş ülkelerde yaygın kullanım sahası bulmuştur (Külahlı E, 1988).

Tozaltı kaynağında ark yine elektrot ile ana metal arasında meydana gelir. Ancak eritilebilir granül bir toz akıntısı, ark ve eriyik birikintinin üzerini örter. Arkı kapatan toz, prosesin önemli bir unsurudur. Toz, arkı stabilize ederek kaynak dikişinin mekanik ve kimyasal özelliklerinde rol oynar. Tozaltı kaynağında kaynak kalitesi işçilik ve tozun korumasına bağlıdır. Tozaltı kaynağı basınçlı tank imalatında en çok kullanılan yöntemdir. Toz altı kaynağında ark yine elektrot ile ana metal arasında meydana gelir. Fakat farklı olarak, ergiyebilen granül toz akıntı ark ve eriyik birikintisinin üzerini kaplamaktadır. Arkı kapatan eriyik toz, bu prosesin tipik özelliğidir. Toz altı kaynağında kaynak kalitesi işçiliğe ve toz korumasına bağlıdır. Toz altı kaynağı basınçlı tank imalatında en çok kullanılan yöntemdir. Genellikle kaynak torcu, taşıyıcı otomatik aparat üzerine sabitlenmiştir. Yöntemin dezavantajı, birleştirme hattı ile kaynak torcunu ayarlamak için zaman gerekmesidir (USEPA AP-42, 1994). Yöntemin dezavantajı, birleştirme hattı ile kaynak torcunu ayarlamak için

zaman gerekmesidir (Mener vd., 2001).

3.2.1.2.3.1 Tozaltı Kaynağı Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları :

1. Düz ve silindirik parçaların kaynağında, her kalınlık ve boyuttaki boruların kaynaklarında ve sert dolgu kaynaklarında kullanılabilen yüksek kaynak hızına ve yüksek metal yığıma hızına sahip bir yöntemdir.
2. Hatasız ve yüksek mekanik dayanımlı kaynak dikişleri verir.
3. Kaynak esnasında sıçrama olmaz ve ark ışınları görünmez. Bu nedenle kaynak operatörü için gereken koruma daha azdır.
4. Diğer yöntemlere göre kaynak ağızı açılarını kaynak yapmak mümkündür.
5. Tozaltı kaynağı kapalı ve açık alanlarda uygulanabilir.

Dezavantajları :

1. Tozaltı kaynak tozları havadan nem almaya eğilimlidir, bu da kaynakta gözeneğe neden olur.
2. Yüksek kalitede kaynaklar elde edebilmek için ana metal düz ve düzgün olmalı, ana metal yüzeyinde yağ, pas ve diğer kirlilikler olmamalıdır.
3. Cüruf kaynak dikişi üzerinden temizlenmelidir, bu bazı uygulamalarda zor bir işlem olabilir. Çok pasolu kaynaklarda, kaynak dikişine cüruf kalıntısı olmaması için cüruf her paso sonrası temizlenmelidir.
4. Tozaltı kaynağı 5 mm'den ince malzemelerde yanma yapabileceği için genellikle uygun değildir.
5. Yöntem özel bazı uygulamalar hariç, düz, yatay pozisyonadaki alın kaynakları ve köşe kaynakları için uygundur.
6. Her metal ve alaşım için uygulanabilen bir yöntem değildir.

3.2.2 Kaynak Prosesi Atıkları

Uygulanacak kaynak yöntemini seçerken metalürjik açıdan avantajlarının yanı sıra potansiyel sağlık ve güvenlik kurallarına da dikkat etmek gerekir. Isıl prosesleri de içerdiğinden dolayı,

işçilerin yüksek sıcaklıklara maruz kalması, oluşan kaynak dumanı ve elektriksel donanımların fazlalığı iş sağlığı ve güvenliği açısından son derece önemli bir durumdur. Elektrod eridiği zaman ortaya çıkan dumanda pek çok metal partikül bulunmaktadır. Bunun yanı sıra eriyen ana metaldeki oksit tabakası da bu dumana karışmaktadır. Kaynak işlemi başlı başına tehlikeli durumlar içermektedir. Sıcaklık, akı, radyasyon, gürültü, duman, gazlar, elektrik akımı, kaynak dumanı içerisindeki tehlikeli kimyasal içerikli gazlar, hem çalışan hem de çevre açısından son derece tehlikeli durumlar yaratabilmektedir.

Kaynak dumanının miktarı, kullanılan elektroda ve yöntem, örtü gazlarına, ortama ve kaynak becerilerine bağlı olarak değişim göstermektedir. En çok kullanılan kaynak malzemeleri, manganez, silika, krom ve nikel içermektedir. Paslanmaz çeliklerin kaynağında oluşan dumanın % 20 sini krom bileşikleri ve % 10 kadarını da nikel oluşturmaktadır. Krom ve nikel dumanı insanlarda kanser oluşumuna neden olduğundan kanserojen sınıfına girmektedir. Yüksek oranda manganeye maruz kalmalarda işçilerde nörolojik bozukluklar ve rahatsızlıklar oluşturmaktadır. Karbon monoksit, ozon, nitrojen oksit gibi iritan gazlar pek çok kaynak yönteminde meydana gelmektedir.

Direk olarak kaynak dumanının kanser yaptığı konusunda kesin bulgular olmamakla beraber yapılan çalışmalarda etkisinin olduğu kesinleşmiştir. Yapılan epidemiyolojik çalışmalarda kaynak dumanının akciğer kanserine neden olduğu anlaşılmaktadır. Son çalışmalarda paslanmaz çeliklerin kaynağından solunması ve maruz kalması son derece tehlikeli ve kanserojen olan krom, nikel çok yüksek oranlarda çıkmaktadır. Bunun yanı sıra genotoksiste çalışmalarında paslanmaz çeliklerin kaynak dumanı, memeli hücrelerinde mutasyona yol açmaktadır. Geliştirilen toksikoloji çalışmaları ile kaynak dumanının kansere neden olabilecek aktörleri belirlenmeye çalışılmaktadır (NIOSH, 2002).

3.2.2.1 Hava Emisyonları

İmalat parçalarının malzemesinin içerdiği gibi; mukavemet, korozyon direnci, esneklik, erime kabiliyeti, soğuma hızı gibi özellikler göz önüne alınıp çeşitli katkıları eklenerek üretilen elektrotlar ark veya başka bir enerji ile eridiklerinde havaya emisyon bırakmaktadırlar. Kaynak ark dumanı içindeki bu emisyon maddelerinin çoğu tehlikeli hava kirleticileridir (HAP). Örtü gazları, kaynak kaplamaları, yüzeydeki boya ve kaplama çeşidi, kaynak dumanını belirleyen etmenler arasındadır. Buharlaştıran metal dumanı hava ile birleştiğinde metal oksit dumanı da oluşmaktadır (NIOSH, 2002).

Salınan emisyon miktarı önemli ölçüde kaynak yöntemine ve operasyon koşullarına bağlıdır.

Elektrot seçimi, çap ve içeriğine bağlı olarak emisyon miktarı azalır artabilmektedir. Çalışma parçasının bileşimi de salınan dumanın miktarını belirleyen bir faktördür. Çalışma parçası üzerindeki kaplama (galvaniz, temizleyici, yağ, boya, vb) organik bileşenli ve metali duman salabilir. Duman emisyonlarını etkileyen operasyon koşulları arasında kaynak hızı, voltaj, akım, ark uzunluğu, polarite, kaynak pozisyonu, elektrot açısı ve tortu oranı vardır (Mener vd., 2001). Kaynak dumanı metal elementlerin mevcut havaya karışmasıyla meydana gelir. Dumanın element bileşimi elektrot ve iş parçasına göre çeşitlilik gösterir. 1990 Clean Air Act üzerinde son düzenlemeye göre kaynak dumanında da bulunan manganez, nikel, krom, hekzavalan krom, kobalt ve kurşun en tehlikeli elementlerdir. Kaynak sırasında çıkan toksik hava kirlenici emisyonlar insan sağlığına olumsuz etki etmektedir. İş sırasında kaynak dumanı riski havalandırma ve kişisel koruyucu ekipmanla kontrol altında tutulmaktadır. Çevresel riskin ve bu yolla sebep olunan olası sağlık tehlikelerinin belirlenmesi ise zordur ve çoğunlukla bilgisayar destekli saçılım modellemeleri ve sağlık araştırmaları ile tahmin edilmektedir. Araştırma sonuçları emisyon değerleriyle doğrudan bağlantılı olduğu için emisyon faktörlerinin tutarlı olarak belirlenebilmesi çok önemlidir (Mener vd., 2001).

Partikül madde (PM) boyut, kimyasal özellikler ve kaynağına göre tanımlanmaktadır. Kaçak partikül emisyonları baca, havalandırma gibi yerlerde toplanamayan, ortama yayılan partikülleri ifade eder. Partikül emisyonları genellikle tersanelerde açık alanda yapılan, emisyon kontrolünün olmadığı alanlarda kaynak ve raspa işlemlerinde ortaya çıkmaktadır. Toplam partikül miktarları, toplam asılı partikül miktarı (TSP), boyutu 10 mikrondan düşük partikül miktarı (PM₁₀) ve boyutu 2.5 mikrondan düşük partikül miktarı (PM_{2.5}) olmak üzere üç ana grupta incelenebilir (Sinclair, 2004). Parçacık boyutları 0,5 mm den 10⁻⁷ mm ye kadar geniş bir boyut aralığına sahip organik ve inorganik katı ve sıvı parçacıkların atmosferde asılı kalması ile partikül hava kirliliği oluşmaktadır. Amerika çevre koruma ajansı 1987 yılında PM₁₀'ların solunmasının insan sağlığına zararları olmasından dolayı yeni bir düzenleme yayınlamıştır. Partiküller birinci ve ikinci olmak üzere ikiye ayrılırlar. Birincil partiküller daha büyük boyutludurlar. İkincil tip partiküller genellikle kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelirler. PM toksisitesi, kullanılan malzemelerin toksikliğinden ya da prosesler sırasında ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal reaksiyonlardan ortaya çıkmaktadır. Bunların solunması ve akciğer gibi organlarda birikmesi insan sağlığı açısından son derece tehlikelidir. Bunun yanı sıra partiküllerin çevreye yayılması, suda birikmesi biyolojik olarak da oldukça tehlikelidir (Harris, 2001). ABD'de 1990 yılında hazırlanan temiz hava yasası düzenlemesinde, 189 tane tehlikeli hava kirlenici (HAP) için emisyon standartları ortaya konulmuştur. Tersanelerde sıklıkla karşılaştığımız bu kirlenicilerden bazıları, boyut olarak 10

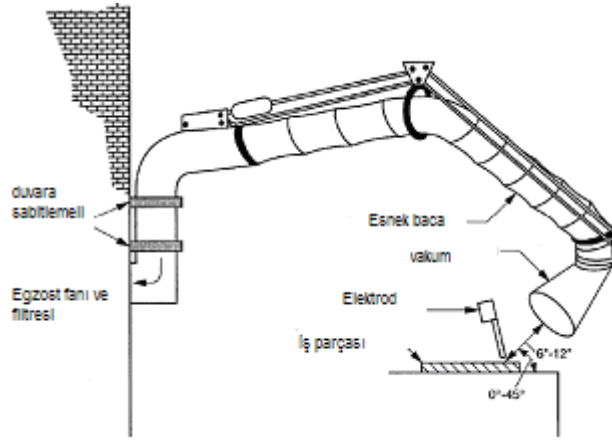
ve 2.5 mikrondan daha küçük partikül maddeler (PM₁₀ ve PM_{2.5}), sülfür dioksit (SO₂), nitrojen dioksit (NO₂), karbon monoksit (CO) ve ozon (O₃)'dur (Harris ve Castner 2002).

3.2.2.2 Katı Atıklar

Bu atıklar arasına elektrot kırıntıları, artık elektrot çubuk ve sargıları, eriyikler, cüruf, serpintiler, döküntüler ve diğer atıklar dâhil edilebilir. Örtülü elektrotlarının dipleri, hasarlı elektrot kırıntıları, gazaltı ve tozaltı bobinlerinin sonları, ıskarta edilmiş elektrotlar, bu kategoriye girmektedir. Son derece çeşitli dağılımlar gösterse de örtülü elektrot artıkları, satın alınan toplamın %15 ila %30'unu kapsamaktadır. Kaynak elektrotlarının %15 ila %20'si katı atık olarak kalıp prosese dâhil olmadıkları için hava emisyonu hesabından düşülmelidir. Som veya özlü elektrot kırıntıları %2-%6 civarındadır. Bu atıkların bileşimleri satın alınan elektrotlarıkiyle aynıdır. Kaynak döküntüsünün sonucu olan kırıntı eriyiklerin içeriği orijinal malzemenin bileşimiyle aynıdır. Eriyikleri toparlamada bir miktar toz da karışır. Cüruf, örtülü elektrotla kaynak, tozaltı ve gazaltı kaynak işlemleri esnasında eriyik reaksiyonlarından çıkan artıktır. Kullanılan elektrottaki metal ve metal dışı oksitlerden müteşekkildir. Serpinti ise kaynak yapılırken kaçışan okside metal partikülleridir. Ayrıca ısıl kesim ve oyma operasyonlarında da iş parçasının içeriğine yakın yapıda cüruf çıkar. Bunun yanı sıra havalandırma sistemlerinin ve hava kontrol sistemlerinin filtrelerine hapsolmuş toz ve dumanlardır. Atık/pompalanan suyun işleme tabi tutulmasından sonra ortaya çıkan dağılmış katı atıklar da buna dahildir. Katı atık boşaltma genellikle atığı çevrim tesisine, toprak doldurmaya veya atık boşaltım şirketine gönderilerek yapılır (Henderson vd., 1986).

3.2.3 Kaynak İşlemlerinde Atıkları Azaltmak İçin Alternatif Çözümler

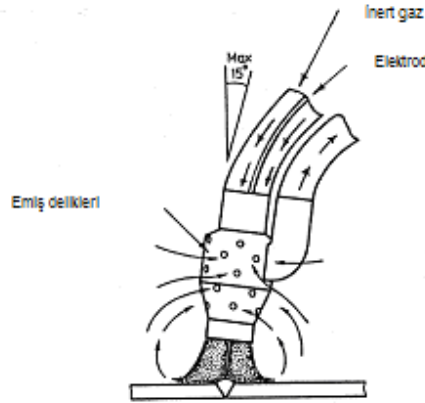
1. El ile yapılan kaynakta emisyonların emilmesi için portatif boru veya baca kullanılabilir. Ayrıca küçük parçalar ve rutin işler için sabit borular ve bacalar ile desteklenmiş küçük kabinler, geniş ve değişebilen işlemler için portatif veya elastiki emiş sistemleri kullanılabilir (Şekil 3.17) (USEPA AP-42, 1994)
2. Kaynak dumanı bertarafı için duman emildiğinde partiküller yüksek verimlilikteki filtrelerden geçirilmeli veya elektrostatik çöktürmeye uğratılmalıdır (USEPA AP-42, 1994).



Şekil 3.17. Kaynak dumanı emiş sistemleri

3. Kaynak sahası temizlendiğinde potansiyel olarak hiçbir zehirleyici malzeme kuru bırakılmamalı veya yüzeyden salınmamalıdır. Bu işlem aynı zamanda kaçak emisyonlarının oranının da düşürülmesine yardımcı olacaktır.
4. Tersanelerde çok hızlı, kaliteli, ekonomik ve sıçrama kayıpları az olan tam otomatik özlü tel kaynağı uygulanabilir (Asarkaya, 2004).
5. Atıkların minimizasyonu için kapalı ve açık blok birleştirmelerde robotik kaynak sistemlerine ağırlık verilmeli ve kaynak işlemlerinde mekanizasyon ve otomasyonun oranı arttırılmalıdır (Asarkaya, 2004).
6. İşçilerin dumana maruz kalmalarının azaltılması için kurallara uygun olarak kişisel koruyucu donanımlar eksiksiz olarak kullanılmalıdır.
7. Duman emisyonlarının azaltılması için ön imalatta yatay pozisyondaki stiffner, t-kiriş, profillerin köşe kaynaklarında kaynak robotu kullanılmalıdır (Asarkaya, 2004).
8. Geliştirilen vakum sistemli kaynak tabancaları sayesinde işçilerinin dumana maruz kalmaları azaltılabilir (Şekil 3.18) (USEPA AP-42, 1994).
9. Kaynak işlemlerinde özlü tel kullanılacaksa Ar ve CO₂ oranı düşük teller seçilmelidir (Kura, 2002b).
10. Tersanelerde yapılan işler gruplandırılarak yeni hafif portatif egzoz/duman toplama sistemleri için gereksinimlerin belirlenmesi, mekanik veya robotik kaynak operasyonlarının sağlanması, elektrot modifikasyonu, tersanelerdeki mevcut

uygulamaya dayanarak kaynak dumanına karşı kaynakçının maruz kaldığı miktarlar için kapsamlı veri tabanı oluşturulması gerekmektedir (Kura, 2002b).



Şekil 3.18 Kaynak dumanı emiş sistemleri

11. Hekzavalan krom oranının azaltılması için elektrod veya teldeki sodyum ve potasyum oranlarının azaltılması ve kullanılması son derece önemlidir (Dennis vd, 2002a, 2002b).
12. Tersanelerde üretim ve planlama departmanlarının işlerini kolaylaştıracak gelişmelerden birisi de robotik teknolojilerdir Tersanenin üretim hatları ve üretim planlaması, otomatik, yarı otomatik ve tam otomatik robotik sistemler olacak şekilde değiştirilmelidir (Asarkaya, 2004).
13. Kalınlığı fazla olan metallerin kaynağında zorluk yaşanması üzerine geliştirilen yüksek penetrasyon kabiliyetli çift taraflı ark kaynak yöntemleri kullanılmalıdır (Zhang vd., 2004).
14. Avantajları yüksek hız, güvenilirlik, düşük ısıl etki olan lazer kaynak teknolojisindeki gelişmeler takip edilerek tersanelere uygulama alanları yaratılmalıdır (Shao ve Yan, 2005).
15. Kaynak emisyonları yeni geliştirilen yöntemlerle hesaplanarak ulusal ve uluslararası kurallar incelenmeli ve işçinin maruz kaldığı duman ve partikül miktarları tespit edilmelidir.
16. Kaynak dumanı maruz kalma miktarları belirlendikten sonra konu ile ilgili kurumlar tarafından maruz kalma limit değerleri belirlenmeli ve periyodik tersane emisyon kontrolleri yapılması sağlanmalıdır.

17. Kullanılan atık tel, elektrod ve bobinlerin atık yönetimi usulleri gereğince toplanması, ayrıştırılması ve geri dönüşebilecek olanların sisteme geri kazandırılması sağlanmalıdır.
18. Kaynak işlemlerinin çevre ve insana verdiği zararların azaltılmasını sağlanması ve üretimin kalitesinin artması için kaynak teknolojilerinde yeni teknolojilerin kullanılması sağlanmalıdır. Kaynak prodüktivitesini önemli ölçüde arttıran kaynak robotları, işçi kusurlarından bağımsız olarak çalışabilmektedir. Ancak gemi iç bünyesinde kaynak yapılacak yerler karmaşık yapıda olduğu için portatif kaynak robotlarının geliştirilmesi gündeme gelmiştir. Robot sistem, taşınması ve montajı kolay ve dar alanlarda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kaynak dumanının azaltılması, ekonomiklik ve kaynak hassasiyeti gibi sistemin avantajları mevcuttur (Blasko vd., 1991).
19. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli imalat (CAM) son yirmi yıllık zaman diliminde büyük gelişmeler kaydetmiş ve günümüzün vazgeçilmez imalat yöntemi olmuştur. Özellikle kaynak robotlarının Uzakdoğu tersanelerinde verimli olarak kullanılması, sektördeki diğer uluslararası aktörlerin rekabet edebilirlik açısından bu teknolojilerden kullanma zorunluluğunu getirmiştir (Sagatun ve Kjelstad, 1995). Kurulacak merkezi bilgisayar ve ağları vasıtasıyla atölyeler, dizayn ve planlama gibi diğer bölümler arasında hızlı veri akışı sağlanmalıdır. Üç boyutlu çizimler, atölyelerde altı serbestlik dereceli robot kollara aktarılır. Çevrim içi veya dışı çalışan robot kollar, esneklik, zaman ve maliyet tasarrufu yönünden özellikle kaynak alanında prodüktiviteyi arttırıcı bir unsurdur. Portatif kaynak robotu NC kodlarını okuyarak kaynak işlemini gerçekleştirmektedir. Robot, çalışma esnekliği, toplam kaynak zamanında % 50–70 azalma ile prodüktiviteyi arttırmaktadır (Hewett, 1995a).
20. Tersanelerde robotik kaynak teknolojileri konusundaki çalışmalar son on yılda artış göstermektedir. Auriol vd., (1999) tersaneler için dünyanın en büyük iş hacimli kaynak robotunun tasarımını geliştirmişlerdir.
21. Madden vd., (1991)'nin çalışmaları tersanelerde kullanılacak kaynak yöntemleri için geliştirilen işlemsel zeka yöntemlerini kullanan “weldexcell” sisteminin prototip çalışmalarını konu almaktadır. Voltaj, ilerleme hızı, tel besleme

hızı, kaynak açısı gibi parametreler kaynak mühendisliği açısından çok önemli verilerdir. Bu veriler yapay sinir ağı tabanlı modeller ile işlenmektedir.

3.3 Boya Prosesi

Boyama, tersanelerde gemi yüzeyinin korozyondan korunması için uygulanan ana proseslerden biridir. Gemilerin boyanmasının en önemli nedenleri, korozyondan korunma, gemi direncini arttıracak canlılardan korunma ve ayrıca dekoratif amaçlıdır. Boyama işlemleri genellikle yüzeylerin boyanması ve ekipman temizliği olmak üzere iki ana başlığa ayrılırlar (Kura vd., 1996a).

Boyama, tersanede çelik sacların ve profillerin tersaneye gelmesinden denize indirilmesine kadar geçen sürede imalatın hemen hemen her aşamasında uygulanan bir prostedir. Açık ve kapalı alanlarda mekanik ya da elle uygulanabilmektedir. Teknenin boyanması yeni gemi inşaatında ve bakım onarımında ortak proseslerdendir. Tank ve kompartımanların boyanması ya da yeniden boyanması sırasında uygun yüzey hazırlama metotları kullanılarak yüzey boyama için hazır hale getirilir. Boya, korozyondan korunmada ve teknenin su altında kalan kısmında istenmeyen organizmaların birikmesini engellemede gemi bünyesine uygulanması zorunlu bir sistemdir.

Tersanelerde gemi inşaatı ve gemi onarımında boyama işlemleri genellikle açık havada yapılmaktadır. Bakıma gelen gemiler havuzda boyanmaktadır. Yeni gemi inşaatında tersanenin hemen hemen bütün alanlarında boyama yapılmaktadır. Genelde bir gemide boyanan yüzeyler, direk ve antenler, üst bina, borda, güverteler, iç yüzeyler, tanklar ve su altında kalan alanlardır (USEPA AP-42, 2001).

3.3.1 Boyama İşlemi ve Kullanılan Boya Tipleri

Shopprimer, boyama uygulamalarında uygulanan ilk boya tabakasıdır. Yüzey ve diğer üst tabakaların arasında bir çeşit bağlayıcı görevi üstlenir. Primer tabaka ayrıca son kat (topcoat) yani üst tabakanın çözücülerinin aşağı katmanlara inmesini engelleyerek üst tabakanın matlaşmasını önler. Son kat kaplamanın yüzey tamamen hazırlandıktan ve kusurları düzeltildikten sonra uygulanan son tabakasıdır. Son kat son görünüş ve rengi sağlar. Son kat ayrıca primer tabakanın ve arada bulunan tabakaların havanın ve kimyasalların etkilerine maruz kalmasını engeller ve çevreye karşı bir ek dayanım kazandırır. Üretanlar hidroksil içeren materyal ile poliisosiyanat içeren katalizörlerin kimyasal reaksiyonu sonucu biçimlenen, termoset üst kaplamalardır. Vinil bileşenlerinin polimerleşmesiyle biçimlenen vinil reçinelerine dayalı olan kaplama çeşitleri vinil kaplamalar olarak adlandırılmaktadır. En yaygın olan reçineler polivinil klorid (PVC) kopolimerlerinden oluşmaktadır. Suda çözünen

kaplamalar su bazlı veya su kaynaklı kaplamalar olarak isimlendirilirler ve organik çözücü sistemlere karşı birçok avantaj sunarlar. Çünkü katıların molekül ağırlığının artmasına rağmen viskozitede büyük bir artış göstermezler, ayrıca bu tür kaplamalar yanmazlar ve sınırlı zehirliliğe sahiptirler. Sprey kabinleri boyama operasyonlarında iyi aydınlatılmış, iyi havalandırılmış, temiz bir alan sağlarlar. Uzun kuruma süreleri gerektiren kaplamalar ıslak kaplamaya toz ve kirin yapışmasını minimuma indirdiğinden dolayı en iyi sprej çadırlarında uygulanırlar. Bazı sprej çadırlarında kuruma süresini kısaltmak için ısıtıcı ekipman bulunmaktadır. Sprej ekipmanları geleneksel olan hava sprej tabancaları; elektrostatik sprej tabancaları, yüksek hacim/düşük basınç sprejleri, düşük hacim/düşük basınç sprejleri, havasız sprej tabancaları ve karbondioksit enjeksiyonu kullanan sprej tabancalarını içermektedir (USEPA AP-42, 2001).

Havasız sprejleme sistemlerinde püskürtme memesinden sıvının yüksek basınçla fırlatılması için yalnızca hidrolik basınç kullanılır. Havasız sistemler geleneksel sistemlere göre kullanım açısından daha temiz ve hızlıdır. Boyanın uygulanma süresi boyacının tabancayı kullanım hızına bağlıdır ve kalınlığı istenilen şekilde ayarlanabilir. Havasız sprejleme yönteminin en temel avantajı geri sıçramayı minimuma indirmesidir. Düşük hacim/düşük basınç (LVLP- Low Velocity Low Pressure) sprej tabancaları, boyayı düşük basınçta (0.65-0.70 bar) ve geleneksel sprej tabancalarına göre daha düşük hızlarda yüzeye püskürtür. Transfer verimliliği HVLP sprej tabancalarıyla yaklaşık olarak aynıdır. İki sistem arasındaki temel fark LVLP sprej tabancalarının daha düşük hava hacimlerinde (%45-60 daha az) kaplamayı fırlatıyor olmasıdır. Bunun sonucunda HVLP tipi tabancalarda havayı sıkıştırmak için harcanan enerji LVLP tipi tabancalara göre daha az olmaktadır. Yüksek hacim /düşük basınç (HVLP- High Velocity Low Pressure) sistemlerde düşük basınçla (genellikle 0.70 bar veya daha az) ve yüksek hacimlerdeki hava kullanılarak kaplama püskürtülür. HVLP sistemler için hava kaynağı olarak geleneksel sıkıştırılmış hava veya türbin kullanılabilir. Çoğu HVLP sistemi geniş bir kaplama malzemesi çeşidine uyum sağlayabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Yüksek transfer verimliliği ve küçültülmüş oversprayler VOC salınımlarının azalmasına katkıda bulunmaktadır. Bunların yanında HVLP sistemleri aynı zamanda iyi operasyon kontrolü sağlayabilme, taşınabilirlik, temizlenme kolaylığı ve çukur, boşluk gibi zor kısımlarda iyi sprejleme yapabilme özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler. HVLP sistemlerinin dezavantajları; yavaş uygulama hızları, yüksek bakım maliyetleri ve operatörlerin eğitilmiş olması zorunluluğudur (USEPA AP-42, 2001).

3.3.1.1 Boya Tipleri ve Özellikleri

Vinil boyalar, ikinci dünya savaşı sırasında ve sonrasında üstün kaliteli boyalar olarak geliştirilmiştir. Bu tip solventli boyalara ilaveten, su bazlı lateks tipi boya, vinil plastik boyalarda dahili boya, su çekimi üzerinde ise harici boya olarak da kullanılmaktadır. Vinil boyaların en önemli avantajlarından biri çabuk kurumalarıdır. Epoksi boyalar yüksek kaliteli deniz boyalarını teşkil ederler. Amin-epoksi ve poliamid-epoksi boyalar çok dayanıklı, sağlam, düzgün yüzeyli boyalar olup, mükemmel yapışma özelliğine sahip, kabarma çatlama ve soyulmaya dirençlidirler. Deniz suyu, tuz, hava ve birçok kimyasal maddeye karşı dayanıklıdır. Temizliğe karşı toleransları vinil ve klor kauçuklu boyalara nazaran daha fazladır. Bu özellikleri sebebiyle deniz boyaları arasında en çok tercih edilen boyalardır. Epoksi - poliamid boyalar suya karşı çok dirençli olup, yüksek kaliteli boyalardır. Kimyasal maddelere karşı da dirençli olduklarından, dahili tank boyalarında geniş kullanma yerleri vardır. Temiz metale yapışma özellikleri iyi olduğu için, astar boya olarak da geniş çapta kullanırlar. Neme karşı da hassas olmadıklarından nemli yüzeylere tatbik edilebilirler. Klor kauçuk boyalar plastifiye edilmiş klor kauçuk reçine ve uygun pigmentlerden oluşan boyalardır. Astar, ara kat ve son kat antifoulingden oluşan tamamen klor kauçuk sistem yapılabildiği gibi, inorganik veya organik çinko silikat astar boya üzerine veya diğer astarlar üzerine ara kat ve son kat boya olarak başarıyla uygulanabilir (Topuz, 2006). Antifouling boyalar, fouling olayının önlenmesi için uygulanırlar. Aşağıda fouling olayı genel hatları ile tanımlanmıştır

3.3.1.1.1 Fouling (Sakallanma)

Fouling, deniz taşıtlarının su içinde kalan yüzeyleri üzerine yapışarak büyüyen kabuklu, alg, mikroorganizma gibi canlıların oluşturduğu tabakadır. Bu tabaka belirgin hale geldiği zaman birikimden (fouling-sakallanma) söz edilir. Bu birikinti, eğer midye ve diğer sert kabuklu hayvanlardan oluşursa, bunlar boya filmini kesip tahrip ederek, çıplak metalin ortaya çıkmasına ve böylece çok ağır bir korozyona sebep olurlar. Eğer birikintiler yosun ve diğer bitkisel kirliliği de içeriyorsa bu durumda hem bitkisel, hem de hayvansal kirlenmeden oluşan kalın bir tabaka oluşur. Karinadaki bu tabaka sürtünme direncini arttırarak geminin süratini azaltır ve yakıt sarfiyatını arttırır. Fouling'in pek çok olumsuz etkisi vardır. Oluşan pürüzlü yüzey nedeniyle, yüksek sürtünme kuvveti oluşmakta, bu da ağırlığı arttırmakta ve servis hızında düşüşe ve manevra kabiliyetinde azalmaya neden olmaktadır. Bunun doğuracağı sonuç hiç şüphesiz ki yüksek yakıt tüketimi ve yüksek yakıt tüketiminden dolayı tehlikeli hava emisyonlarının artmasıdır (Okay, 2004, Yebra vd., 2004).

İşgalci türler bir doğal su ekosisteminden diğerine istenmeden çeşitli yollarla taşınan organizmalardır. Bu organizmaların taşınma yollarından biri de foulingdir. İşgalci türler ekolojik ve ekonomik açıdan büyük tehlike oluşturabilirler. Transfer edildikleri bölgedeki ekonomik olarak önemli olan türlerin kaybolmasına, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve/veya çeşitli hastalıkların taşınmasına ve yayılmasına neden olabilirler (Okay, 2004). Organizmalar gemi bünyesinde önce yüzeyde asılı kalırlar ve gemi ile hareket ederler, daha sonrasında yüzeye yapışırlar. “Marine Fouling and its Prevention” raporunda 2000’e yakın biofouling deniz canlısı tespit edilmiştir (Yebra vd., 2004). Organik moleküller her yüzeyde kolayca birikebilme ve aralarındaki van der waals kuvvetleri dolayısı ile film tabakası oluşturabilme yeteneğine sahiptirler. Tarihte ilkçağlardan bu yana kullanılan bütün gemilerde biyolojik birikme olmuştur (Yebra vd., 2004). Gemi üzerindeki çok az miktarlarda fouling bulunması bile yakıt tüketiminde belirgin artışlara neden olabilir. Örneğin 6 ay foulinge karşı korumasız olarak seyreden bir gemi üzerinde 150 kg/m^2 fouling birikebilir, bu da 40.000 m^2 sualtı yüzeyi olan bir gemi için düşünüldüğünde 6000 ton gibi bir değere ulaşmaktadır. Bu durum ise geminin yakıt tüketiminde % 50’ye varan artışlara neden olabilir (Okay, 2004).

3.3.1.2 Antifouling Boyalar

Fouling’in yol açtığı olumsuz etkileri önlemek amacıyla gemi yüzeylerinin su içerisinde kalan yüzeylerine antifouling içeren boyalar uygulanır. Amacı fouling’in oluşmasını engellemek olan bu sistemler tanımları gereği organizmaları uzaklaştırır, öldürür ya da büyümelerini engeller. Antifouling boyalar ağır metaller ya da bakır oksit, kurşun oksit ve tribüttiltin bileşikleri gibi organometalik ve toksik olan biyosidler içermektedirler (USEPA,1997).

Dünyada yıllardan beri kullanılan çok çeşitli antifouling sistemler vardır. Bunlardan en önemlisi TBT (Tribüttiltin)’dir. Alternatiflerine göre yoğun olarak tercih edilmesinin nedeni çok etkili ve dayanıklı olmasıdır (60 ay; alternatifleri 30- 36 ay). Geçmişte gemilerde oluşan fouling kireç, arsenik, cıva gibi maddeler kullanılarak önlenmiş, 1960’larda kimya endüstrisinin gelişmesiyle antifouling amacıyla birtakım metalik bileşikler ve özellikle de TBT keşfedilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır (Okay, 2004). Tribüttiltinin bu güne kadar üretilmiş antifouling boyalardaki en etkili biyosid olduğu kabul edilmektedir. TBT bazlı antifouling boyalar yatlarda, deniz platformlarında, ticari ve askeri gemilerde kullanılmaktadır. Antifouling boyaların yakıt tüketimini azalttığı için sera gazı emisyonlarının da azalmasına yardımcı olmak gibi ve istilacı deniz türlerinin taşınmasının engellenmesi gibi olumlu çevresel etkileri de mevcuttur (Evans ve Nicholson, 1999).

3.3.2 Boya Prosesi Atıkları

Tersanedeki boyama operasyonları geminin boyutuna ve kısıtlı erişebilirliğine göre hem kapalı hem de açık alanda gerçekleştirilmektedir. Boyama ve/veya onarım su hattının altından yapılması gerektiği zaman gemi yüzer havuza, kuru havuza alınmaktadır. Yeni gemi inşaatı operasyonlarında birleştirme genelde modüler, boyama ise tersane içinde çeşitli yerlerde ve birçok aşamada gerçekleştirilmektedir (USEPA AP-42, 2001). Boyama işlemleri genellikle yüzeylerin boyanması ve ekipman temizliği olmak üzere iki ana başlığa ayrılırlar.

Boyamada başlıca malzeme girdileri boya ve solventtir. Solventler boya içinde pigment ve bağ maddesini yüzeye taşımak ve boyama ekipmanlarını temizlemek için kullanılır. Boya içinde krom, titanyum dioksit, kurşun, bakır ve tribütiltin bileşikleri gibi zehirli pigmentler barındırır. Deniz boyalarında bulunan ve inceltme ve temizlemede kullanılan organik pigmentler tolüen, etil benzen, ksilen, metil etil keton, etilen glikol, n-hekzan ve aseton içerir (USEPA, 1997).

Geminin bordası ve iç bölgelerin boyanması sırasında kullanılan bazı boyalar, krom, titanyumdioksit, bakır, kurşun ve tribütiltin bileşikleri gibi toksik bileşikler içeren antifouling boyalar gibi kirletici değildir (Kura vd., 1996a; 1996b). Toksikite açısından değerlendirildiğinde pek çok VOC bileşiği aynı zaman da HAP olarak da değerlendirilmelidir. Tersanelerdeki boyama ve yüzey kaplama işlemlerinden ortaya çıkan uçucu organik bileşikler ve tehlikeli hava kirleticilerin insan sağlığı ve çevreye olan olumsuz etkileri nedeniyle yönetmeliklerle sınırlandırılması zorunlu bir hal almıştır. Ulusal ve uluslararası kurallara göre uygulanacak boyanın uygunluğunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra kullanılacak tinerin özellikleri ve kullanım oranları da sistematik kurallara bağlanmıştır (Kura ve Kura, 2006a).

Boya atıkları bir tersanede üretilen en önemli tehlikeli atıklardan biridir. Bir tersanede üretilen tehlikeli atığın yarısından fazlası boyama işlemlerinden sonra oluşmaktadır. Boya atıkları artık boya, fazladan spreyleneşmiş boya, artık haldeki boya, bezler ve boya bulaşmış diğer maddelerdir. Çoğu durumda, gelişmiş donanım, alternatif boyama yöntemleri ve çevresel yönetim teknikleri ile boya miktarı azaltılabilmektedir. Ekipman temizliği de solvent ve inceltici olarak tehlikeli atık yaratmaktadır (Vardar, 2004).

3.3.2.1 Uçucu Organik Bileşikler (VOC):

VOC'ler alifatik veya aromatik yapıda, kaynama sıcaklığı 250 °C'ye kadar olan ve atmosferik

fotokimyasal reaksiyon ile hava kirliliğine neden olan hidrokarbonlardır. Fosil yakıtlarla çalışan motorların ekzostları, solventler ve benzinin buharlaşması, kimyasal madde üretimi, petrol rafinasyonu, atık giderme sahaları ve atık su arıtma tesislerinden yapılan emisyonlar ve buharlaşma ile atmosfere yayılır. Azot oksitlerle güneş ışınması altında reaksiyona girerek ozon oluşumuna yol açar. İki tip ozon vardır. Bunlardan biri stratosferik ozon bir diğeri ise troposferik ozondur. Stratosferik ozon insan sağlığı için gereklidir ve insan sağlığına zararlı UV ışınlarını filtre eder. Stratosferik ozona iyi ozon da denilebilir. İyi ozon atmosferin stratosfer tabakasında doğal (bitkisel kaynaklı) olarak oluşur ve bu tabakanın kalınlığı yaklaşık 15-50 km arasındadır. İyi ozon canlı yaşamını güneşin zararlı ışınlarından korur. Troposferik ozon ise insanların yaşadığı atmosfer tabakasında yer almaktadır ve stratosferik ozonun tam aksine yaz mevsiminde troposfer tabakasındaki ozon seviyesinde artış olmakta bu da insan ve bitki yaşamını kötü yönde etkilemektedir. Troposferde bulunan VOC emisyonu güneş ışığı ve ortamda bulunan NO_x'ler ile reaksiyona girerek ozon oluşumuna neden olmaktadır.

VOC'lerin ozona zarar verdiği de kanıtlandığından sera gazlarının oluşmasına neden olmakta ve küresel ısınmanın aktörlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Toksik bileşikler göz, yüz, burun ve deride kalıcı hasarlar ile akciğer, mide gibi iç organlara zarar verebilmektedir. ABD NESHAP (National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants)'ın hazırladığı kurallara göre VOC bileşimi belli olan sertifikalı satıcıdan alınan boyalar ve tinerler belirlenen limitleri aşmıyorsa kullanılabilir (Kura ve Kura, 2006a).

Tersanelerde yeni gemi inşaatı ve onarımı sırasında ortaya çıkan VOC emisyonları oldukça önemlidir. VOC tersanelerde genellikle ksilen, tolüen, etilbenzen, bütil alkol, etil alkol, metanol, metil etil keton, metil izobütin keton, etilen glikol ve glikol eterleri formlarında bulunmaktadır. Bütün bu VOC formları akciğer hasarlarına ve pek çok solunum problemlerine ve hastalıklarına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra maruz kalmalar sırasında göz, burun ve deri iritasyonları ile kan, kalp, akciğer, böbrek hasarları da oluşabilmektedir. Kısa süreli maruz kalmalarda hava koşullarına bağlı olarak geçici etkiler de gözlenmektedir. VOC'lerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinde yaş, genetik, sağlık problemlerinin olup olmaması da etkindir (USEPA, 1996).

3.3.2.2 Antifouling Boyaların Zararları

Antifouling boyaların yakıt tüketimini azalttığı için sera gazı emisyonlarının da azalmasına yardımcı olmak gibi ve istilacı deniz türlerinin taşınmasının engellenmesi gibi olumlu

çevresel etkileri de mevcuttur. Öte yandan TBT bazlı boyaların çevresel etkileri tehdit boyutunu aşmıştır. İstiridyeler üzerinde yapılan çalışmalarda cinsiyet değişimlerinin yanında toksisitenin yüksekliğinden dolayı toplu ölümler gözlenmiştir. Bazı türlerin TBT bazlı antifouling boyalar yüzünden yok olmak üzere oldukları anlaşılmıştır (Evans ve Nicholson, 1999).

Kaliforniya körfezinde yaşayan susamurları üzerine yapılan son çalışmalarda su samurlarının ölüm nedenlerinin başında TBT toksisitesi gelmektedir (MacLellan vd, 1999). Özellikle memelilerde bağışıklık sistemini direkt olarak etkileyen TBT'nin Alaska, California ve Washington'da yaşayan deniz canlıları için çevresel risk oluşturduğu bir gerçektir. Birleşik Devletler Donanmasının 1986 yılındaki TBT kullanılmaması tavsiyesi, Avrupa'da sığ kıyılarda çalışan küçük boyuttaki eğlence amaçlı teknelerde aşırı miktarda kullanılan denetimsiz TBT bazlı boyaların istiridye üretimi yapılan yerlerdeki etkileri göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Aynı zamanda EPA, 8 Ocak 1986 da, Antifouling boyalarda biyosit olarak kullanılan ve içerisinde TBT bileşimleri bulunan bütün kayıtlı karışımları tekrardan denetimden geçirildiğini açıklamıştır (Champ, 2000).

IMO'nun yaptığı çalışmalarda kurşun kalay gibi bileşiklerin deniz organizmalarından balıklara ve oradan da insanlar ve diğer memelilere geçişini kanıtlamışlardır. Uluslararası alanda yapılan çalışmalar neticesinde IMO TBT içeren boyaların üretilmesini ve kullanılmasını yasaklamıştır. Alınan kararda, gemilerdeki antifouling sistemlerinde bulunan doğaya zararlı organotinlerin uygulanmasının 1 Ocak 2003 den itibaren yasaklanmasını ve 1 Ocak 2008 den itibaren de tamamen yasaklanmasını içermektedir (Champ, 2000).

3.3.3 Boya İşlemi Atıklarının Azaltma ve Önleme İçin Alternatif Çözümler

1. Boyama proseslerinin atölyelerde uygulanması sırasında küçük parçalar için spreycabinleri, büyük parçalar ve bloklar için havalandırılması sağlanmış boyama holleri ve spreycadırları kullanılabilir. Spreycabinleri boyama operasyonlarında iyi aydınlatılmış, iyi havalandırılmış, temiz bir alan sağlarlar. Uzun kuruma süreleri gerektiren kaplamalar ıslak kaplamaya toz ve kirin yapışmasını minimuma indirdiğinden dolayı en iyi spreycadırlarında uygulanırlar (USEPA AP-42, 2001).
2. Son yıllarda boya üreticileri düşük VOC emisyonlu boyalar üzerine çalışmalar yapmaktadırlar. Yüksek katı, düşük solvent içeren boyaların kullanılması teşvik edilmelidir. Gemi imalatında kullanılan boya tiplerinden VOC oranları düşük boyalar,

VOC içermeyen toz boyalar ve su bazlı boyaların kullanım alanları ve etkinliği artırılmalıdır.

3. VOC bileşimi belli olan sertifikalı satıcıdan alınan boyalar ve tinerler belirlenen limitleri aşmıyorsa kullanılabilir (Kura ve Kura, 2006).
4. VOC'lerin absorbe edilebilmesi için tersanelerde de yüzey hazırlama, boyama, kuruma işlemlerinin beraber yürütüleceği kabinlerde VOC'lerin hava emiş fanları ile çekilmesinden sonra filtrasyon işlemi yapılmalıdır (Pierucci vd., 2005).
5. VOC salınımını düşürebilmek için transfer etkisi yüksek boyalar kullanılmalı ya da üretilmelidir. Parça dışına taşan boya miktarını azaltmak VOC'leri düşürmenin bir başka yoludur. Uygulayıcının iyi eğitilmesi ve uygun donanım seçimi ile taşan boya miktarı azaltılabilmektedir.
6. Sprey çadırlarında kuruma süresini kısaltmak için ısıtıcı donanım bulunmalıdır.
7. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak geleneksel sprej donanımlarından teknolojik sprej sistemlerine geçiş sağlanmalıdır.
8. Ufak parçaların boyama işlemleri sprej kabinlerinde yapılmalıdır. Sprej kabinleri çevrenin kirlenmesini engellediği gibi kontrol edilebilirliği nedeniyle çevre ve insan sağlığına etkilerini minimuma indirmektedir.
9. Antifouling boyaların yerine kullanılan "tin-free" alternatif sistemlerin geliştirilmesine hız verilmelidir (Omae, 2003). Yapılan çalışmalarda alternatif boyalar ve alternatif etki maddeleri maliyet, fayda ve çevreye etkileri açısından değerlendirilmelidir.
10. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) Deniz Çevre Koruma Komitesi (MEPC) tarafından geliştirilen yasal olarak bağlayıcı dokümanın yayınlanması ile, gemilerdeki zehirli boya sistemlerinde kalayın yerine kullanılabilir olan maddeleri içeren ve kalay içermeyen, "tin-free" olarak adlandırılan antifouling boyalar, kimyasal ve mekanik özelliklerine göre sınıflandırılmalıdır. Bakır bazlı boyalara destekleyici biyosidal ajanlar eklenmelidir (Damodaran vd., 1999).
11. Tin-free antifouling boyalar olarak adlandırılan boyaların gelişmesinde iki önemli nokta bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kalay içermeyen antifouling boyaların TBT'den daha az korunma sağlaması durumu ve bunun geliştirilmesi gerektiği, ikincisi de çevreye TBT kadar veya ondan daha az zarar verme olasılıklarıdır. Yapılan

çalışmalarda alternatif boyalar ve alternatif etki maddeleri maliyet, fayda ve çevreye etkileri açısından değerlendirilmektedir.

12. Alternatif antifouling sistemler olarak bakır bazlı boyalar, kalay içermeyen boyalar, yapışmayan kaplamalar, dikenli kaplamalar örnek olarak verilebilir. Bakır bazlı boyalar TBT'den daha az toksiktir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Yalnız deniz faunasına karşı etkilidir. Kalay içermeyen boyalar, foulinge karşı çok etkili olmadıklarından, sık sefer yapmayan gemiler için uygundur. Yapışmayan kaplamalar, antifouling bileşik içermezler, ancak uygulandıkları zaman çok kaygan bir yüzey yaratarak organizmaların yapışmasını önlerler. Dikenli kaplamalar, kaplama yüzeyinde mikroskobik dikenler içerirler. Verimi dikenlerin boyuna ve dağılımına bağlıdır. Bazı kabukluların ve alglerin (yosunların) yapışmalarını çevreye zarar vermeden engeller. Ancak sürtünmeyi artırırılar, bu nedenle geminin bazı statik yüzeylerinde (soğutma suyu girişleri, şamandıralar vb.) kullanılabilir (Okay, 2004) .
13. Özellikle antifouling boya ile kirlenmiş tersane atıksularının minimizasyonu ve arıtılması üzerine çalışmalar yapılmalıdır (Fox vd, 1999).
14. Gemi onarımında boyaların sökölmesinden sonra yapılan yıkama işlemlerinden çıkan atıksuların arıtılması için arıtım sistemleri kullanılmalıdır ve arıtılmadan denize veya sisteme salınmamalıdır (Fletcher ve Lewis, 1999, Ashcroft ve Abel, 1999).

4. GEMİ ÜRETİM YÖNTEMLERİNDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN TAHMİN MODELLERİ

Birinci ve ikinci bölümde anlatılanlara bakıldığında, ortaya çıkan durum, gemi imalatı ve onarımı endüstrisinin ağır sanayi olması ve doğası gereği imalat sırasında ortaya çevre ve insan sağlığına zarar verebilen tehlikeli atıkların oluşma riskidir. Yeni gemi inşaatı ve bakım ve onarımının her ikisinde birden yer alan üç ana proses (yüzey hazırlama, kaynak ve boya) çoğu tehlikeli atık sınıfında değerlendirilen, bertaraf edilmesi zorunlu, kirletici atıkların oluşmasına neden olmaktadır. Yapılan tüm çalışmalar tersanelerde uygulanan işlemlerin hepsinden kirletici atık çıktığını göstermektedir. Türkiye tersanelerinde de gemi üretimi için aynı prosesler kullanıldığına göre aynı atıklar karşımıza çıkmaktadır.

Tersanelerden ortaya çıkan emisyonların belirlenmesi ve hesaplanması son derece önemlidir. AB ve ABD'nin bu konuda koyduğu kurallar ile çevreye yayılan emisyonlara kısıtlamalar ve aşan miktarlara da büyük cezalar getirilmiştir. Emisyonların azaltılması konusunda yapılan çalışmalara ışık tutmak amacıyla emisyon tahmin modelleri geliştirilmekte ve yeni yöntemlere göre revize edilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde emisyon tahminleri üzerine çalışan en büyük kurum olan Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından emisyonların hesaplanabilmesi için sektörel bazda hazırlanan, 1972 senesinde hazırlanan AP-42, havayı kirleten emisyon faktörlerinin hesaplanmasını sağlayan bir dokümandır. Bu doküman yeni tariflerin ve hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesi sayesinde sürekli güncellenmektedir. Bu güncelleme; endüstri sahalarının, hava kontrol programlarının, yerel bölge denetimlerinin ihtiyacına yönelik olmaktadır. Emisyon faktörleri, bir aktivite sebebiyle dışarı salınan kirletici miktarının kütleleriyle ilişkilidir. AP-42 de belirtilen emisyon faktörleri; geniş imalat alanlarındaki emisyonların hesaplanmasında ve emisyonların hava kaliteleriyle ilgili değerlendirmelerin yapılmasında kullanılır (USEPA AP-42, 1994).

4.1 Yüzey Hazırlama Prosesinde Emisyon ve Tahmin Modeli

Yüzey hazırlama metotlarından oluşan atıklar genellikle boya parçaları ile kirlenmiş, kullanılmış aşındırıcı malzeme ve partikül emisyonlarıdır. Su raspasında buna ek olarak atık çamur oluşumu gözlenir (Kura ve Lacoste, 1996). Aşındırıcının ve yüzeyden sökülen boya parçalarının oluşturduğu hava emisyonları oldukça önemlidir. Partikül emisyonları genelde çevreye ve insan sağlığına zararlı toksik malzeme içerirler. Uçucu organik bileşikler ise solvent temizleyicilerden, boya sökücülerden ve yağ gidericilerden ortaya çıkmaktadır. Raspa malzemeleri EPA'nın AP-42 bölüm 13.2.6 da belirtilen raspa işlemlerinde emisyonlar üzerine

karşılaştırma yapılmıştır (USEPA AP-42, 1997). 1990 yılında EPA tarafından raspa işlemleri için partikül emisyonları katsayıları ve düşük hızlı rüzgar tüneline silika kumu için emisyon faktörleri geliştirilmiştir (Muleski ve Dowing, 2006). Partikül madde (PM), boyut, kimyasal özellikler ve kaynağına göre tanımlanmaktadır. Kaçak partikül emisyonları baca, havalandırma gibi yerlerde toplanamayan, ortama yayılan partikülleri ifade eder. Partikül emisyonları genellikle tersanelerde açık alanda yapılan, emisyon kontrolünün olmadığı alanlarda kaynak ve raspa işlemlerinde ortaya çıkmaktadır. Partikül miktarları, toplam asılı partikül miktarı (TSP), boyutu 10 mikrondan düşük partikül miktarı (PM₁₀) ve boyutu 2.5 mikrondan düşük partikül miktarı (PM_{2.5}) olmak üzere üç ana grupta incelenebilir (Sinclair, 2004). PM emisyonları rüzgar hızından etkilenmektedir. Ancak PM_{2.5} ve PM₁₀ emisyonları rüzgar hızından bağımsız olarak insan sağlığına etkilerinden dolayı ayrı olarak değerlendirilir. Partiküller birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılırlar. Birincil partiküller daha büyük boyutludurlar. İkincil tip partiküller genellikle kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelirler. PM toksisitesi, kullanılan malzemelerin toksikliğinden ya da prosesler sırasında ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal reaksiyonlardan ortaya çıkmaktadır. Bunların solunması ve akciğer gibi organlarda birikmesi insan sağlığı açısından son derece tehlikelidir. Bunun yanı sıra partiküllerin çevreye yayılması, suda birikmesi biyolojik olarak da oldukça tehlikelidir (Harris, 2001). ABD’de 1990 yılında hazırlanan temiz hava yasası düzenlemesinde 189 tane tehlikeli hava kirleticisi (HAP) için, emisyon standartlarını hazırlanmıştır. Bu kirleticiler boyut olarak 10 ve 2.5 mikrondan daha küçük partikül maddeler (PM₁₀ ve PM_{2.5}), sülfür dioksit (SO₂), nitrojen dioksit (NO₂), karbon monoksit (CO) ve ozon (O₃)dur (Harris ve Castner 2002). Çizelge 4.1 Avustralya’da (NPI, 1999a), Çizelge 4.2’de ABD’de uygulanan kum ve garnet raspasında açığa çıkan toplam PM, PM_{2.5} ve PM₁₀ emisyon faktörlerini göstermektedir (USEPA AP-42, 1997).

Emisyon Faktörü:

Emisyon faktörü, yapılan işin, üretilen ürünün veya tüketilen materyalin birim miktarı başına yayılan kirleticinin kütlesi olarak belirlenir. Kaynak durumunda, toplam tüketilen madde veya tekil bileşenler için emisyon faktörleri, dumana dönüşen elektrodun yüzdesi veya tüketilen elektrotun toplam ağırlığı için dumana dönüşen elektrot ağırlığı olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 4.1 Raspa işlemlerinde PM, PM₁₀ ve PM_{2,5} için emisyon faktörleri

Raspa Tipi	Partikül boyutu	Emisyon faktörü (kg/ton)
Kum raspası	Toplam PM	
	8 km/ saat	27
	16 km/ saat	55
	24 km/ saat	91
	PM ₁₀	13
	PM _{2,5}	1.3
Garnet raspası	Toplam PM	0.69

Çizelge 4.2 Raspa işlemlerinde PM, PM₁₀ ve PM_{2,5} için emisyon faktörleri

Operasyon Koşulu	PM Emisyon Faktörü, kg/kg kum	PM ₁₀ Emisyon Faktörü, kg/kg kum	PM _{2,5} Emisyon Faktörü, kg/kg kum
<i>Temiz yüzey</i>			
8 km/saat	0.029	0.017	0.0024
16. km/saat	0.068	0.0081	0.0022
24. km/saat	0.092	0.0045	0.0009
Ortalama emisyon faktörü	0.063	0.0099	0.0018
<i>Boyalı yüzey</i>			
8 km/saat	0.027	0.0059	0.0010
16. km/saat	0.070	0.052	0.00086
24. km/saat	0.091	0.0091	0.0013
Ortalama emisyon faktörü	0.063	0.022	0.0011
<i>Oksitlenmiş yüzey</i>			
8 km/saat	0.025	0.0057	0.0018
16. km/saat	0.026	0.014	0.0011
24. km/saat	0.089	0.0030	0.00026
Ortalama emisyon faktörü	0.047	0.0074	0.0011

Veri kalitesi ve dokümantasyonu ile ilgili detaylı çalışma Kinsey vd., (2005) tarafından yapılmıştır. On adet tehlikeli hava kirletici metal; arsenik (As), berilyum (Be), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), krom (Cr), manganez (Mn), nikel (Ni), kurşun (Pb), antimon (Sb) ve selenyum (Se) ‘dur. Demir (Fe) emisyonları da ayrıca ölçülmüştür. Nominal aralıktaki rüzgar hızlarında (8, 16 ve 24 km/saat) ve temizlenen yüzey tiplerinde (ön temizliği yapılmış, boyanmış, paslanmış) tüm testler gerçekleştirilmiştir. Avustralya’da hazırlanan NPI (National Pollution Inventory) Emission Estimation Technique Manuel for Shipbuilding Repair and Maintenance (Gemi inşaatı ve onarımında emisyon tahmin teknikleri kitabı) başlıklı dokümanda kullanılmış olan, raspa işleminde açığa çıkan emisyonun kütle dengesine göre emisyon tahmin modeli denklem (4.1)’de verilmiştir (NPI, 1999a).

Raspa malzemesinin içerdiği metaller NPI tarafından listelenmiştir. Çizelge 4.3 Avustralya’da kullanılan raspa malzemelerinin içindeki bazı tipik metal örneklerinin miktarlarını vermektedir (NPI, 1999a).

$$E_i = A \times OpH \times \frac{C_i}{10^6} \times \frac{EF_{PM}}{100} \quad (4.1)$$

E_i : i kirleticisinin PM emisyonu (kg/yıl)

A : Aşındırıcı raspanın kullanım oranı (kg/saat)

OpH : Aşındırıcı raspa operasyonu miktarı (saat/yıl)

C_i : i bileşenin aşındırıcı raspa oranı (ppm)

EF_{PM} : Aşındırıcı maddenin havaya karışma oranı

Bu modelde aşındırıcı maddenin havaya karışma oranı % 10 olarak kabul edilmektedir.

Örnek uygulama (NPI, 1999a):

Bu örnek denklem (4.1) in havalandırılmış gemi bölmesinde bakır cürufu ile yapılan raspa işlemi sırasında açığa çıkan emisyon içindeki kurşun miktarının hesaplanmasını göstermektedir. Bakır cürufu Çizelge 4.3'ten görüldüğü gibi 2690 ppm kurşun içermektedir. Yılda 500 saat ve 10 kg/saat kullanım oranı ile ve tahminen raspa malzemesinin % 10'unun havaya karıştığı düşünülerek, kurşunun kirletici emisyonu aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

A : 10 kg/saat

$OpHrs$: 500 saat/yıl

$C_{kurşun}$: 2690 ppm

EF_{PM} : 10

$$E_i = A \times OpH \times \frac{C_i}{10^6} \times \frac{EF_{PM}}{100}$$

$E_{Kurşun}$ =1.34 kg/yıl

Çizelge 4.3 Aşındırıcı malzemelerin metal içerikleri

Aşındırıcı	Metal (ppm)						
	Pb	As	Cr	Zn	Co	Ni	Cu
GMA Garnet	6	10	3	5	4	2	2
Çelik grit	68	62	1315	110	51	830	2750
Bakır cürufu	2690	95	315	12400	140	74	4880

Aşındırıcı raspa ile kazınan eski boyanın miktarı kaplamanın kalınlığına göre değişmektedir.

$$E_{ib} = HS \times \frac{Th}{1000} \times \frac{C_{ib}}{10^6} \times \rho_x \times \frac{EF_{PM}}{100} \quad (4.2)$$

E_{ib} : Sökülen boyanın i bileşenin kirletici emisyonu (kg/yıl)

HS : Aşındırılan toplam yüzey (m^2)

Th : Ortalama yüzey kalınlığı (mm)

C_{ib} : Kazınan boyadaki i kirleticisinin oranı (ppm)

ρ_x : Yüzey kaplamasının yoğunluğu (kg/m^3)

EF_{PMx} : Aşındırıcı maddedeki PM'lerin havaya karışma oranı (%)

4.2 Kaynak Prosesinde Emisyon ve Tahmin Modeli

Gemi inşaatı ve onarım endüstrisinde metal parçaların kaynakla birleştirilmesinde çeşitli kaynak elektrot ve telleri kullanılmaktadır. Ayrıca, kullanılan metallerin tiplerine ve kaynaktaki istenen standarda ve performansa bağlı olarak çeşitli kaynak proseslerine yer verilmektedir. Kullanılan farklı elektrot/tel cinsi ve kaynak prosesine bağlı olarak farklı tip ve miktarlarda hava emisyonları ortaya çıkmaktadır.

Hava emisyonları, kaynak, kesme operasyonları sonucu oluşan belki de en önemli atıktır. Kaynak ve kesme işlemleri sonucu üretilen hava emisyonları çatılarda, toprakta ve zeminde birikebilir ve yağmur esnasında yağmur suyu ile birleşir (Harris ve Castner 2002). Sadece elektrik ark kaynağında bile hava emisyonları oldukça büyük boyutlardadır. Emisyon miktarı, transfer hızı, voltaj, ark boyu, kaynak pozisyonları, elektrod açısı gibi operasyonel şartlara, seçilen kaynak prosesine, seçilen elektroda ve çapına bağlı olarak değişmektedir. Yüzeyde kaplama varsa kaplamanın gireceği reaksiyonlar ile farklı yapıda emisyonların çıkması da mümkündür. Kaynak dumanının % 50–75'i arasında partikül çapı 0.4 ile 0.8 μm arasında değişim göstermektedir (USEPA AP-42, 1994).

Kaynak elektrodu atığı, elektrodların uçlarını, zarar görmüş elektrot hurdasını, gaz altı elektrodu uçlarını veya kaynak tellerini içerir. Kaynak elektrodları katı atık oluşturur ve proseste yeniden kullanılmaz. Elektrod atığı miktarı, toplam alınan elektrot miktarının % 15 ila % 30 arası değişir ve bu çok yüksek bir değerdir (Harris ve Castner 2002). Cüruf, kaynak sırasında ortaya çıkan oksitlenmiş metal partiküller olarak gazaltı, tozaltı ve örtülü elektrodların, kaynak operasyonları sırasında kullanılması sonucu üretilen atıktır. Birincil olarak kaynak işleminde kullanılan elektrodlardaki metal ve metal olmayan oksitlerin bileşiminden oluşur. Kaynak ve kesme işlemlerinde belli miktarda sıvı atık ortaya çıkabilmektedir. Oksi-gaz kesimi veya plazma ark kaynağı sırasında kullanılan su, katı metal, organik partiküller ve çözülmüş katıları içerme potansiyeline sahiptir. Suda plazma kesme

sırasında ortaya çıkan atık su ve atık çamur ayrıştırılmalı ve arıtılmalıdır (Harris ve Castner 2002).

NSRP ASE (National Shipbuilding Research Program-Advanced Shipbuilding Enterprise) “Kaynak Emisyonlarının Çevresel Yayılımında ve İşçilerin Maruz Kaldığı Miktarlarda Azalma” adlı bir proje başlatmıştır (Harris, 2001). Temel yaklaşım, kaynak ve kesme işlemlerinde havaya karışan emisyonları ve işçilerin bundan etkilenmelerini minimize edecek, maliyetleri çok fazla yükseltmeyecek verimli mühendislik uygulamalar geliştirmek ve uygulamaktır. Nihai hedef, tersanede üretim sürdürülürken güvenliğin ve çevre performansının geliştirilmesi ve ek masrafların asgaride tutulmasıdır. Hazırlanan proje bu mühendislik kontrolleri için bir teknolojik açık olduğunu işaret etmektedir. İlave olarak, tersanelerde duman üretimini azaltacak kaynak proseslerinin geliştirilmesi ve uygulamaları için önemli derecede çaba sarf edilmektedir. Başlangıç olarak NSRP 0463 raporu hazırlanmıştır (Kura, 2002). Raporlara göre manganez en çok, karbonlu çelik, düşük alaşımlı çelik ve paslanmaz çelikte kullanılan, gazaltı ve tozaltı kaynağı proseslerinde ortaya çıkmaktadır. İşçiler hekzavalan kroma en çok Ni-Cr alaşımları ve HY-80/HY-100 alaşımlı çeliklerin ısı kesimi ve kaynaklarından maruz kalmaktadırlar (Kura, 2002).

Çıkan emisyon miktarı önemli ölçüde kaynak yöntemine ve operasyon koşullarına bağlıdır. Elektrot seçimine, elektrodun çap ve içeriğine bağlı olarak emisyon miktarı azalıp artabilmektedir. Çalışma parçasının bileşimi de bırakılan dumanın miktarını belirleyen bir faktördür. Çalışma parçası üzerindeki kaplama (galvaniz, temizleyici, yağ, boya, vb) organik bileşenli ve metalli duman salabilir. Duman emisyonlarını etkileyen operasyon koşulları arasında kaynak hızı, voltaj, akım, ark uzunluğu, polarite, kaynak pozisyonu, elektrot açısı ve tortu oranı vardır. Kaynak dumanı metal elementlerin havaya karışmasıyla meydana gelir. Dumanın element bileşimi elektrot ve iş parçasına göre çeşitlilik gösterir. Kaynak işlemlerinde emisyon faktörlerinin belirlenmesi için pek çok test ve çalışmalar yapılmıştır. Yapılan testlerde tersane kaynak ortamları yaratılmıştır. NSRP ve USEPA test metotları kullanılarak, toplam asılı partikül (TSP), PM₁₀ ve PM_{2.5} hesaplanabilmektedir (NSRP, 1999). Partikül emisyonu süzülen ve yoğuşan olmak üzere iki şekildedir (Mener vd., 2001).

Kaynak proseslerinde partikül oluşumu ve tehlikeli hava kirleticileri önemli bir husustur. Sadece elektrik ark kaynağı, bu atıklardan önemli miktarda oluşmasına sebep olmaktadır. Diğer kaynak işlemlerinin işlem sıcaklıklarının daha az oluşu, havaya salınan duman miktarında azalmaya ve partikül maddenin (PM₁₀) küçük miktarlarda üretilmesini sağlar. Dumanın saf bileşimi, iş parçası ve elektrot tipine göre değişir. Kaynak dumanında NPI

tarafından listelenmiş olarak sunulan maddeler; manganez (Mn), Nikel (Ni), Krom (Cr), Kobalt (Co) ve Kurşun (Pb) içerebilir.

Gaz fazındaki atıklar, aynı zamanda kaynak işlemlerinde de üretilir. NPI tarafından listelenmiş maddeler arasında bilinen gaz atıklar, karbon monoksit (CO) ve azot oksitleri (NO_x) içerir. Çizelge 4.4' te kaynak işleminden ortaya çıkan tehlikeli atıklar verilmektedir (NIOSH, 2002).

Çizelge 4.4 Kaynak işlemleri sırasında ortaya çıkan tehlikeli atıklar

Duman		Gaz	Radyan enerji	Diğer tehlikeler
Alüminyum	Manganez	Karbon dioksit	Ultraviyole	Sıcaklık
Kadmiyum	Magnezyum	Karbon monoksit	Kızıl ötesi	Gürültü
Krom	Molibden	Nitrojen oksit		Titreşim
Bakır	Nikel	Nitrojen dioksit		
Florid	Silika	Ozon		
Demir	Titanyum			
Kurşun	Çinko			
Bakır				

Jacobs Environmental Engineering ve NASSCO (1995) tarafından hazırlanan rapor, kaynak proseslerinin kaynak dumanı emisyonlarına dayanarak gazaltı ve örtülü elektrod kaynağı olmak üzere 2 ayrı grupta kategorize edilebileceğini belirtmiştir. Aşağıdaki parametreler belirli bir metalin niceliğini belirtmek için gereklidir. Örneğin; Cr (VI) durumunda, aşağıdaki parametreler kullanılır.

Emisyonlar şu şekilde hesaplanabilir (4.3):

$$E_{ie} \text{ (g/yıl)} = \text{Sene başına harcanan elektrod kütlesi (kg/yıl)} \times EF_{ie} \quad (4.3)$$

EF_{ie} = Toplam emisyon faktörü (g/kg) (USEPA AP-42, 1994)

Bir diğer emisyon tahmin yöntemi de elektrodun özelliğine bağlı emisyon faktörleri ile tahmin yöntemidir.

Her iki yöntemde de kullanılan emisyon faktörü; “elektrodun gramı başına partikül yüzdesi”, “tüketilen elektrod gram başına mg partikül”, şekilde açıklanır. EPA, “Hava Kirletici Emisyon Faktörleri AP-42” dokümanı olarak bilinen emisyon faktörleri verisini düzenlemekte ve EPA’ nın web sitesinde ücretsiz olarak yayınlamaktadır [5]. AP -42 Bölüm 12.19, ark kaynak prosesleri için kirletici emisyon faktörleri hakkında bilgi içerir (USEPA AP-42, 1994). Emisyon faktörleri prosese ve kullanılan elektrot tipine bağlı olarak verilmiştir. EPA, yaptığı araştırmalarda emisyon tahminlerine yönelik 52 adet referans liste belirlemiştir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da emisyon faktörleri için bir örnek liste verilmiştir (Mener vd.,

2001).

Çizelge 4.5 TSP, PM_{2.5}, PM₁₀ için emisyon faktörleri

Kaynak Yöntemi	Elektrot Tipi	Emisyon Faktörleri (g/1000g)		
		TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Örtülü Elektrod Kaynağı	E308-16, E308L-16	45.16	27.52	23.92
Örtülü Elektrod Kaynağı	E309-16	37.23	33.47	32.88
Örtülü Elektrod Kaynağı	E309-17, E309L-17	25.14	19.85	19.02
Örtülü Elektrod Kaynağı	E316-16, E316L-16	101.80	30.03	29.11
Örtülü Elektrod Kaynağı	E308-17, E308L-17	26.73	27.09	26.14
Örtülü Elektrod Kaynağı	E308-17, E308H-17	31.09	27.72	27.09
Tozaltı Kaynağı	ER316, ER316L	7.95	7.76	7.53
Tozaltı Kaynağı	ER309, ER309L	17.62	16.65	15.43

Çizelge 4.6 Metal partiküller için emisyon faktörleri

Kaynak Yöntemi	Elektrot Tipi	Metal Emisyon Faktörü(g/1000g)					
		Cd	Cr	Pb	Mn	Ni	Cr+6
Örtülü Elk. Kaynağı	E308-16, E308L-16	0	0,6	0,02	0,34	0,05	0,15
Örtülü Elk. Kaynağı	E309-16	0	0,74	0,01	0,36	0,06	0,09
Örtülü Elk. Kaynağı	E309-17, E309L-17	0	0,68	0,01	0,44	0,05	0,08
Örtülü Elk. Kaynağı	E316-16, E316L-16	0	0,83	0,01	0,42	0,08	0,19
Örtülü Elk. Kaynağı	E308-17, E308L-17	0	0,56	0,01	0,5	0,05	0,11
Örtülü Elk. Kaynağı	E308-17, E308H-17	0	1,18	0	0,85	0,22	0,18
Tozaltı Kaynağı	ER316, ER316L	0	0,01	0	0,07	0	0
Tozaltı Kaynağı	ER309, ER309L	0	0,01	0,01	0,09	0,01	0

EPA son yıllarda AP-42 emisyon faktörleri üzerinde, faktörlerin bulunmadığı durumlardaki belirsizliklerin önlenmesi için yeni çalışmalar yapmaktadır (USEPA, 2004).

4.3 Boyama Prosesinde Emisyon ve Tahmin Modeli

Boyamada başlıca malzeme girdileri boya ve solventtir (çözücü). Solventler boya içinde pigment ve bağ maddesini yüzeye taşımak ve boyama ekipmanlarını temizlemek için kullanılır. Boya, içerisinde krom, titanyum dioksit, kurşun, bakır ve tribütül-tin bileşikleri gibi zehirli pigmentler barındırır. Deniz boyalarında bulunan ve inceltme ve temizlemede kullanılan organik pigmentler, tolüen, etil benzen, ksilen, metil etil keton, etilen glikol, n-hekzan ve aseton içerir (USEPA, 1997). Gemi boyama operasyonları sırasında önemli miktarda tehlikeli VOC emisyonları açığa çıkmaktadır (Vardar, 2004). Toksikite açısından değerlendirildiğinde pek çok VOC bileşikleri aynı zamanda HAP olarak da değerlendirilmelidir. Tersanelerdeki boyama ve yüzey kaplama işlemlerinden ortaya çıkan uçucu organik bileşikler ve tehlikeli hava kirleticilerin insan sağlığı ve çevreye olan olumsuz

etkileri nedeniyle yönetmeliklerle sınırlandırılması zorunlu bir hal almıştır. Ulusal ve uluslararası kurallara göre uygulanacak boyanın uygunluğunun değerlendirmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra kullanılacak tinerin özellikleri ve kullanım oranları da sistematik kurallara bağlanmıştır (Kura ve Kura, 2006a).

Uçucu organik bileşikler (VOC): VOC'lerin birçoğunun etkisi konusunda bilgi olmamakla birlikte, elde hayvanlar üzerinde yapılan çalışmaların ortaya koyduğu sonuçlar vardır. VOC'lerin kansere, çocuklarda ve yeni doğanlarda gelişme bozukluğuna, düşüğe ve doğurganlıkta düşmeye neden olduğu ve pulmoner sisteme zarar verdiği, merkezi sinir sistemi, göz, solunum yolları (burun ve boğaz) tahrişi, baş ağrısı, koordinasyon kaybı, mide bulantısı, karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sistemi üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Yüksek derişimlerde ise mukoza tahrişine ve genel narkotik etkiye sahiptir. Benzen gibi kimi VOC'ler kanserojen özelliğe sahipken; formaldehit gibi kimi VOC'ler ise ek olarak kısa süreli nefes rahatlatıcı özelliğe sahip olup deri tahrişine de yol açmaktadır. CFC'ler gibi kimi VOC'ler de iklim değişikliğine neden olan sera gazları içinde yer almaktadır. VOC'lerin hayvanlar üzerinde de insanlarınkine benzer zararları vardır. En bilinen ve belirgin etkileri ise sulu ekosistem üzerindedir. Havadaki VOC'lerin sularda ve yeryüzünde çökmesiyle oluşan birikim, yaban hayat üzerinde ve su ürünlerinde üremenin azalmasına, erken ve gelişmemiş doğumlara ve gelişme bozukluklarına neden olmaktadır. Evlerde kullanılan eşyadan ev ortamına yayılan VOC'lerin de sağlığa zararlı etkileri nedeniyle ele alınması gerekir. Evsel eşyalardaki boya malzemesi, solventler, ahşap koruyucular, aerosol spreyler, temizleyici ve dezenfektanlar, böcek kovucular ve koku vericiler, depolanmış yakıtlar ve otomotiv ürünleri, hobi malzemeleri, kuru temizlenmiş giysiler evsel ortamda VOC'lerin emisyon kaynaklarını oluşturur. Bunların insan sağlığı üzerindeki etkileri şunlardır: Göz, burun ve boğaz tahrişi, baş ağrısı, koordinasyon kaybı, mide bulantısı, karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sistemine zarar. Bazı organikler, hayvanlarda kansere neden olur ve bazılarının da insanlarda kansere neden olduğundan kuşulanılmaktadır (Çakaz ve Uslusoy, 2006). VOC'lerin ozona zarar verdiği de kanıtlandığından sera gazlarının oluşmasına neden olmakta ve küresel ısınmanın aktörlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Kura ve Kura, 2006).

VOC tersanelerde genellikle ksilen, toluen, etilbenzen, bütil alkol, etil alkol, metanol, metil etil keton, metil izobütin keton, etilen glikol ve glikol eterleri formlarında bulunmaktadır. Bütün bu VOC formları akciğer hasarlarına ve pek çok solunum problemlerine ve hastalıklarına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra maruz kalmalar sırasında göz, burun ve derin

iritasyonları ile kan, kalp, akciğer, böbrek hasarları da oluşabilmektedir. Kısa süreli maruz kalmalarda hava koşullarına bağlı olarak geçici etkiler de gözlenmektedir. VOC'lerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinde yaş, genetik, sağlık problemlerinin olup olmaması da etkindir (USEPA, 1996).

Yüzey kaplama operasyonlarındaki emisyonları hesaplamak için kullanılan birkaç yöntem vardır. Kullanılabilecek en iyi metot uygun veriye, uygun kaynaklara ve hesaplarda gereken doğruluk derecesine bağlıdır.

Kütle Dengesi: Kütle dengesi metodu ile hammadde kullanım oranından faydalanılarak ortama yayılan hava kirletici madde miktarı hesaplanır. Malzeme kullanımına bağlı olarak elde edilen hammaddedeki kirletici madde oranı ve içindeki yeniden kazanılabilen, atık, ya da başka bir forma dönüştürülebilen madde oranları da malzeme dengesi hesabına dahil edilir. Bu hesap yöntemi genellikle kullanım sırasında yayılan malzeme miktarı nispeten tutarlı olduğunda ve/veya havadaki hiçbir emisyonun yakalanmadığı durumlarda kullanılır. Kütle dengesi emisyon oranı, kullanılan hammadde miktarının kaplamada bulunan kirletici gazla çarpılıp bu değerden yeniden kazanılabilen, atılabilen ya da başka bir forma dönüştürülebilen kirletici madde miktarının çıkartılmasıyla elde edilir. Bir VOC kontrol sisteminin bulunduğu havalandırma operasyonlarında VOC emisyonlarının hesaplanabilmesi için hem kontrol hem havalandırma sisteminin verimliliğinin hesaplanması gerekir. Malzeme dengesi yöntemiyle hesaplanan emisyon değerlerinin doğruluğu, kullanılan malzemenin kalitesine ve verilerine bağlıdır.

Kaynak Örnekleme: Gerçek zamanlı deneyler, havalandırma yoluyla boyama alanından çıkan emisyonların kapalı bir hacme hapsedilmesiyle ya da filtreden geçerken tutulmasıyla elde edilen verileri kullanır. Kapalı hacimler ya da filtreler analiz için laboratuara gönderilirler. Test sırasında elde edilen kirletici maddenin örnekteki hacmine bölünmesiyle kirletici madde konsantrasyonları elde edilir. Bu metot VOC, HAP, PM ve PM₁₀ emisyonlarının hesaplanmasında kullanılabilir.

Tahmini Emisyon İzleme (Predictive Emission Monitoring-PEM): Bu metot, kirletici emisyonlarla kolay ölçülebilen işlem parametreleri arasında bir ilişki kurma esasına dayanır. En hassas PEM verileri, deneylerle elde edilen veriler sonucu ortaya çıkar. Kaplama uygulama oranı, kaplanacak ekipman parçaları ve zaman gibi operasyon parametreleriyle bu veriler arasında ilişki kurulabilir.

Emisyon Faktörleri: Emisyon faktörü aktiviteyle ilgili olan kirletici emisyon oranıdır. Bazı

boyama operasyonları için emisyon faktörleri mevcuttur ve bu değerler bir ya da daha fazla tesiste yapılan kaynak testleri ya da kütle dengesi çalışmaları ile elde edilmiştir. “Introduction to Point Source Emission Inventory Development” isimli kitabın birinci bölümünde, var olan emisyon faktörlerinin doğruluğu ve güvenilirliğiyle ilgili detaylı bir araştırma bulunmaktadır. EPA da AP-42 ‘de bu faktörleri ve zararlı hava kirleticileri belirli kriterlere göre düzenlemiştir. Bu faktörler kabul edilebilir ve ulaşılması kolay olduğundan envanter çıkarmak için kullanılırlar. Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de havalandırılmalı alanlarda ve açık alanlarda yapılan boyama işlemlerinde kullanılacak emisyon hesap yaklaşımları verilmektedir. Ayrıca Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10’da mevcut emisyon hesap yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir (USEPA AP-42, 2001).

Çizelge 4.7 Havalandırılmalı alanlarda yapılan boyama işlemlerinde emisyon hesap yaklaşımı karşılaştırması

Parametre	Tercih Edilen Emisyon Hesap Yaklaşımı	Alternatif Emisyon Hesap Yaklaşımı
VOC	Kütle Dengesi	Kaynak örnekleme PEM Emisyon Faktörü
HAP	Kütle Dengesi	Kaynak örnekleme PEM Emisyon Faktörü
PM/PM ₁₀	Kaynak örnekleme	Kütle Dengesi PEM Emisyon Faktörü

Açık havada ve havalandırılmış alanlardaki boyama operasyonlarının ikisinde de tercih edilen HAP ve VOC emisyonları için hesap yöntemi kütle dengesidir. Kaynak örnekleme ya da tahmini emisyon izleme metodu kütle dengesine göre daha az tercih edilmektedir.

Çizelge 4.8 Açık havada yapılan boyama işlemlerinde emisyon hesap yaklaşımı karşılaştırması

Parametre	Tercih Edilen Emisyon Hesap Yaklaşımı	Alternatif Emisyon Hesap Yaklaşımı
VOC	Kütle Dengesi	PEM Emisyon Faktörü Kaynak örnekleme
HAP	Kütle Dengesi	PEM Emisyon Faktörü Kaynak örnekleme
PM/PM ₁₀	Kütle Dengesi	PEM Emisyon Faktörü Kaynak örnekleme

Boyamada VOC emisyonu tahminleri için kütle dengesi denklemi önerilmektedir (NPI, 1999a, USEPA AP-42, 2001, NPI, 1999b). Modelin detayları (Denklem 4.4) aşağıda verilmiştir.

$$E_{kpy,VOC} = \sum \left[Q \times \rho_{VOC,i} \times \frac{VOC_i}{100} \times \left(1 - \frac{CE_i}{100}\right) \right] \quad (4.4)$$

$E_{kpy,VOC}$: Boyama operasyonundan çıkan toplam VOC emisyonu kg/yıl

Q : Yıl içinde kullanıldığı kaydedilen toplam boya (litre/yıl)

$\rho_{VOC,i}$: i tipi VOC bileşenin yoğunluğu (gram/litre) (Çizelge 4.9)

VOC_i : Toplam VOC içinde i tipi VOC'nin oranı (%) (Çizelge 4.10)

CE_i : i kirleticisi için kontrol etkeni (%)

i : Kirletici tipi

Çizelge 4.9 Kaplama malzemelerindeki VOC yoğunluğu

Boya tipi	VOC yoğunluğu (g/l)
Solvent bazlı boya	672
Su bazlı boya	156
Enamel	420
Cila	732
Primer	792
Vernik	396
Tiner	883
Yapıştırıcı	528

Boyama işlemi sırasında, çıkan emisyonların tamamının atmosfere verilmemesi için çeşitli emisyon kontrol yöntemleri mevcuttur. Çıkan boya emisyonları, baca, davlumbaz gibi vakum sistemlerince toplanmakta ve gerekli filtre işlemlerinden sonra atmosfere salınmaktadır. Denklemden, kullanılan sistemlerin emisyon azaltma etkisi CE_i ile gösterilmektedir. Kullanılan sistemlerin, çıkan emisyonun yüzdesel olarak ne kadarını vakum edebildiği, sistemlerin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 4.10 Kaplama malzemelerinde toplam VOC içindeki VOC_i 'nin oranı

CASR NO	Malzeme	Ağırlık (%)
110-82-7	Siflohekzan	0.52
141-78-6	Etil asetat	2.04
67-64-1	Aseton	1.27
78-93-3	Metil etil keton	0.54
108-10-1	Metil izobütil keton	0.36
1330-20-7	Ksilen izomeri	8.17
100-41-4	Etilbenzen	0.54
108-88-3	Toluen	37.87
-	Diğer VOClar	48.69

5. BOYA PROSESİNDEN KAYNAKLANAN VOC EMİSYONLARI İÇİN YENİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Bölüm 3.3.2’de söz edildiği gibi boya atıkları bir tersanede üretilen en önemli tehlikeli atıklardan biri olması ve ortalama bir tersanede üretilen tehlikeli atığın yarısından fazlası boyama işlemlerinden sonra oluşması nedeniyle boya prosesi emisyonları birinci derecede önemli görülmüştür (Vardar, 2004). Bu nedenle, boya prosesinden açığa çıkan VOC’lerin hesaplanması için iki yeni model üretilmesi üzerinde durulmuştur. Bunlardan birincisi NPI (1999a), EPA AP-42 (2001), NPI (1999b) ’de önerilen ve Bölüm 4.3’te detayları anlatılmış olan modelin, modifiye edilmesiyle elde edilmiş olan yeni bir modeldir.

NPI (1999a), EPA AP-42 (2001), NPI (1999b) ’de önerilen ve Bölüm 4.3’te detayları anlatılmış olan modelde kullanılan denklem 4.4’deki parametrelerden biri Q_{dur} . Bir yılda kullanılan boya miktarını belirlemektedir. Bu nedenle denklemin sonucu olarak elde edilen, boyama operasyonundan çıkan toplam VOC emisyonu, $E_{kpy,VOC}$ kg/yıl olarak elde edilmektedir.

Ortaya atılan yeni modellerin birincisinde kirletici tipi, boya tipi ve boyanan bölgenin tipine bağlı olarak boyanan birim yüzey alanı başına VOC miktarları hesaplanabilmektedir (Celebi ve Vardar, 2008).

İkinci modelde makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak yine geminin tonajı, boya tipi ve fiziksel özellikleri, boyanan bölgenin tipi ve kirletici tipine bağlı olarak boyanan birim yüzey alanı başına VOC miktarları hesaplanabilmektedir. Bu iki yeni yöntemin detayları aşağıdaki bölümlerde açıklanacaktır.

5.1 Modifiye Edilmiş Kütle Dengesi Modeli

Denklem (5.1) ve (5.2) de yeni kütle dengesi modeli verilmektedir.

$$\left[EVOC_i^k\right]_j^x = \left[Q_m \times \rho_{VOC\ i} \times \left(\frac{VOC_i}{100}\right) \times \left(1 - \frac{CE_i}{100}\right)\right] \quad (5.1)$$

$\left[EVOC_i^k\right]_j^x$: x gemisindeki j yüzeyine uygulanan k boyasından meydana gelen VOC bileşimi içindeki i kirletici (gram/m²)

Q_m : m² başına harcanan boya miktarı (litre/ m²)

- ρ_{VOC_i} : i tipteki VOC bileşeninin yoğunluğu (gram/litre)
- CE_i : i kirletici için kontrol etkeni (%)
- VOC_i :Toplam VOC içindeki i tipi kirletici oranı (%)
- i : Kirletici tipi (Toluen, Ksilen vb.)
- j : Boyanan bölgenin tipi (üst yapı, güverteler vb.)
- k :Boya tipi
- x :Gemi tipi

$$[ETVOC^k]_j^x = \sum \left[Q_m \times \rho_{VOC_i} \times \left(\frac{VOC_i}{100} \right) \times \left(1 - \frac{CE_i}{100} \right) \right] \quad (5.2)$$

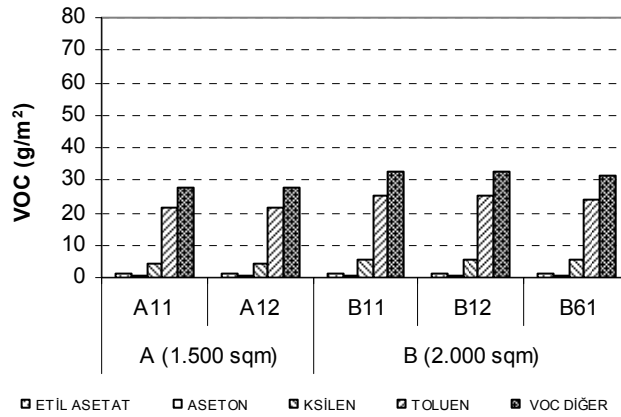
$[ETVOC^k]_j^x$: x gemisinin j yüzeyine uygulanan k boyasının toplam VOC'si (gram/ m²)

- Q_m : m² başına harcanan boya miktarı (litre/ m²)
- ρ_{VOC_i} : i tipteki VOC bileşeninin yoğunluğu gram/litre
- CE_i : i kirletici için kontrol katsayısı
- VOC_i :Toplam VOC içindeki i tipi kirletici oranı
- i : Kirletici tipi (Toluen, ksilen vb.)
- j : Boyanan bölgenin tipi (üst yapı, güverteler vb.)
- k :Boya tipi
- x :Gemi tipi

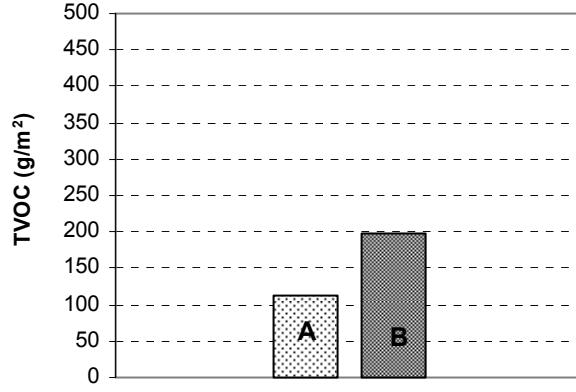
Yeni model, 3500 DWT'luk bir tanker ve genel kargo gemisi için uygulanmıştır. Gemilerden birine A değerine B adı verilmiştir (x: A, B). Boyanan yüzeyler, karina alt, karina yan, üst bina, ana güverte, balast tankları ve diğer bölgeler olarak adlandırılmıştır. Gemilerde çeşitli amaçlar için uygulanan sekiz tip boya kullanılmıştır. Bu veriler tersanelerden ve boya üreticilerinden alınan gerçek verilerdir. Boyanan her bir bölge için m² başına VOC, toplam VOC değerleri ve VOC bileşenlerinin değerleri bulunmuştur. Türkiye tersanelerinde, açık ve kapalı alanlardaki tüm boyama işlemlerinden çıkan emisyonlar direkt atmosfere salınmaktadır. Bu nedenle denklemde geçen CE_i kontrol katsayısı, daha önce bahsedilen emisyon vakum sistemleri bulunmadığından sıfır kabul edilmiştir. Q_m , ρ_{VOC_i} ve VOC_i

değerleri, her bir boya tipi için, boya üreticilerinin vermiş olduğu teknik bilgi föylerinden ve uygulama belgelerinden bulunmuştur. Q_m , boyanan gemiye ait, harcanan gerçek boya miktarlarıdır.

Şekil 5.1, A ve B gemilerinin ana güverte baş kasarasının boyanmasında açığa çıkan m^2 başına gram olarak VOC bileşenlerini göstermektedir. Şekil 5.1’de görülen A11, A gemisinde ana güverte ve baş kasarada kullanılan birinci tip boyanın birinci katını, A12 de A gemisinde ana güverte ve baş kasarada kullanılan birinci tip boyanın ikinci katını simgelemektedir. Toplam boyanan alan $1500 m^2$ ’dir. B gemisinde iki tip boya kullanılmıştır B11 ve B12 sırası ile B gemisinde ana güverte ve baş kasarada kullanılan birinci tip boyanın birinci katını ve ikinci katını simgelemektedir. Ayrıca B gemisinde B61 ikinci tip boya olarak, altıncı tip boyanın birinci katı olarak uygulanmıştır. Toplam boyanan alan $2000 m^2$ ’dir. Şekil 5.2’de A ve B gemilerinin aynı bölgelerinin boyanmasında açığa çıkan toplam VOC miktarları verilmektedir. Şekil 5.1’deki A gemisinde uygulanan A11 ve A12 boyalarının oluşturduğu toplam VOC emisyonu ile B gemisinde uygulanan B11, B12 ve B61 boyalarının toplam VOC emisyonu karşılaştırılmaktadır.

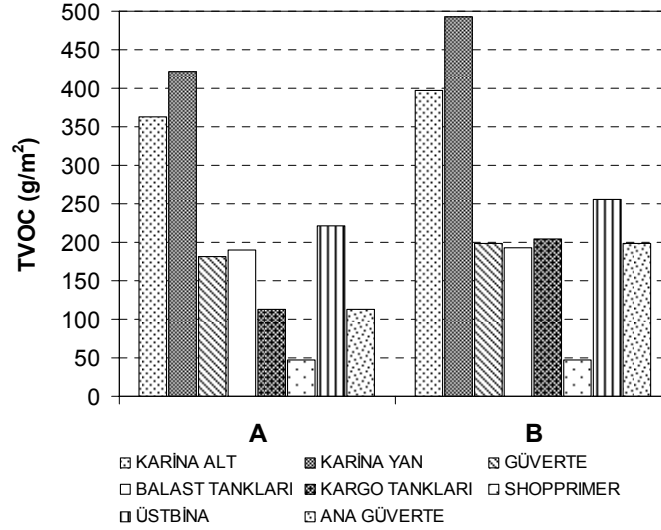


Şekil 5.1 A ve B gemilerinin ana güverte ve baş kasarasının boyanmasında açığa çıkan VOC bileşenleri

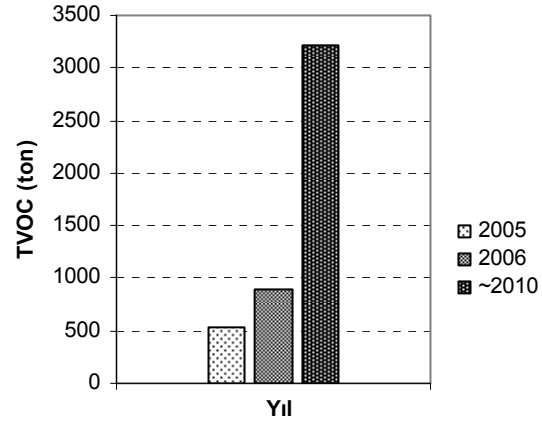


Şekil 5.2 A ve B gemilerinin aynı bölgelerinin boyanmasında açığa çıkan toplam VOC miktarları

Şekil 5.3'te A ve B gemilerinin bütün boyanan bölgelerini kapsayan toplam VOC miktarını göstermektedir. Şekil 5.4'te ise Tuzla tersanelerinde 2005 ve 2006 senelerinde üretilen gemilere ait tonaj verilerine göre [6] toplam VOC miktarlarının ton cinsinden yaklaşık olarak hesaplanmış değerleri görülmektedir. Tonaj başına düşen emisyon miktarı her iki gemide de yakın değerler taşıdığından, aynı grafikte gelecek projeksiyonu yapılarak 2010 yılında toplam VOC miktarının 3500 tona yaklaşacağı da görülmektedir.



Şekil 5.3 A ve B gemilerinin tüm boyanan bölgelerinin VOC miktarları



Şekil 5.4 Yıllara göre VOC miktarları

5.2 Akıllı Sistem Modeli

Gemi boyama proseslerinde VOC emisyonlarının hesaplanabilmesi için makine öğrenmesi modelleri kullanılarak yeni bir emisyon tahmin yöntemi geliştirilmiştir. Detayları aşağıda açıklanmış olan sekiz adet yöntem denenmiş ve sonuçta VOC emisyonu tahmin problemini daha az hata ile tahmin edebilecek yöntem seçilmiştir. Bu probleme en uygun yöntemler, yapay sinir ağları ve model ağaçları olarak belirlenmiştir. Bölüm 5.2.1'de makine öğrenmesi modelleri kısaca tanıtılmış, yapay sinir ağları ve model ağaçları modelleri detaylı olarak anlatılmıştır. Bölüm 5.2.2'de modellerin kurulması ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.2.1 Makine Öğrenmesi Modeli

Matematiksel olarak formülasyonu kurulamayan ve çözülmesi zor problemler sezgisel yöntemler yolu ile bilgisayarlar tarafından çözülebilmektedir. Bilgisayarları bu özelliklerle donatan ve bu yeteneklerinin gelişmesini sağlayan çalışmalar "yapay zeka" çalışmaları olarak bilinmektedir. Bu sistemler hem araştırmacılar hem de ticari olarak satıcılar tarafından "Zeki Sistemler" olarak adlandırılmaktadır. Zeki sistemlerin geliştirilmesinde yapay zeka biliminin katkısı çok fazladır. Benzer şekilde de zeki sistemlerdeki gelişmeler de yapay zeka biliminde gelişmelere neden olmaktadır.

Zeki sistemlerin en temel özellikleri olaylara ve problemlere çözümler üretirken veya çalışırken bilgiye dayalı olarak karar verebilme özelliklerinin olması ve eldeki bilgiler ile olayları öğrenerek, sonraki olaylar hakkında kararlar verebilmeleridir. Artık bilgisayarlar eskiden olduğu gibi sadece bilgi iletişiminin ve hesaplamaların otomasyonunu yapan sistemler olarak görülmemektedir. İnsan karar verme sürecine oldukça benzer bir karar verme sürecine kavuşmakta ve daha karmaşık fakat kullanışlı sistemler ortaya çıkmaktadır. Zeki sistemler ya da uzman sistemler, bulanık mantık, genetik algoritma ve yapay sinir ağları gibi yapay zekanın alt dalları özellikle son yıllarda geniş bir araştırma ve uygulama alanı bulmaktadırlar (Elmas, 2007).

Bilginin elde edilmesinde değişik yöntemler kullanılmakla birlikte, bunları üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar;

1. Anketler, uzmanlar ile görüşmeler, mülakatlar, literatür taramaları vb. yollar ile ilgili olayı değişik açılardan inceleyerek bilgileri toplamak

2. İŖi uzmanları (alıŖanları) ile birlikte yapmak
3. İlgili olay için gerekleŖmiŖ örnekleri inceleyerek bilgileri elde etme (rneklerden öğrenme) (Öztemel,2006).

Makine öğrenmesini anlayabilmek için öncelikle öğrenme kavramının tanımlanması gerekmektedir. ğrenme kavramı deėiŖik Ŗekillerde tanımlanmakla birlikte genellikle Simon tarafından önerilen tanım etrafında deėiŖiklikler yapılmaktadır. Simon ğrenmeyi, "zaman içinde yeni bilgilerin keŖfedilmesi yoluyla davranıŖların iyileŖtirilmesi süreci" olarak tanımlamaktadır. Makine ğrenmesi ise bu öğrenme iŖinin bilgisayarlar tarafından gerekleŖtirilmesinin sağlanmasıdır. Burada zaman içerisinde iyileŖme kavramına dikkat çekmek gerekmektedir. Bilgisayarın da insan gibi zaman içerisinde tecrübe kazanması istenmektedir. Diğer bir deyiŖle makine öğrenmesi "bilgisayarın bir olay ile ilgili bilgileri ve tecrübeleri öğrenerek gelecekte oluŖacak benzeri olaylar hakkında kararlar verebilmesi ve problemlere çözümler üretebilmesidir" denilebilir.

Bilgisayarın öğrenebilmesi ve tecrübe sahibi olabilmesi bilgisayarın ilgili olay hakkında bilgiler ile donatılmasına bağlıdır. Yapay sinir ağları yolu ile öğrenen bilgisayarların bilgiler ile donatılması, örnekler yolu ile sağlanmaktadır. ğrenecek olan bilgisayar sistemleri önce bir örnek almakta ve bu örnekten bazı bilgileri öğrenmektedir. Daha sonra ikinci örneğe bakarak biraz daha bilgi edinmektedir. Bu iŖlemi öğrenilecek olay ile ilgili bütün örnekleri defalarca gözden geçirerek tekrarlamak sonucunda olay ile ilgili genellemeler yapılmaktadır. Bu olaya tecrübelerden öğrenmenin bir yolu olarak bakmak mümkündür. Yapay sinir ağlarının dıŖında da deėiŖik ğrenme Ŗekilleri vardır. Bu konuda deėiŖik sınıflandırmalar yapılmıŖtır. Bunların bazılarını alışkanlık yolu ile öğrenme, görerek öğrenme, talimatlardan öğrenme, örneklerden öğrenme, analogi yolu ile öğrenme, açıklamalardan öğrenme, deney yolu ile öğrenme, keŖfetmek yolu ile ğrenme Ŗeklinde sıralamak mümkündür (Amasyalı, 2008).

Makine ğrenmesi, yapay zekanın veri madenciliği ve istatistikle ilintili bir dalıdır. Veri madenciliğinde olduğu gibi, makine öğrenmesinde de, analize konu olan alana ait veriler, örnekler, daha açık bir ifadeyle, örneklerle ait özellikleri tanımlayan öznitelik değerleri olarak sisteme iletilir ve makine uzman ya da programın bu verilere ait örüntüyü ya da yapıyı öğrenmesi istenir. ğrenme sürecinin en önemli özelliği, veri setine eklenen her yeni bilgi için, makine uzmanın önceki veri yapılarını ğrenmiŖ olarak, örüntüdeki deėiŖmelerin ayırımına varması ve bu deėiŖimlerin getirdiği bilginin kural setine eklemesinin varsayılmıŖ

olmasıdır. Böylece, makine uzmanının yeni durumlarla karşılaştığında, en azından potansiyel performansının artırılması amaçlanmaktadır. Makine öğrenmesi yöntemleri, büyük veri setlerinde rahatlıkla kullanılabilen ve daha çok bilgiyi kolaylıkla işlemeye yatkın güçlü yöntemlerdir. Bu buluşsal tahmin yöntemleri, istatistiksel yöntemlerden farklı olarak, sıklıkla güçlü ampirik sonuçlar üretebilmektedir (Çakır, 2005).

Geliştirilen herhangi bir makine öğrenme sistemi yukarıdaki öğrenme türlerinden birini veya birkaçını birlikte kullanabilir. Genel olarak bakıldığında makine öğrenmesi çalışmalarının iki amaçla gerçekleştirildiği görülmektedir. Bunlar;

Farklı Çağırışım (Hetero-association): Burada bir olay ister gözlemleyerek olsun, ister talimatlar yolu ile olsun, ister örnekler yolu ile olsun (yukarıdaki öğrenme türlerinden hangisi yoluyla olursa olsun) değişik açılardan incelenerek olayın genel yönleri ortaya çıkartılmakta ve daha sonra oluşan benzeri bir durumda bu genel yönler kullanılarak problemler çözülmektedir. Öğrenilecek olay hakkında elde bulunan örnekler kullanılarak genellemeler yapılmakta ve sınıflandırma problemlerinde olduğu gibi örneklerin ortak noktası öğrenilmektedir. Bu tür öğrenmede, öğrenme yapacak sistemin girdisi ve çıktısı birbirinden farklıdır. Makine öğrenmesi sisteminin görevi, örneklerin çağırıştırdığı çıktıları belirlemektir. Sınıflandırma ve tahmin etme problemlerinde bu tür öğrenme yaygın olarak kullanılmaktadır. Günlük döviz kurlarındaki değişime bakarak bir sonraki günün döviz kurunu tahmin etmek güzel bir örnek olabilir. Bir proseten gözlem yolu ile elde edilen 40-50 adet ölçüm ile prosesin normal davranış sergileyip sergilemediğini belirlemek gibi bir olay da bu tür öğrenmeye örnek olarak verilebilir.

Oto Çağırışım (Auto-association): Bu durumda ise bir olay öğrenilerek daha sonra eldeki var olan bilgilerle o olayın kendisi karakterize edilmektedir. Eldeki bilgilerin eksik olması durumunda makine öğrenmesi sayesinde sistem eksik bilgiler tamamlayabilmektedir. Bu durumda, öğrenme yapacak sisteme (mesela yapay sinir ağlarına) bir örnek girdi olarak verilir ve aynı örnek çıktı olarak istenir. Bu, bir insanın resmini öğretmek gibi bir olaydır. Burada amaç, ağa örnekleri göstererek ilgili olay hakkında eksik bilgilerin olması durumunda ilgili olayın bilgilerinin tamamını oluşturmaktır. Bir insanın resmini öğrendikten sonra yırtık bir resmin sahibinin belirlenmesi bu tür öğrenmeye güzel bir örnektir (Öztemel, 2006).

5.2.1.1 Yapay Sinir Ağları Yöntemi

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan

paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır (Elmas, 2007). 19. yüzyıldaki psikolog ve nöropsikologların insan beynini anlamaya çalışmaları YSA'ların temelini oluşturur. Fakat bu konulardaki ilk modern çalışmalar 1940' lı yıllarda bir nörobiyolojist olan Warren McCulloch ve bir istatistikçi olan Walter Pitts ile başlar. Bu araştırmacıların önerisi herhangi bir hesaplanabilir fonksiyonun, sinir hücrelerinden oluşan ağlarla hesaplanabileceğini ve mantıksal 've' ve 'veya' işlemlerinin gerçekleştirilebileceğini göstermişlerdir. McCulloch ve Pitts'i, 1949 yılında yapay hücrelerden oluşan yapay sinir ağı için biyolojik sinir hücrelerinin benzeri bir basit öğrenme mekanizmasını öneren Donald Hebb izlemiştir. Hebb, sinir hücreleri arasındaki bağlantıların şiddetlerini değiştirmek için basit bir kural geliştirmiştir (Ersoy, 2004).

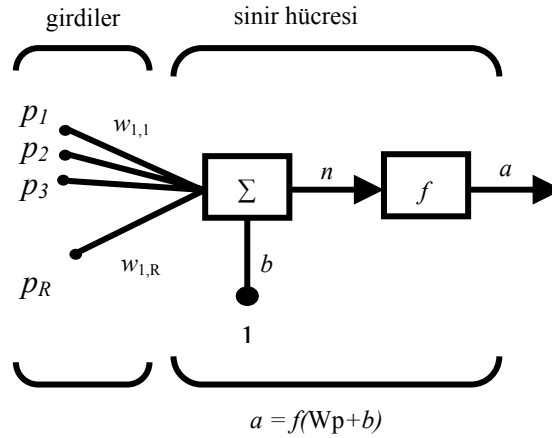
1958 yılında Rosenblatt tarafından perceptron (algılayıcı) ağı geliştirilmiş ve örneklerle ağı tanıma yeteneği kanıtlanmıştır. Yapay sinir ağlarının bu tarihten sonra tekrar popülaritesini kazanması iki yaklaşıma bağlıdır. Bunların ilki; 1982 yılında moleküller biyolojiden beyin kuramcılığına geçiş yapan fizikçi John Hopfield tarafından sunulmuştur. Hopfield ağı geri dönüşümlü bir ağ yapısı olup bir nöronun matematiksel basitleştirilmiş halinin nasıl büyük sinir ağlarının davranış analizlerine izin verdiğini açıklamaktadır. İkinci gelişme ise 1980'li yıllarda birçok araştırmacı tarafından eş zamanlı olarak çok katmanlı perceptron (algılayıcı) ağları için geriye yayılım algoritması yaklaşımının sunulmasıdır (Ersoy, 2004).

Yapay sinir ağları başlıca; sınıflandırma, modelleme ve tahmin uygulamaları olmak üzere, pek çok alanda kullanılmaktadır. Başarılı uygulamalar incelendiğinde, YSA'ların çok boyutlu, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu, hata olasılığı yüksek sensör verilerinin olması ve problemi çözmek için matematiksel modelin ve algoritmaların bulunmadığı, sadece örneklerin var olduğu durumlarda yaygın olarak kullanıldıkları görülmektedir (Öztemel, 2006). Bütün yapay sinir ağları; sınırlar, bağlantılar ve aktarım işlevlerine bağlı olduğu için, farklı mimariler, yapılar ya da sinir ağları arasında bir benzerlik bulunmaktadır. Çeşitliliğin çoğunluğu farklı öğrenme kurallarından ve bu kuralların bir ağı yapısını nasıl değiştirdiğinden kaynaklanmaktadır (Elmas, 2007).

Çok Girdili Hücre Modeli

Girişler (p), çevreden aldığı bilgiyi sinire getirirler. Ağırlıklar (w) yapay sinir tarafından alınan girişlerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılardır. Her bir giriş kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Bir ağırlığın değerinin büyük olması, o girişin yapay sinire güçlü bağlanması ya da önemli olması, küçük olması zayıf bağlanması ya da önemli olmaması

anlamına gelmektedir. Toplama işlevi sinirde her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımının toplamlarını eşik değeri (b) ile toplayarak etkinlik işlevine gönderir. Bazı durumlarda toplama işlevi bu kadar basit bir işlem yerine, en az (min), en çok (max), çoğunluk veya birkaç normalleştirme algoritması gibi çok daha karmaşık olabilir. Toplama işlevinin sonucu, etkinlik işlevinden (f) geçirilip çıkışa iletilir. Bir etkinlik işlevinin kullanım amacı, zaman söz konusu olduğunda toplama işlevinin çıkışının değişmesine izin vermektir (Elmas, 2007). Çok girdili hücre modeli Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Çok girdili hücre modeli

Çoklu girdide p girdileri p_1, p_2, \dots, p_R her birisine bağlı ağırlık elemanları ile $w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{1,R}$ ağırlık matrisini oluşturarak (w) sinir ağı hücresine girerler. Tabii b eşik değeri (bias) ile birlikte n (net girdi) Denklem (5.3) deki gibi yazılır;

$$n = w_{1,1}p_1, w_{1,2}p_2, \dots, w_{1,R}p_R + b \quad (5.3)$$

bu ifade matris formunda yazılır ise;

$$n = Wp + b \quad (5.4)$$

olur. Çıkış hücresi de buna göre ;

$$a = f(Wp + b) \text{ olur.} \quad (5.5)$$

Aktivasyon (Transfer) Fonksiyonu

Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aşağıda, hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları tanıtılmıştır. Bunlar;

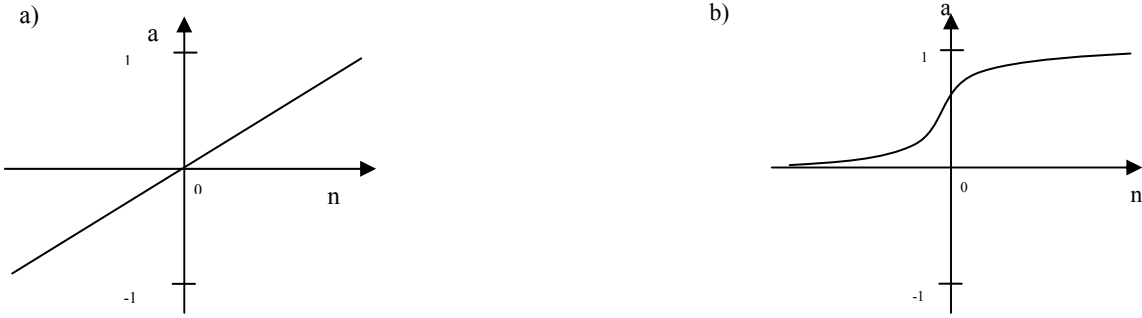
Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu (purelin)

Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan doğrusal hücre ve YSA' da ya da genellikle katmanlı YSA' nın çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon, hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir.

Logaritmik Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu (logsig)

Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan YSA'larda tercih edilir. Tek yönlü sigmoid fonksiyonunun Denklem (5.6)'da matematiksel ifadesi, Şekil (5.6)'da ise Doğrusal ve Logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonu grafikleri gösterilmiştir.

$$a = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (5.6)$$



Şekil 5.6 Doğrusal (a) ve Logaritmik sigmoid (b) aktivasyon fonksiyonu

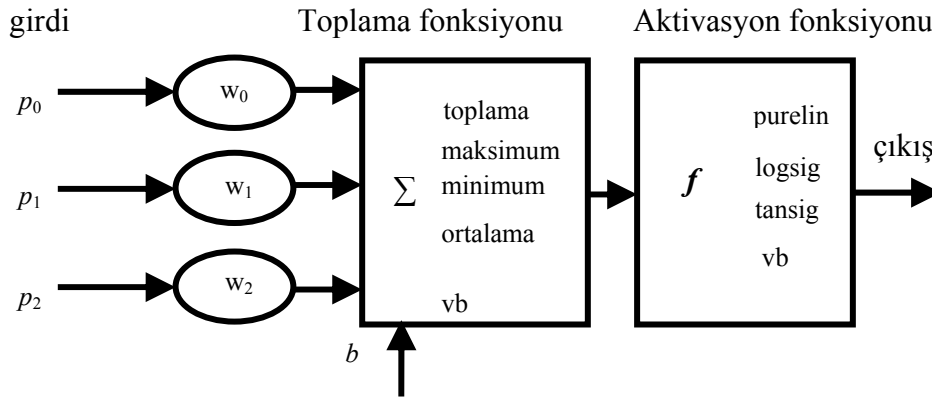
Aktivasyon fonksiyonu ise toplama fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemde geçirerek hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Hücre modellerinde, net girdiyi artıran +1 değerli polarma girişi ya da azaltan -1 değerli eşik girişi bulunabilir ve bu giriş de sabit değerli bir giriş olarak, girdi vektörü katsayısı b ile gösterilir ve ağırlık vektörü içerisine alınabilir (Şekil 5.7).

Yapay sinir ağlarında, ileri beslemeli ağlar ve geri beslemeli ağlar olmak üzere iki çeşit ağ mevcuttur. İleri beslemeli ağlarda sinir hücreleri (nöron) katmanlara ayrılmıştır. Geri beslemeli ağlarda en az bir sinir hücresinin çıkışı kendisine ya da diğer sinir hücrelerine giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır.

Yapay sinir ağlarında bilgi, ağdaki bağlantıların ağırlıklarında depolanır. Bir ağda öğrenme kısaca, istenen bir işlevi yerine getirecek şekilde ağırlıkların ayarlanması sürecidir. Yapay sinir ağlarında öğrenme, sinirler arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi ile gerçekleşmektedir. Buna göre sinirler arası bağlantılar üzerindeki ağırlıklar, belirli bir yöntem (öğrenme

kuralları) uyarınca dinamik olarak değiştirilerek ağlar eğitilebilir. Eğitilebilen yani öğrenebilen ağlar, yeni şekilleri tanıyabilir (şekil tanıma) veya verilen bir girişin hangi sınıfa ait olduğuna karar verebilir (sınıflandırma). Yapay Sinir Ağlarında öğrenme düğümler arasındaki ağırlıkların, düğümlerdeki etkinlik veya aktarım işlevlerinin değişkenlerinin ayarlanmasıyla yapılmaktadır.

Yapay sinir ağları öğrenme algoritmalarına göre danışmanlı öğrenme (supervised learning), danışmansız öğrenme (unsupervised learning) ve takviyeli öğrenme (reinforcement learning) olmak üzere üçe ayrılır.



Şekil 5.7 YSA hücre modeli

Öğrenme kuralı Hebbian öğrenme kuralı denilen basit bir modele dayanır. Hebbian öğrenme kuralı temel olarak "Eğer iki düğüm aynı zamanda etkin ise aralarındaki bağ gücü artar", kuramına dayanmaktadır. Öğrenmenin amacı, her bir düğümün girişlerindeki değişken bağlantı ağırlıklarını derlemektir. İstenen bazı sonuçları elde etmek için, giriş bağlantılarının ağırlıklarını değiştirme işlemi uyma işlevi olarak adlandırabildiği gibi öğrenme kipi olarak da adlandırılabilir.

Danışmanlı öğrenmede bir öğretmene ihtiyaç vardır. Öğretmen, bir veri alıştırmaya kümesi veya ağ sonuçlarının performansını derecelendiren bir gözlemci olabilir. Danışmanlı öğrenmede eğitilmiş sinirlere öğretme işareti göndererek sinirler eğitilir (Elmas, 2007).

Hebb Kuralı

İlk ve en iyi bilinen öğrenme kuralı Donald Hebb tarafından tanıtılmıştır. Hebb, 1949'da yazdığı "The Organization of Behaviour" adlı kitabında öğrenme kuralını tanımlamıştır. Temel kural: Eğer bir sinir başka bir sinirden bir giriş alırsa ve her ikisi de yüksek aktif ise (matematiksel olarak aynı işaretli), sinirler arasındaki boyut kuvvetlendirilir (Elmas, 2007).

Hopfield Kuralı

Bu kural, kuvvetlendirme veya zayıflatmanın genliğini belirleyebilmesi istisnası haricinde Hebb kuralıyla benzerdir. Buna göre kural "eğer istenilen çıkış ve girişin her ikisi de aktif veya her ikisi de durgun ise, bağlantı boyutlarını öğrenme oranı kadar artırır, aksi halde boyutu öğrenme oranı kadar azalt" demektedir (Elmas, 2007).

Delta Kuralı

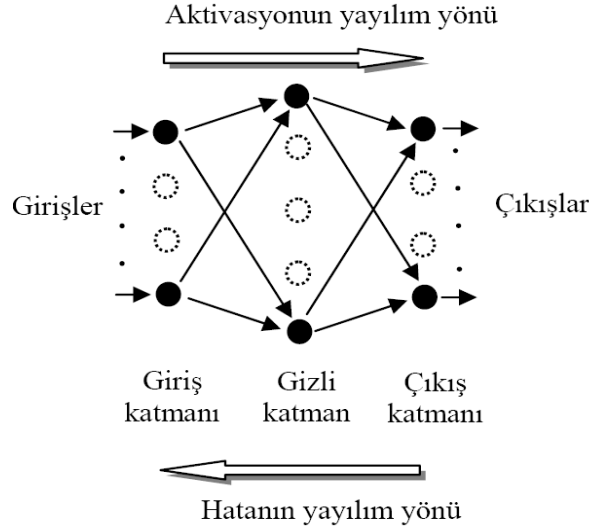
En çok kullanılan kurallardan biri olan Delta kuralı, Hebb kuralının daha geliştirilmişidir. Bu kural bir sinirin gerçek çıkışı ile istenilen çıkış değeri arasındaki farkı azaltmak için giriş bağlantı güçlerini sürekli olarak geliştirme fikrine dayanır. Bu kural ağ hatasının karesini minimize etmek için bağlantı boyutlarını değiştirir. Hata bir önceki katmana geri çoğaltılır. Her bir zaman dilimi için bir hata şeklinde bu geri çoğaltma işlemi ilk katmana ulaşıncaya kadar devam eder. Bu tip ağ İleri Beslemeli Ağ olarak isimlendirilir. Geri yayılım adını bu hata terimlerini toplama yönteminden türetir. Bu kural ayrıca Windrow-Hoff Öğrenme ve en küçük ortalama kareler (Least Mean Square) kuralı olarak da adlandırılır (Elmas, 2007).

Geri Yayılımlı Öğrenme

Geri yayılım ağı Geoffrey Hinton ve James McClelland tarafından geliştirilmiştir. Geri yayılımlı öğrenen ağlar hiyerarşik yapıdadırlar. Giriş, çıkış ve en az bir gizli katman olmak üzere üç katmandan oluşurlar. Gizli katman ve gizli katmandaki düğüm sayısı değiştirilebilir. Düğüm sayısının artması ağın hatırlama yeteneğini arttırmakla birlikte öğrenme işleminin süresini uzatmaktadır. Bir katmandaki hiçbir düğüm, kendi katmanındaki diğer bir düğüme bağlı değildir. Her katmanın çıkış değeri bir sonraki katmanın giriş değeridir. Geri yayılım çok katmanlı ağlarda kullanılan delta kuralı için genelleştirilmiş bir algoritmadır. Geri yayılım öğrenme yöntemi türev alınabilir etkinlik işlevlerini çok katmanlı herhangi bir ağa uygulayabilir. Delta kuralı gibi, bu kural da sistem hatasını veya maliyet işlevini azaltma esasına dayanan bir eniyileme (optimizasyon) işlemidir. Bu yöntemde ağırlık ayarlamaları yapıldığı için geri yayılım ismi kullanılmıştır. Hesaplanan çıktı daha sonra olması beklenenle karşılaştırılıp aradaki fark hata olarak bulunur. Hatalar katman katman sinaptik ayarlamaların yapıldığı geri besleme bağlantılarında girdiler olarak kullanılır. Böylece çıkış katmanında hesaplanan hatalar ve son gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıklar ayarlanır. Bu yolla hatalar ilgili katmanın ağırlık düzeltmeleri yapılarak geriye doğru yayılır. Tanımlanan çalışma süresi içinde toplam hata en aza indirilinceye kadar bu işlemler tekrarlanır (Elmas, 2007).

Çok Katmanlı Algılayıcı Yöntemi (MLP-Multi Layer Perceptron)

Çok katmanlı sinir ağları, giriş nöronlarının bulunduğu giriş katmanı, çıkış nöronlarının bulunduğu çıkış katmanı ve bir veya daha fazla gizli katmandan oluşur. Doğrusal olmayan problemlerin çözümlenmesinde giriş katmanı ile çıkış katmanı arasında ilave katman(lar) yer aldığı için ağ mimarisi Şekil 5.8’de görüldüğü gibi olmaktadır (Güler ve Übeyli, 2006).



Şekil 5.8 Çok katmanlı perseptron sinir ağı

Bilgi akışı daima ileri doğrudur. Bu yüzden ileri beslemeli ağ modeli de denir. Giriş katmanındaki nöron sayısı problemdeki giriş sayısına bağlıdır. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki nöron sayısı deneme-yanılma yolu ile bulunur. Çıkış katmanındaki nöron sayısı ise yine uygulanan probleme dayanılarak belirlenir. Pratikte 3 katmandan fazla katman kullanılmaz. Katman sayısına giriş katmanı dahil değildir. Örneğin: 1 tane gizli katman varsa 2 katmanlı ağ, 2 tane gizli katman varsa 3 katmanlı ağ denir. Ara katmandaki giriş-çıkış ilişkileri hakkında bilgi sahibi olunmamaktadır. Ara katmanlarda doğrusal olmayan, çıkış katmanında ise doğrusal fonksiyonlar vardır (Şenol ve Yıldırım, 2004).

Bu teknikte daha çok geri yayılım (backpropagation) kullanılır. Burada yer verilen geri yayılım tarif edilen en küçük ortalama kareler yaklaşımından türetilmiştir. Çapraz ifadeler her zaman 1’e eşit ve ağırlık atanmış girdi olarak kabul edilirse ağ matrisinin temel elemanı için çıktı denklemi (Bal vd., 2006, Amasyalı vd., 2006):

$$Output_j = S\left(\sum_{i=0}^N w_{ij}x_i\right) \quad (5.7)$$

S, aşağıdaki şekilde ifade edilen doğrusal olmayan bir sigmoidtir:

$$S(a) = \frac{1}{1 + Ae^{-a}} \quad (5.8)$$

w_{ij} i girdisi ile j nöronunu bağlayan ağırlığı, A ise nonlineerliği vermektedir. (5.7 ve 5.8)

Öncelikle çıktı katmanındaki düğümlerin hataları şu şekilde hesaplanır:

$$E_j = (t_j - a_j)a_j(1 - a_j) \quad (5.9)$$

Denklem 5.9'da E_j çıktı katmanının j düğümündeki hatası, t_j katmandaki j düğümü için hedef aktivasyonu ve a_j yine bu çıkış katmanındaki gerçek aktivasyondur. Bundan sonra tüm gizli katman düğümlerinin hata değerleri aşağıdaki gibi başarıyla bulunur:

$$E_i = a_j(1 - a_j) \sum_j E_j w_{ij} \quad (5.10)$$

Denklem 5.10'da E_i gizli bir katmandaki i düğümünün hatası, E_j üstteki katmanın j düğümünün hatası, w_{ij} gizli katmandaki i düğümü ile önceki katmanın j düğümü arasındaki bağıntının ağırlığı ve a_i gizli katmandaki i düğümünün etkinliğidir.

Geri yayılım aşamasının sonunda ağdaki düğümlerin (girdi katmanındakiler hariç) hata değerleri olacaktır. Bir düğümün hata değeri, kendisiyle alakalı bağıntıların ağırlığını hesaplamada kullanılır. Ağırlık değişimi şu şekilde verilir:

$$w_{ij} = w_{ij} + \Delta w_{ij} \quad (5.11)$$

Burada w_{ij} önceki katmandaki i düğümü ile çıktı katmanındaki veya gizli katmandaki j düğümünün ağırlığı, Δw_{ij} ağırlık farkıdır.

Radyal Temelli Fonksiyon Ağı Yöntemi (RBF- Radial Basis Function)

Radyal temelli fonksiyon ağı tasarımı çok boyutlu uzayda eğri uydurma yaklaşımıdır ve bu nedenle RBF'nin eğitimi, çok boyutlu uzayda eğitim verilerine en uygun bir yüzeyi bulma problemine dönüşür. RBF'nin genellemesi ise eğitim sırasında bulunan çok boyutlu yüzeyin kullanılmasına eşdeğerdir. Radyal temelli fonksiyonlar, sayısal analizde çok değişkenli problemlerin çözümünde kullanılmış ve YSA'nın gelişmesi ile birlikte bu fonksiyonlardan YSA tasarımında yararlanılmıştır. RBF, ileri beslemeli YSA yapılarına benzer şekilde giriş,

gizli ve çıkış katmanından oluşur ancak, giriş katmanından gizli katmana dönüşüm, radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan sabit bir dönüşümdür. Gizli katmandan çıkış katmanına ise doğrusal bir dönüşüm gerçekleştirilir. RBF’de uyarlanabilecek serbest parametreler; merkez vektörleri, radyal fonksiyonların genişliği ve çıkış katman ağırlıklarıdır. RBF’in matematiksel ifadesi aşağıdaki şekildedir (Haykin, 1999, Şenol ve Yıldırım, 2004).

$$f(x) = \sum_{k=1}^K w_k \Phi_k(x) \quad (5.12)$$

$x = [x_1, x_2, \dots, x_M]^T$ M boyutlu girdi vektörünü, w_k lineer kombinasyonun ağırlık katsayılarını ve $\Phi_k(x)$ ise gizli katmandaki k 'nci nöronun verdiği karşılığı temsil eder. Genellikle $\Phi_k(x)$ taban fonksiyonu σ_k ölçeği olmak üzere Gauss karakterli varsayılır. Değeri ise girdi vektörü x ile her $c_k = [c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{km}]^T$ fonksiyonun merkezi arasındaki mesafe ile ilgili olarak düşer (Bal vd., 2006).

$$\Phi_k(x) = \exp\left(-\frac{\|x - c_k\|^2}{\sigma^2}\right) \quad (5.13)$$

5.2.1.2 En Küçük Ortalama Kareler Yöntemi (LMS-Least Median Square)

Regresyon yaklaşımında problem $y = f(x)$ fonksiyonu olarak alınmaktadır. Fonksiyon $G = \{(x_i, d_i)\}_{i=1}^N$ veri tabanı ile kurulmaktadır. Burada $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}]$ girdi vektörü, d_i ise aranan değer, y_i öngörülen değer, f öngörü fonksiyonu, N gözlem sayısı ve m özellik sayısıdır (Bal vd., 2006).

Bir seri için gözlenen değerlere kurulacak bir modelle yaklaşılması amaçlanan bir yöntemdir. Yöntemin amacı model yardımıyla elde edilen tahmin değerlerinin gözlenen değerlerden sapmasını minimize etmektir. LMS algoritması özellikle lineer olmayan minimizasyon problemlerinde mevcut veri grubundan gradyen vektörün tahmininde kullanılır. İteratif olarak, minimum ortalama kare hatasına erişilinceye dek gradyen vektörün negatif yönünde ağırlık vektörüne düzeltmeler yapılır (Bal vd., 2006).

5.2.1.3 Basit Linear Regresyon Yöntemi (SLR-Simple Linear Regression)

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler (estimation) ya da kestirimler (prediction)

yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak adlandırılan matematiksel bir model ile karakterize eden bir istatistik analiz tekniğidir. Regresyon modeli uydurulduktan sonra modelin yeterli olup olmadığının kontrolü regresyon analizinin en önemli bölümüdür. Uydurulan modelin doğru modele yeterli derecede yaklaştığını garanti etmek ve en küçük kareler regresyon analizinin tüm varsayımlarını sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek gerekir (Şahinler, 2000).

SLR, her girdi ve çıktı arasına düzgün doğrular uydurma sürecidir. Denklemden w ve w_0 değerleri en küçük kareler yöntemiyle tahmin edilmektedir.

$$y_i = w_i x_i + w_0 \quad (5.14)$$

Her parametrenin modelleri arasından en küçük kare hatası bulunan model, son model olarak seçilir (Bal vd., 2006), [7].

5.2.1.4 Pace Regression Yöntemi (PR)

Pace regresyon, sıradan en küçük kareler metodunun (OLS-ordinary least squares) geliştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu yöntem her değişkenin ürününü değerlendirir ve genel regresyona olan etki/katkılarını tahmin etmek için dökümler halinde analiz yaparak istatistik bir taban meydana getirir (Bal vd., 2006).

5.2.1.5 Destek Vektör Regresyonu (SVR-Support Vector Regression)

SVR'deki temel fikir, girdi verisini nonlineer haritalandırma ile daha fazla boyutlu özel bir uzaya dökmektir. Böylece bir lineer regresyon problemi bu özel uzayda geliştirilip çözülür. Optimize edilecek değişkenlerin ikiserli gruplar halinde alt uzaylarda çözülmesi iki değişkenli problemin analitik çözümünün olması çözümü kolaylaştırmaktadır.

Destek vektör mekanizmasında regresyon fonksiyonu yaklaşık olarak şu biçimdedir (Bal vd., 2006):

$$y = \sum_{i=1}^l w_i \Phi_i(x) + b \quad (5.15)$$

$\{\Phi_i(x)\}_{i=1}^l$ girdi özelliği, $\{w_i\}_{i=1}^l$ ve b ise katsayılarıdır. Katsayılar düzenlenmiş risk fonksiyonunun minimize edilmesiyle tahmin edilir.

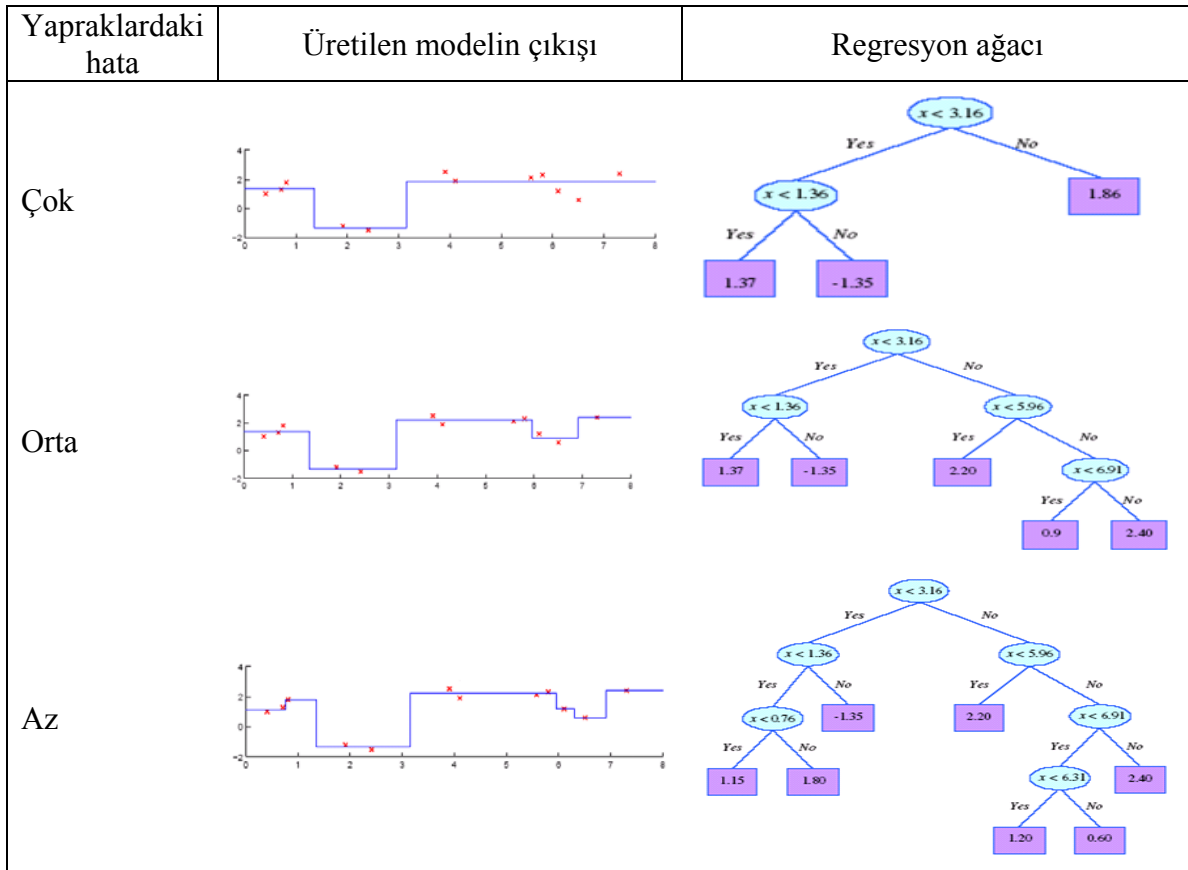
$$R(C) = C \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l L_{\varepsilon}(d_i, y_i) + \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (5.16)$$

Burada $|d - y| \geq \varepsilon$ ise $L_{\varepsilon}(d, y) = |d - y| - \varepsilon$ olur. Aksi takdirde $L_{\varepsilon}(d, y) = 0$ ve ε saptanmış parametrelerdir.

5.2.1.6 Model Ağaçları Yöntemi (M5)

Genelde sınıflandırmada kullanılan model ağaçları, regresyon problemlerinde de kullanılabilir şekilde düzenlenmişlerdir. Sınıflandırma ağaçlarında genel olarak her boyutta karar sınırının geçebileceği en uygun değer sınıflandırma başarısına göre aranır. Ağacın yapraklarındaki modellerin hata değerleri belirli bir eşik değerinin altına düşene dek, ağacın büyütülmesine (uzayın alt uzaylara bölünmesine) devam edilir. Yapraklarda sabit bir sayı, doğrusal ya da doğrusal olmayan bir model yer alabilir.

Şekil 5.9'da tek özellikli bir veri kümesinde farklı hata eşik değerleri için oluşturulmuş çeşitli regresyon ağaçları ve sonuçları verilmiştir. Yapraklarda sabit sayılar yer almaktadır. Bir yapraktaki hata bulunurken, o yapraktaki örneklerin çıkış değerlerinin ortalamalarına olan karesel uzaklıklarının toplamı kullanılmıştır (Alpaydın, 2004).



Şekil 5.9 Farklı hata eşikleri için oluşturulmuş regresyon ağaçları ve çıktıları

Şekil incelendiğinde, ağaçların yapraklarındaki hata değeri azaldıkça ağacın büyüklüğünün arttığı görülmektedir (Amasyalı, 2008).

M5 Model Ağaçları

Quinlan tarafından geliştirilen, yapraklarında lineer modeller bulunan bir regresyon ağacı algoritmasıdır. Veri kümesi yine uzayda alt kümelere bölünür ve her bir alt uzaya bir model atanır. Alt uzayların sınırları bulunurken örneklerin çıkışlarının standart sapmasını en fazla azaltan özellik, değer ikilisi kullanılmaktadır. SDR' si (standard deviation reduction-standart sapma azaltımı) en fazla olan özellik, değer ikilisi (i, θ) karar düğümüne yerleştirilir (Amasyalı, 2008).

$$SDR(i, \theta) = sd(X_i) - \sum_{i \in \{+, -\}} \frac{|X_i^h|}{|X_i|} sd(X_i^h) \quad (5.17)$$

X_i : X veri kümesinin i . özelliklerinin değerleri

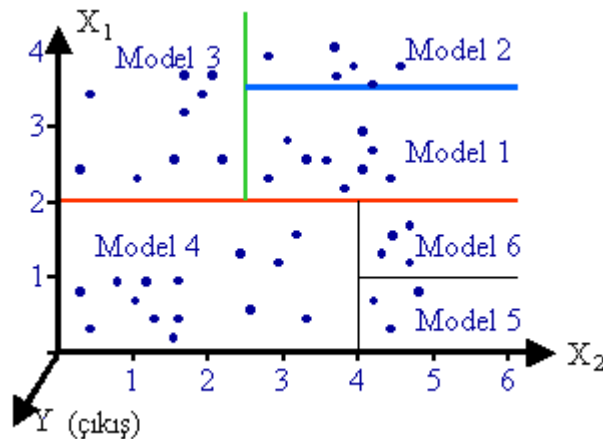
X_i^+ : X veri kümesinin i . özelliği θ ' dan büyük olanlarının değerleri

X_i^- : X veri kümesinin i . özelliği θ ' dan küçük olanlarının değerleri

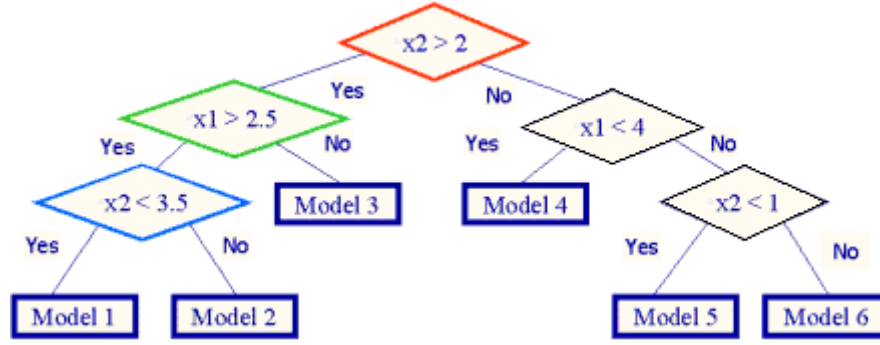
$sd(K)$: K değerlerinin standart sapması

$|K|$: K kümesinin eleman sayısı

Şekil 5.10 ve 5.11'de örnek bir M5 model ağacı ve alt uzayları görülmektedir.



Şekil 5.10 Örnek bir M5 model ağacının alt uzay sınırları



Şekil 5.11 Örnek bir M5 model ağacı

M5 Model Kuralları (M5R)

Ayırma stratejisi kullanarak regresyon problemleri için karar listesi oluşturur. Her iterasyon adımında M5'i kullanarak bir model ağacı geliştirir ve en iyi demeti kural olarak belirler.

5.2.2 VOC Emisyon Tahmini Uygulamaları

Tersanelerde kaynak ve boyama işlemlerinden ortaya çıkan emisyonların tahmin edilebilmesi için öncelikle mevcut özellik seçimi yaklaşımları incelenmiş ve seçilecek özellik sayısına kullanıcının karar verdiği WEKA yazılımı (Witten vd., 2005) kullanılmıştır. Boya ve kaynak emisyonlarının tahmini, bir sınıflandırma problemi olduğu için WEKA sınıflandırma paketindeki sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır.

WEKA platformu Java tabanlı bir makine öğrenmesi paketi olup, Yeni Zelanda Waikato Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. WEKA Platformu'nun en önemli özelliklerinden birisi açık kaynak kodlu olmasıdır. Bunun yanında, WEKA'nın bugüne kadar geliştirilmiş tüm sürümleri ve yardımcı malzeme WEKA'nın sitesinden ücretsiz olarak edinilebilmektedir [8]. WEKA ticari olarak geliştirilen diğer birçok platformdan daha fazla öğrenme algoritmasını bünyesinde barındırmaktadır. WEKA platformunun çalışmamızdaki analizlerde kullanılmasının nedeni, bu platformun diğer ticari yapay zeka platformlarına göre gelişim açısından daha dinamik bir yapı sergilemesidir. Bu paketlerdeki algoritmalar, araştırmaya konu olan problemin özelliğine bağlı olarak sınıflandırma, kümeleme ya da eşleme öğrenme algoritması olarak adlandırılırlar.

Öğrenme algoritmalarının sınıflandırmada kullandıkları ölçütler, bu sınıflandırmanın sonuçlarını kullananlar için önemlidir. Algoritma sınıflandırma yaparken herhangi bir şekilde kullanıcıya anlamsız gelecek ölçütleri kullanıyorsa sınıflandırma anlamsız olacaktır. Bu bağlamda, kullanıcılara ya da uzmanlara anlamlı gelecek sınıflandırma

kurallarının öğrenilmesi son derece mantıklı olacaktır.

Weka platformu kullanılarak yapılan çalışmada, öncelikle Türkiye tersanelerinde imal edilmiş ve boyanmış on adet farklı büyüklükte ve farklı özellikte geminin boyama verileri elde edilmiştir. Tersaneler ve boya firmaları ile yapılan çalışmalarda gemilerin boyanan yüzeyleri, boya tipleri ve özellikleri, gemi ana boyutları araştırılmıştır. Emisyon tahminleri için geleneksel yöntemlere alternatif olması düşünülen modelin kurulması sırasında genelde birbirinden bağımsız değerler alınmasına özen gösterilmiştir. On adet gemi için tonaj, boy, gibi ana değerler tersanelerin ilgili departmanları ile görüşülerek ve 6 nolu referanstan teyit edilerek bulunmuştur. Boya firmaları ile yapılan çalışmalarda bu gemilere ait boyama işlemleri incelenmiş ve her gemi için yüzeylerine atılan tüm boya katmanları ve kullanılan boya miktarları çıkarılmıştır. Daha sonrasında kullanılan boyaların teknik özellikleri araştırılmıştır. Makine öğrenmesi metotları üzerinde çalışmalar yapılması için çıkış değerleri olarak m² başına toplam VOC (TVOC) değeri seçilmiştir. TVOC değerleri makine öğrenmesi modelleri ile “Modifiye Kütle Dengesi Modeli” (MKDM) ile ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Boya prosesinde VOC emisyonunun tahmini için tüm yöntemlerde kullanılan giriş parametreleri Çizelge 5.1 de verilmektedir. Burada asıl amaç aralarında matematiksel bir ilgi bulunmayan parametreler aracılığı ile yüzeye uygulanan boyadan kaynaklanan toplam VOC (TVOC) değerlerini tahmin edebilmektir.

Çizelge 5.1 Giriş Parametreleri

Girişler	Kısa adı
Gemi Dead Weight Tonu	DWT
Gemi Boyu	L
Boyanan Yüzey Alanı	BYA
Boyanın Kuru Film Kalınlığı	DFT
Boyanın Katı Madde Oranı	VS
Toplam Uygulanan Boya Miktarı	TBM
Boyanın VOC Oranı	VOC

Örnekleri teşkil edecek gemilerin DWT Tüm gemilerin boyanan yüzey alanlarına uygulanan boyaların her bir katı, bir giriş değeri olarak kabul edilmiş ve bu değer yedi adet parametresi (DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC) tanımlanmıştır. On adet gemiye ait, her bir yüzeye atılan boya katmanları ve 7 adet özelliği oluşturulmuştur. Bu şekilde on adet gemiye ait 354 adet boya girişi elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, bu 354 adetlik veri ailesi kullanılmıştır. Çizelge 5.2’de 10.000 DWT’luk gemi için boyanan yüzeylerden elde edilen girişleri temsil eden 5 adet örnek verilmektedir. Her bir gemideki boyanan yüzey alanları ve atılan katmanlar farklılık gösterebilmektedir. On gemiden elde edilen 7 özellikli 354 tane veri, emisyon tahmin modellerinde kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, emisyon tahmin modelinin giriş özelliklerine

bağlı olarak da değişimi ve her bir özelliğin çıkışa olan etkisi incelenmiştir.

Çizelge 5.2 Örnek giriş parametreleri

Boya verisi	DWT	L(m)	BYA (m ²)	DFT(μm)	VS (%)	TBM (l)	VOC(g/l)
1.	10.000	129	2000	200	80	714.3	209
2.	10.000	129	2000	90	57	453.6	435
3.	10.000	129	1000	150	60	357.1	355
4.	10.000	129	1100	90	60	234.6	355
5.	10.000	129	6000	80	80	857	209

Bütün modellerde toplam 29 farklı giriş değeri kombinasyonu uygulanmıştır. Birincisinde DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC olmak üzere 7 giriş değeri için bir adet kombinasyon, 6 giriş değeri için 7 farklı kombinasyon ve 5 giriş değeri için 21 farklı kombinasyon oluşturulmuş, sonuçları elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Çizelge 5.3'te 7, 6 ve 5 girişli tüm hesaplama kombinasyonları sırası ile verilmektedir.

Çizelge 5.3 Hesaplama kombinasyonları

Giriş Değerleri	Sıra no	Kombinasyon
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	1	7
DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	2	6
DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC	3	6
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM	4	6
DWT-L-BYA-DFT-VS-VOC	5	6
DWT-L-BYA-VS-TBM-VOC	6	6
DWT-L-DFT-VS-TBM-VOC	7	6
L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	8	6
BYA-DFT-VS-TBM-VOC	9	5
DWT-BYA-DFT-TBM-VOC	10	5
DWT-BYA-DFT-VS-TBM	11	5
DWT-BYA-DFT-VS-VOC	12	5
DWT-BYA-VS-TBM-VOC	13	5
DWT-DFT-VS-TBM-VOC	14	5
DWT-L-BYA-DFT-TBM	15	5
DWT-L-BYA-DFT-VOC	16	5
DWT-L-BYA-DFT-VS	17	5
DWT-L-BYA-TBM-VOC	18	5
DWT-L-BYA-VS-TBM	19	5
DWT-L-BYA-VS-VOC	20	5
DWT-L-DFT-TBM-VOC	21	5
DWT-L-DFT-VS-TBM	22	5
DWT-L-DFT-VS-VOC	23	5
DWT-L-VS-TBM-VOC	24	5
L-BYA-DFT-TBM-VOC	25	5
L-BYA-DFT-VS-TBM	26	5
L-BYA-DFT-VS-VOC	27	5
L-BYA-VS-TBM-VOC	28	5
L-DFT-VS-TBM-VOC	29	5

5.2.2.1 Hesaplama Hataları

Regresyon problemleri için üretilen modelin performansını ölçmek için literatürde birçok kriter mevcuttur. Bu bölümde en popüler olanlarına değinilmiştir (Amasyalı, 2008).

y_i : i. örneğin gerçek çıkış değeri

t_i : i. örneğin tahmin edilen çıkış değeri

N : Örnek sayısı

y^* : Örneklerin gerçek çıkışlarının ortalaması

t^* : Örneklerin tahmin edilen çıkışlarının ortalaması

Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error-MSE): Gerçek çıkışların (y_i), tahmin edilen çıkışlara (t_i) karesel uzaklıklarının ortalamasıdır.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - t_i)^2 \quad (5.18)$$

Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (Root Mean Squared Error-RMSE): MSE'nin kareköküdür.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - t_i)^2} \quad (5.19)$$

Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE): Gerçek çıkışların, tahmin edilen çıkışlara mutlak uzaklıklarının ortalamasıdır. Büyük hatalı örneklerde ortalama karesel hatalardan daha az hassastır.

$$MEA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - t_i| \quad (5.20)$$

Rölatif Mutlak Hata (Relative Absolute Error-RAE): Mutlak hatanın, gerçek çıkışların ortalamalarına mutlak uzaklıklarının toplamına oranıdır.

$$RAE = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - t_i|}{\sum_{i=1}^N |y^* - y_i|} \quad (5.21)$$

Rölatif Karesel Hata (Relative Squared Error-RSE): Karesel hatanın, gerçek çıkışların ortalamalarına karesel uzaklıklarının toplamına oranıdır.

$$RSE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y^* - y_i)^2} \quad (5.22)$$

Rölatif Karesel Hatanın Kökü (Root Relative Squared Error-RRSE): RSE'nin kareköküdür.

$$RRSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y^* - y_i)^2}} \quad (5.23)$$

Korelasyon Katsayısı (Correlation Coefficient-CC): Örneklerin gerçek çıkışlarıyla tahmin edilen çıkışları arasındaki korelasyon katsayısıdır.

$$CC = \frac{S_{yt}}{\sqrt{S_y S_t}}, \quad S_{yt} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - t^*)(y_i - y^*), \quad S_y = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - y^*)^2, \\ S_t = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - t^*)^2 \quad (5.24)$$

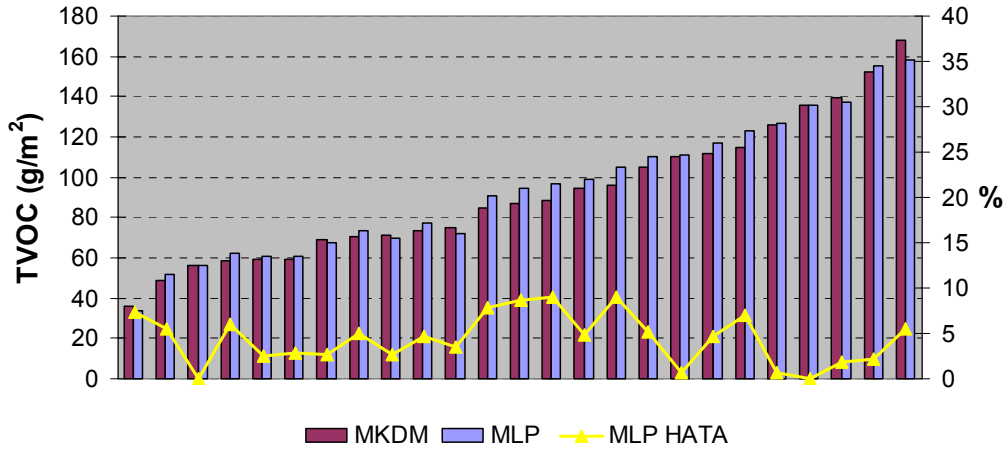
5.2.2.2 Yapay Sinir Ağları Uygulaması

Yapay sinir ağları uygulamasında çok katmanlı algılayıcı (Multi layer perceptron-MLP) ve radyal temelli fonksiyonlar (Radial basis function-RBF) modelleri kullanılmıştır. Her iki modelde de giriş ve çıkış verileri aynıdır. Veri ailesi 354 x 7 lik bir matristen oluşmaktadır. Burada 236 adet veri eğitim kümesini, 118 adet veri de test kümesini oluşturmaktadır. Eğitim işlemi tamamlandıktan sonra ağ, hiç görmediği 118 adet test verisi ile çalışmaktadır. Sonuçta sistemin hataları ağın eğitiminde kullanılmamış olan veri kümesinin hatalarıdır.

5.2.2.2.1 Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Modeli Sonuçları

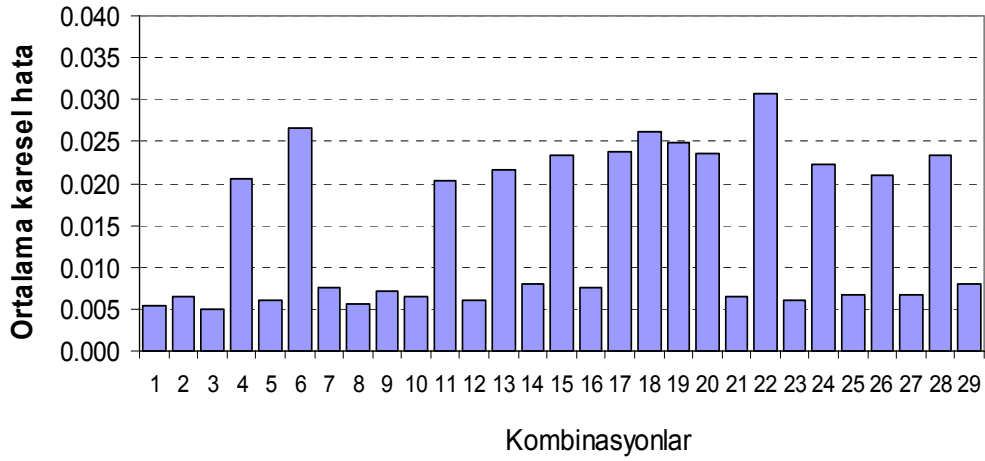
Çizelge 5.4 de görüldüğü gibi MLP metoduyla çözümleme yapılarak m² başına tahmini VOC miktarı hesaplanmasında 7 giriş değerinin kullanılması durumunda korelasyon katsayısı 0.9143 değeriyle 29 ayrı çözümleme içerisinde en yüksek korelasyonu göstermiştir. Bunu takip eden iki yüksek değer 0.9096 ve 0.9088 olmak üzere boyanın özelliklerinin de giriş verisi olarak verildiği giriş değerleri gruplarının kullanıldığı L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC ve

DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC olarak bulunmuştur. Bu üç giriş kombinasyonu için ortalama karesel hatalar da diğer girişlere göre daha yüksektir. Buna göre giriş değeri sayısının yüksek olması ve boya özelliklerinin de çözümde kullanılması çözümlemenin doğruluğunu arttırarak gerçeğe daha yakın sonuçlar bulunmasını sağlamaktadır. Şekil 5.12’de 7 girişli örnek için “Modifiye Kütle Dengesi Modeli” (MKDM) ile hesaplanan emisyon değerleri ile MLP ile hesaplanan emisyon miktarları ve hata oranları verilmektedir. Şekil 5.12’de test kümesini temsil eden 25 adet verinin kütle dengesi ve MLP ile hesaplamaları sonucu bulunan TVOC değerleri g/m^2 olarak verilmektedir. Giriş değerlerine göre emisyon tahminindeki MKDM ile MLP yöntemi arasındaki hatanın değişimi de yine aynı grafik üzerinde gösterilmektedir. 7 girişli örnekteki verilere ve tüm değer aralıklarına bakıldığında hesaplanan sonuçların hatalarının %10’u geçmediği gözlemlenmektedir. Ayrıca VOC parametresinin bulunduğu kombinasyonlarda başarı oranı daha yüksek olmaktadır.



Şekil 5.12 MLP sonuçları

Şekil 5.13’te MLP çözümlerinde hesaplanan tüm kombinasyonlardaki ortalama karesel hatalar karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Kombinasyonlar, Çizelge 5.3’te verildiği gibi 1’den 29’a kadar numaralandırılmıştır. Şekil 5.13’ten en düşük ortalama karesel hataların 3 ve 1 numaralı girişlerin kullanıldığı çözümlerle elde edildiği gözlemlenmektedir.



Şekil 5.13 MLP çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması

Çizelge 5.4 MLP test kümesi sonuçları tablosu

Giriş Değerleri	Korelasyon katsayıları	Ortalama mutlak Hata	Ortalama karesel hatanın karekökü	Ortalama karesel hata
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.9143	0.0549	0.0737	0.0054
DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8789	0.0515	0.0805	0.0065
DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.9088	0.0434	0.0702	0.0049
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM	0.5316	0.1109	0.1433	0.0205
DWT-L-BYA-DFT-VS-VOC	0.8808	0.0463	0.0783	0.0061
DWT-L-BYA-VS-TBM-VOC	0.7856	0.1372	0.1631	0.0266
DWT-L-DFT-VS-TBM-VOC	0.8488	0.0512	0.0871	0.0076
L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.9096	0.0555	0.0751	0.0056
BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8715	0.0607	0.0843	0.0071
DWT-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8762	0.0470	0.0797	0.0064
DWT-BYA-DFT-VS-TBM	0.5665	0.0930	0.1425	0.0203
DWT-BYA-DFT-VS-VOC	0.8816	0.0444	0.0778	0.0061
DWT-BYA-VS-TBM-VOC	0.8156	0.1244	0.1474	0.0217
DWT-DFT-VS-TBM-VOC	0.8449	0.0532	0.0888	0.0079
DWT-L-BYA-DFT-TBM	0.4530	0.1238	0.1527	0.0233
DWT-L-BYA-DFT-VOC	0.8601	0.0568	0.0871	0.0076
DWT-L-BYA-DFT-VS	0.4611	0.1148	0.1539	0.0237
DWT-L-BYA-TBM-VOC	0.7916	0.1361	0.1617	0.0261
DWT-L-BYA-VS-TBM	0.6606	0.1326	0.1579	0.0249
DWT-L-BYA-VS-VOC	0.5418	0.122	0.1534	0.0235
DWT-L-DFT-TBM-VOC	0.8783	0.0493	0.0797	0.0064
DWT-L-DFT-VS-TBM	0.3826	0.1036	0.1749	0.0306
DWT-L-DFT-VS-VOC	0.8854	0.0487	0.0778	0.0061
DWT-L-VS-TBM-VOC	0.5545	0.1167	0.1493	0.0223
L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8772	0.0549	0.0812	0.0066
L-BYA-DFT-VS-TBM	0.5664	0.1037	0.1447	0.0209
L-BYA-DFT-VS-VOC	0.8695	0.0482	0.0817	0.0067
L-BYA-VS-TBM-VOC	0.7997	0.1284	0.1531	0.0234
L-DFT-VS-TBM-VOC	0.8423	0.0535	0.0892	0.0080

5.2.2.2.2 Radyal Temelli Fonksiyon Ağı (RBF) Yöntemi Sonuçları

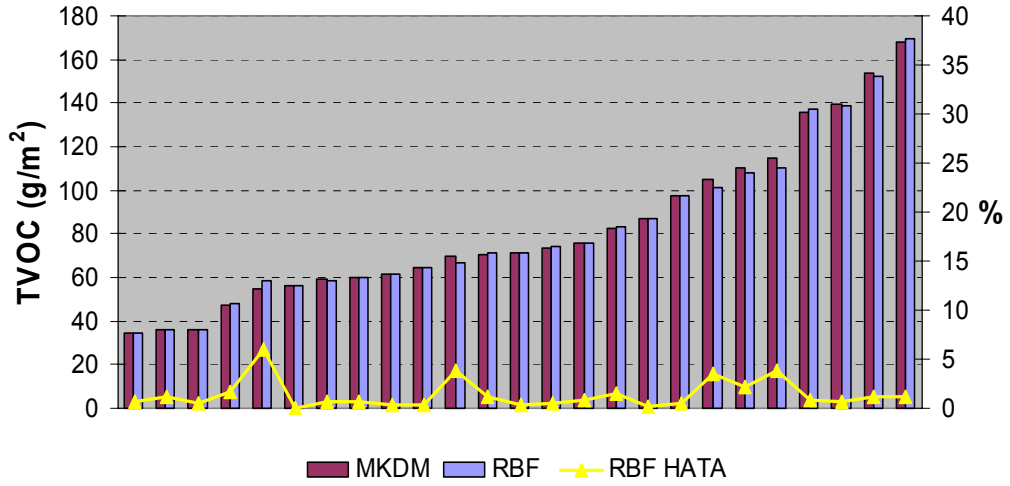
Çizelge 5.5'e görüldüğü gibi RBF metoduyla çözümlene yapılarak m² başına tahmini VOC

miktarı hesaplanmasında 7 giriş değerinin kullanılması durumunda korelasyon katsayısı 0.9438 değeriyle diğer çözümler içerisinde en yüksek korelasyonu göstermiştir. Bunu takip eden iki yüksek değer boyanın özelliklerinin de giriş verisi olarak verildiği giriş değerleri gruplarının kullanıldığı DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC ve DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC çözümleri sırasıyla 0.9421 ve 0.9383 olarak bulunmuştur. Buna göre giriş değeri sayısının yüksek olması ve boya özelliklerinin de çözümde kullanılması çözümlemenin doğruluğunu arttırarak gerçeğe daha yakın sonuçlar bulunmasını sağlamaktadır. İki çözümler için diğer hata çıkışlarında da aynı durum söz konusudur.

Çizelge 5.5 RBF test kümesi sonuç tablosu

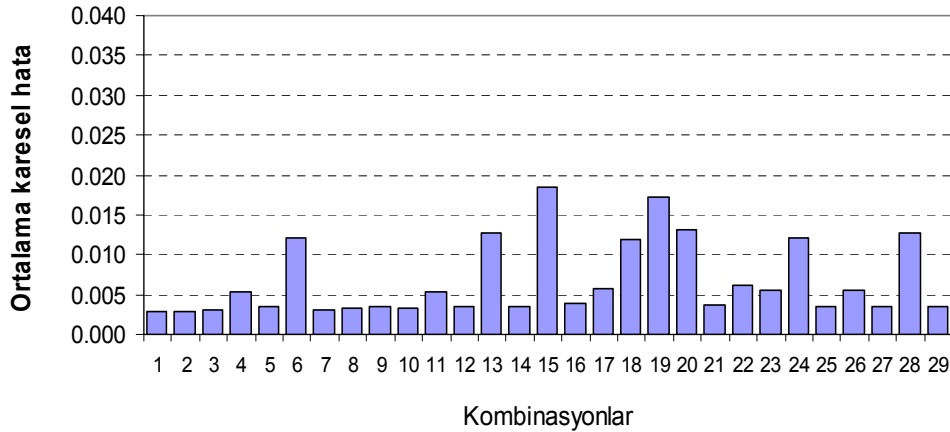
Giriş Değerleri	Korelasyon katsayıları	Ortalama mutlak Hata	Ortalama karesel hatanın karekökü	Ortalama karesel hata
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.9438	0.0238	0.0525	0.0028
DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.9421	0.0247	0.0533	0.0028
DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.9383	0.0272	0.0549	0.0030
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM	0.8893	0.0421	0.0726	0.0053
DWT-L-BYA-DFT-VS-VOC	0.9293	0.029	0.0586	0.0034
DWT-L-BYA-VS-TBM-VOC	0.7204	0.082	0.1101	0.0121
DWT-L-DFT-VS-TBM-VOC	0.9378	0.026	0.0551	0.0030
L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.9341	0.0261	0.0567	0.0032
BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.9285	0.0271	0.0589	0.0035
DWT-BYA-DFT-TBM-VOC	0.9343	0.029	0.0566	0.0032
DWT-BYA-DFT-VS-TBM	0.8856	0.0438	0.0738	0.0054
DWT-BYA-DFT-VS-VOC	0.9298	0.0282	0.0584	0.0034
DWT-BYA-VS-TBM-VOC	0.7057	0.0832	0.1125	0.0127
DWT-DFT-VS-TBM-VOC	0.9312	0.0285	0.0579	0.0034
DWT-L-BYA-DFT-TBM	0.5217	0.1018	0.1355	0.0184
DWT-L-BYA-DFT-VOC	0.9217	0.0328	0.0616	0.0038
DWT-L-BYA-DFT-VS	0.8808	0.0452	0.0752	0.0057
DWT-L-BYA-TBM-VOC	0.7292	0.0801	0.1086	0.0118
DWT-L-BYA-VS-TBM	0.5617	0.0994	0.1314	0.0173
DWT-L-BYA-VS-VOC	0.6907	0.0871	0.1148	0.0132
DWT-L-DFT-TBM-VOC	0.9236	0.0322	0.0609	0.0037
DWT-L-DFT-VS-TBM	0.8704	0.045	0.0782	0.0061
DWT-L-DFT-VS-VOC	0.9372	0.0224	0.0224	0.0005
DWT-L-VS-TBM-VOC	0.7211	0.0807	0.1100	0.0121
L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.9300	0.0288	0.0584	0.0034
L-BYA-DFT-VS-TBM	0.8837	0.0441	0.0743	0.0055
L-BYA-DFT-VS-VOC	0.9282	0.0288	0.0591	0.0035
L-BYA-VS-TBM-VOC	0.7013	0.0838	0.1132	0.0128
L-DFT-VS-TBM-VOC	0.9302	0.0274	0.0583	0.0034

Şekil 5.14'te Radyal temelli fonksiyon ağlarında 7 girişli örneklemeler için yapılan hesaplamalar ve hataları verilmektedir. Burada dikkat çeken, en iyi emisyon tahminlerinden birinin RBF ile gerçekleştiğidir. Radyal temelli fonksiyon ağları ile emisyon tahmininde hatalar genellikle % 0–2 aralığında değişmektedir. VOC parametresinin bulunduğu kombinasyonlarda başarı oranı daha yüksek olmaktadır.



Şekil 5.14 RBF sonuçları

Şekil 5.15'te 13'te RBF çözümlerinde hesaplanan tüm kombinasyonlardaki ortalama karesel hatalar karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Burada en düşük hatayı 1 ve 2 numaralı kombinasyonlar olan DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC ve DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişlerinin olduğu çözümler vermektedir.



Şekil 5.15 RBF çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması

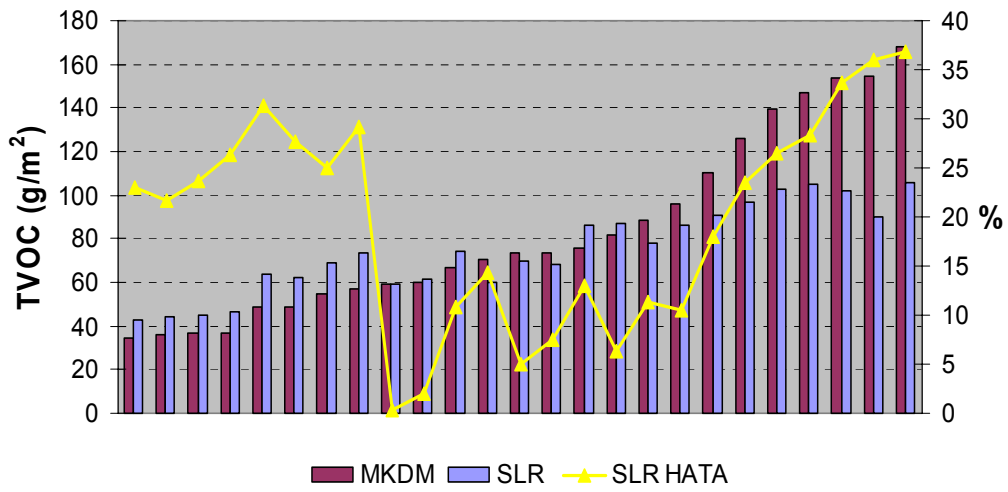
5.2.2.3 Basit Lineer Regresyon (SLR) Yöntemi Sonuçları

Çizelge 5.6'te lineer regresyon modelinde giriş gruplarına göre korelasyon katsayıları, ortalama mutlak hata, ortalama karesel hatanın karekökü ve ortalama karesel hata oranları verilmektedir. Şekil 5.16'te 7 girişli örnek için SLR yöntemiyle hesaplanan değerler ve hata oranları verilmektedir. Hata oranlarına bakıldığında m^2 başına toplam VOC miktarlarının hesaplanmasında veri kümesindeki 40 g/m^2 'den küçük ve 80 g/m^2 'den büyük değerler için hata oranları yüksek olmaktadır. Çizelge 5.6'e bakıldığında basit lineer regresyon, bu

verilerle oluşturulan emisyon tahmin problemi için uygun gözükmemektedir.

Çizelge 5.6 Lineer regresyon test kümesi sonuç tablosu

Giriş Değerleri	Korelasyon katsayıları	Ortalama mutlak hata	Ortalama karesel hatanın karekökü	Ortalama karesel hata
DWT-BYA-DFT-VS-TBM DWT-BYA-DFT-VS-TBM DWT-L-BYA-DFT-VS DWT-L-DFT-VS-TBM L-BYA-DFT-VS-TBM	0.2415	0.1136	0.1593	0.0254
DWT-DFT-VS-TBM-VOC	0.2589	0.1136	0.1602	0.0257
Diğer tüm giriş kombinasyonları	0.4530	0.1091	0.1465	0.0215

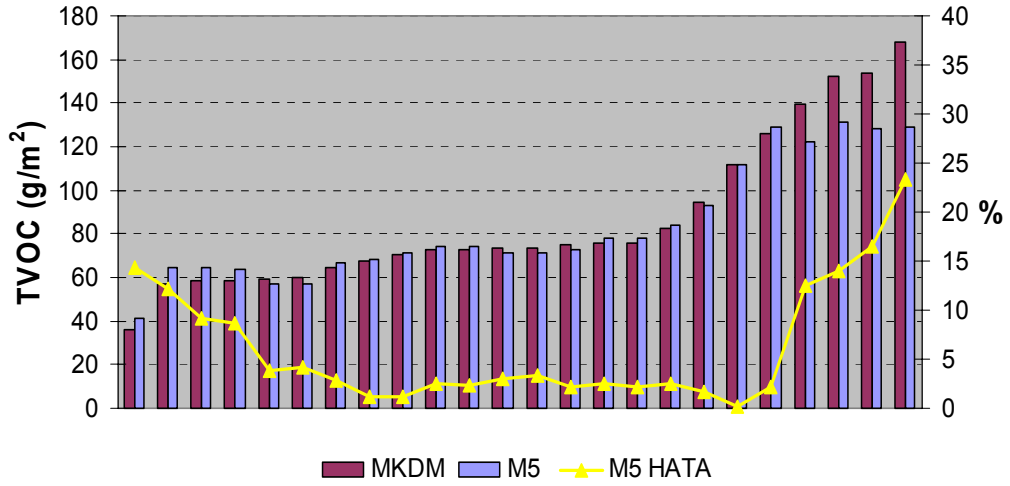


Şekil 5.16 SLR sonuçları

Ayrıca, giriş sayısına bağlı olarak belli bir korelasyon sağlanmamaktadır. Sonuçta MLP ve RBF metoduna göre oldukça düşük korelasyon katsayıları ve yüksek hata oranları bulunmuştur.

5.2.2.4 Model Ağaçları (M5) Yöntemi Sonuçları

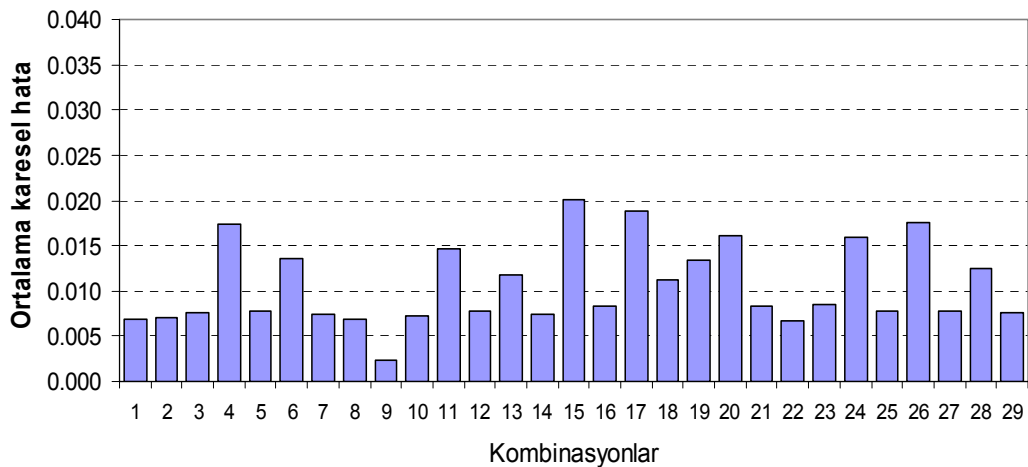
Şekil 5.17'de 7 girişli örnek için seçilen gerçek değerlerle, M5 model ağaçları ile hesaplanan VOC'ler ve yüzdesel hatalar verilmektedir. Buna göre model ağaçları 60 g/m² ile 140 g/m² arasındaki emisyonları % 5'in altında bir hata ile tahmin edebilmektedir. 60 g/m²'den küçük ve 140 g/m² büyük değerler için veri havuzu geliştirildiğinde hata oranlarının diğer bölgeler için de düşeceği tahmin edilmektedir.



Şekil 5.17 M5 sonuçları

Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi model ağaçları metoduyla çözümlene yapılarak m^2 başına tahmini VOC miktarı hesaplanmasında 0.8806 ve 0.8743 değerleri ile en yüksek iki korelasyonu BYA-DFT-VS-TBM-VOC ve DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişleri vermektedir. Bu nedenle, bu modelde özellikle boyanın özelliklerinin tanımlandığı girişlerle ve daha az giriş değeriyle daha yüksek korelasyon sağladığı görülmektedir. İki kombinasyon için diğer hatalarda da aynı durum söz konusudur.

Şekil 5.18’de 13’te M5 çözümlerinde hesaplanan tüm kombinasyonlardaki ortalama karesel hatalar karşılaştırmalı olarak verilmektedir. En düşük ortalama karesel hatayı 9 numaralı çözümlene olan BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişlerinin olduğu kombinasyon vermektedir.



Şekil 5.18 M5 çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması

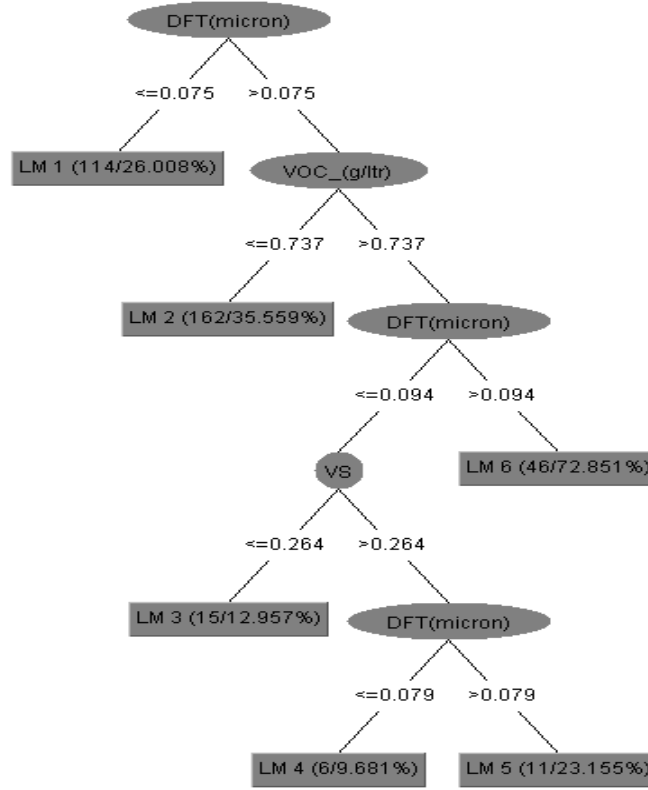
Çizelge 5.7 Model ağaçları (M5) test kümesi sonuç tablosu

Giriş Değerleri	Korelasyon katsayıları	Ortalama mutlak hata	Ortalama karesel hatanın karekökü	Ortalama karesel hata
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8743	0.0490	0.0827	0.0068
DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8678	0.0494	0.0840	0.0071
DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8591	0.0508	0.0871	0.0076
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM	0.6121	0.0826	0.1318	0.0174
DWT-L-BYA-DFT-VS-VOC	0.8501	0.0537	0.0886	0.0078
DWT-L-BYA-VS-TBM-VOC	0.7190	0.0875	0.1160	0.0135
DWT-L-DFT-VS-TBM-VOC	0.8612	0.0519	0.0862	0.0074
L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8728	0.0501	0.0831	0.0069
BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8806	0.0492	0.0492	0.0024
DWT-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8655	0.0489	0.0846	0.0072
DWT-BYA-DFT-VS-TBM	0.6847	0.0750	0.1210	0.0146
DWT-BYA-DFT-VS-VOC	0.8511	0.0524	0.0882	0.0078
DWT-BYA-VS-TBM-VOC	0.7696	0.0769	0.1082	0.0117
DWT-DFT-VS-TBM-VOC	0.8599	0.0517	0.0866	0.0075
DWT-L-BYA-DFT-TBM	0.5086	0.1074	0.1416	0.0201
DWT-L-BYA-DFT-VOC	0.8424	0.0546	0.0909	0.0083
DWT-L-BYA-DFT-VS	0.5797	0.0854	0.1374	0.0189
DWT-L-BYA-TBM-VOC	0.7680	0.0753	0.1065	0.0113
DWT-L-BYA-VS-TBM	0.7253	0.0793	0.1157	0.0134
DWT-L-BYA-VS-VOC	0.6374	0.0970	0.1268	0.0161
DWT-L-DFT-TBM-VOC	0.8410	0.0554	0.0917	0.0084
DWT-L-DFT-VS-TBM	0.6117	0.0819	0.0819	0.0067
DWT-L-DFT-VS-VOC	0.8369	0.055	0.0920	0.0085
DWT-L-VS-TBM-VOC	0.6426	0.0953	0.1263	0.0160
L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8551	0.0520	0.0880	0.0077
L-BYA-DFT-VS-TBM	0.6080	0.0821	0.1325	0.0176
L-BYA-DFT-VS-VOC	0.8556	0.0509	0.0876	0.0077
L-BYA-VS-TBM-VOC	0.7521	0.0803	0.1112	0.0124
L-DFT-VS-TBM-VOC	0.8594	0.0523	0.0869	0.0076

Şekil 5.19 ve Çizelge 5.8’de emisyon tahmininde kullanılan model ağacının BYA-DFT-VS-TBM-VOC giriş kombinasyonu için oluşturduğu model ağaç ve kuralları verilmektedir.

Çizelge 5.8 BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişleri için oluşturulan modeller

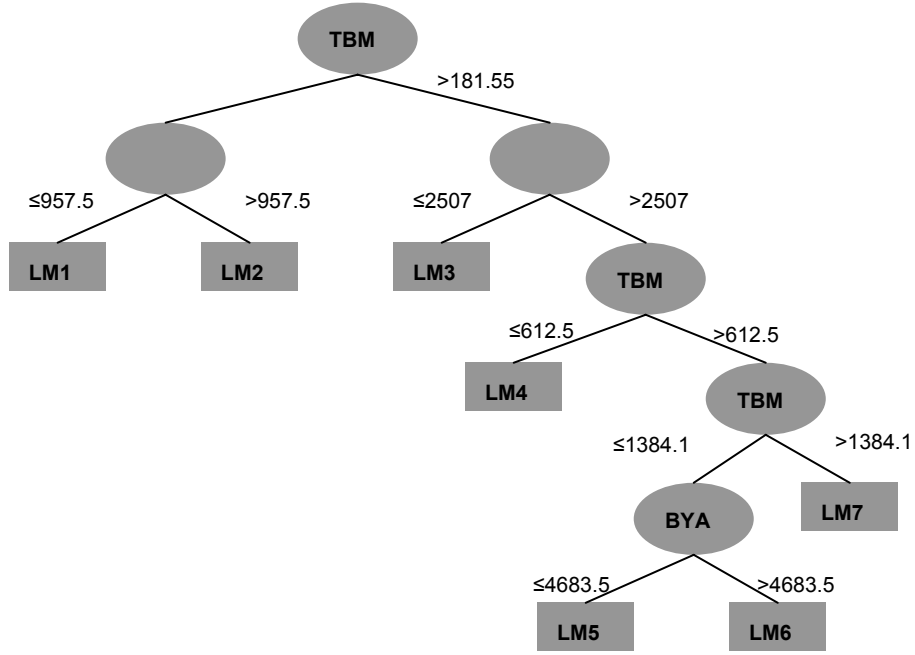
Model	M5 Emisyon Tahmin Modeli
LM 1	TOTAL_VOC(g/m ³) = -0.5228 * BYA + 1.4391 * DFT+ 1.6036 *TBM+ 0.464 * VOC
LM 2	TOTAL_VOC(g/m ³) = -0.4451 * BYA+ 1.7043 * DFT- 0.0575 * VS +0.8154 * TBM+ 0.7691 * VOC- 0.2891
LM 3	TOTAL_VOC(g/m ³) = -0.1395 * BYA + 1.7448 * DFT- 0.0447 *VS +0.2492 * TBM+ 0.3291 * VOC+ 0.1215
LM 4	TOTAL_VOC(g/m ³) = -0.0812 * BYA + 1.3391 * DFT- 0.2043 *VS +0.2492 * TBM+ 0.3291 * VOC+ 0.1439
LM 5	TOTAL_VOC(g/m ³) = -0.0312 * BYA + 1.1039 * DFT- 0.2043 *VS +0.2492 * TBM+ 0.3291 * VOC+ 0.1648
LM 6	TOTAL_VOC(g/m ³) = -0.1395 * BYA - 0.0064 * DFT+ 0.2492 * TBM+ 0.6835 * VOC+ 0.0225



Şekil 5.19 BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişleri için karar ağacı

Yapılan çalışmalarda, model ağaçları yöntemi, özellikle, elinde az bilgi bulunan tersane kullanıcıları için de oldukça önemli bir hesaplama yöntemi olarak görülmüştür. Bu nedenle az verinin bulunduğu durumlar düşünülerek yeni bir giriş kombinasyonu oluşturulmuş ve özellikle tersane çalışanları ve boya firmalarını yakından ilgilendirecek az değer girişi ile emisyonların tahmin edileceği bir model oluşturulmuştur. Bu modelin giriş değerleri olarak geminin dead weight tonu, boyu, boyanan yüzeyin alanı ve uygulanan boya miktarı (DWT-L-BYA-TBM) gibi çabuk bulunabilecek değerler ile emisyon miktarının pratik olarak hesaplanması sağlanmıştır (Şekil 5.20 ve Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9'da, Şekil 5.20'de verilmiş olan karar ağaçları şemasının modelleri verilmektedir. Emisyon tahminlerinin tersanelerde kolayca kullanılması için, veri ailesindeki 354 değer temel alınarak ve DWT-L-BYA-TBM girişleri kullanılarak, toplam VOC miktarı hesaplanabilmektedir.



Şekil 5.20 DWT-L-BYA-TBM girişleri için karar ağacı

Çizelge 5.9 DWT-L-BYA-TBM girişleri için oluşturulan modeller

Model	M5 Emisyon Tahmin Modeli
LM1	$TVOC(g/m^2) = 0.0005 * DWT - 0.2968 * L - 0.0466 * BYA + 0.2759 * TBM + 89.2227$
LM2	$TVOC(g/m^2) = 0.0008 * DWT - 0.2478 * L - 0.0063 * BYA + 0.2216 * TBM + 48.0007$
LM3	$TVOC(g/m^2) = 0.0002 * DWT - 0.0271 * L - 0.0354 * BYA + 0.1537 * TBM + 84.0587$
LM4	$TVOC(g/m^2) = 0.0014 * DWT - 0.3318 * L - 0.0017 * BYA + 0.0349 * TBM + 75.5286$
LM5	$TVOC(g/m^2) = 0.0013 * DWT - 0.3245 * L - 0.0018 * BYA + 0.0039 * TBM + 99.3005$
LM6	$TVOC(g/m^2) = 0.0013 * DWT - 0.3245 * L - 0.0016 * BYA + 0.0039 * TBM + 93.0132$
LM7	$TVOC(g/m^2) = 0.0029 * DWT - 0.6598 * L - 0.0008 * BYA + 0.0058 * TBM + 118.7647$

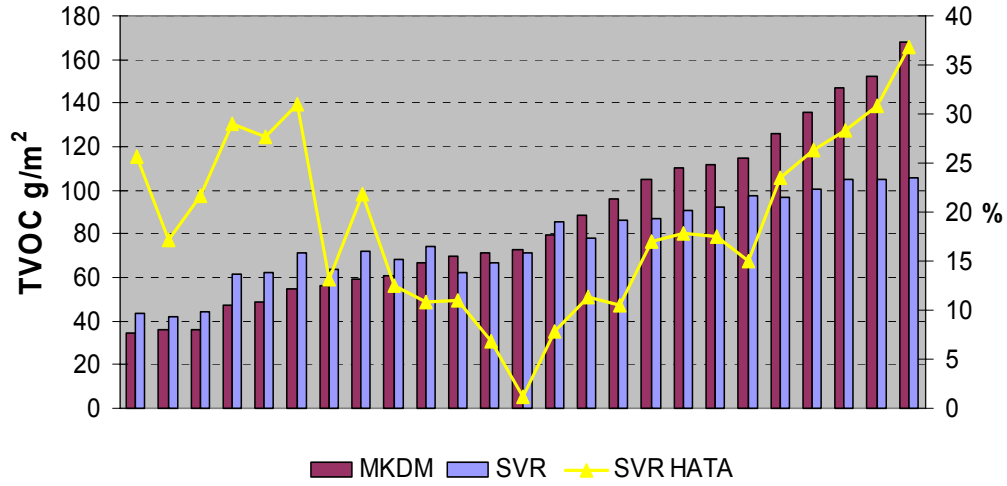
5.2.2.5 Destek Vektör Regresyonu (SVR) Yöntemi Sonuçları

Çizelge 5.10'da görüldüğü gibi en yüksek korelasyon katsayılarını sırası ile 0.8576 ve 0.8568 ile DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC ve DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişleri vermektedir. Ortalama karesel hatalara bakıldığında DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC ve DWT-BYA-DFT-TBM-VOC girişleri 0.0102 ve 0.0104 değerleri ile ön plana çıkmaktadır. Bu değerlerin korelasyon katsayıları birbirine çok yakındır.

Çizelge 5.10 Destek Vektör Regresyonu test kümesi sonuç tablosu

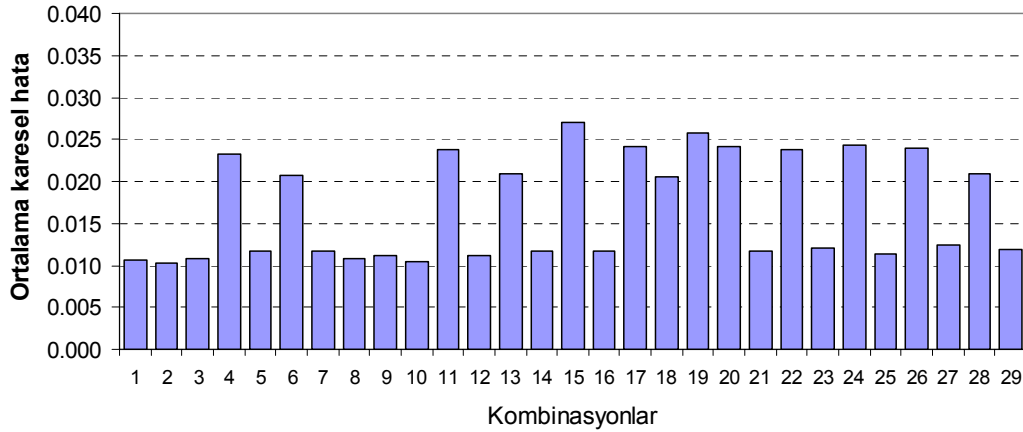
Giriş Değerleri	Korelasyon katsayıları	Ortalama mutlak Hata	Ortalama karesel hatanın karekökü	Ortalama karesel hata
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8568	0.0654	0.1035	0.0107
DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8515	0.0651	0.101	0.0102
DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8576	0.0656	0.1041	0.0108
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM	0.4753	0.0989	0.1522	0.0232
DWT-L-BYA-DFT-VS-VOC	0.8437	0.0689	0.1088	0.0118
DWT-L-BYA-VS-TBM-VOC	0.5945	0.0993	0.1442	0.0208
DWT-L-DFT-VS-TBM-VOC	0.8433	0.069	0.1086	0.0118
L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8458	0.0661	0.1045	0.0109
BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8420	0.0664	0.106	0.0112
DWT-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8541	0.0657	0.1022	0.0104
DWT-BYA-DFT-VS-TBM	0.4300	0.1012	0.1538	0.0237
DWT-BYA-DFT-VS-VOC	0.8418	0.0679	0.1060	0.0112
DWT-BYA-VS-TBM-VOC	0.5915	0.0982	0.1444	0.0209
DWT-DFT-VS-TBM-VOC	0.8223	0.0691	0.1081	0.0117
DWT-L-BYA-DFT-TBM	0.3327	0.1054	0.1643	0.0270
DWT-L-BYA-DFT-VOC	0.8429	0.0688	0.1086	0.0118
DWT-L-BYA-DFT-VS	0.4177	0.1014	0.1551	0.0241
DWT-L-BYA-TBM-VOC	0.6272	0.0982	0.1436	0.0206
DWT-L-BYA-VS-TBM	0.3996	0.1055	0.1607	0.0258
DWT-L-BYA-VS-VOC	0.4409	0.1065	0.1552	0.0241
DWT-L-DFT-TBM-VOC	0.8324	0.0686	0.1082	0.0117
DWT-L-DFT-VS-TBM	0.4458	0.1005	0.1544	0.0238
DWT-L-DFT-VS-VOC	0.8432	0.0691	0.1097	0.0120
DWT-L-VS-TBM-VOC	0.4271	0.1061	0.1560	0.0243
L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8451	0.0663	0.1062	0.0113
L-BYA-DFT-VS-TBM	0.4230	0.1008	0.1546	0.0239
L-BYA-DFT-VS-VOC	0.8251	0.0693	0.1120	0.0125
L-BYA-VS-TBM-VOC	0.5897	0.0983	0.1447	0.0209
L-DFT-VS-TBM-VOC	0.8167	0.0693	0.1093	0.0119

Şekil 5.21’de destek vektör regresyonu kullanılarak hesaplanan değerler, 7 girişli örnek için modifiye kütle dengesi modeli (MKDM) ile hesaplanan emisyon değerleriyle karşılaştırılmaktadır. Yüzselsel hatalara bakıldığında sistemin maksimum hatasının % 35’in üzerine çıktığı gözlenmektedir.



Şekil 5.21 SVR sonuçları

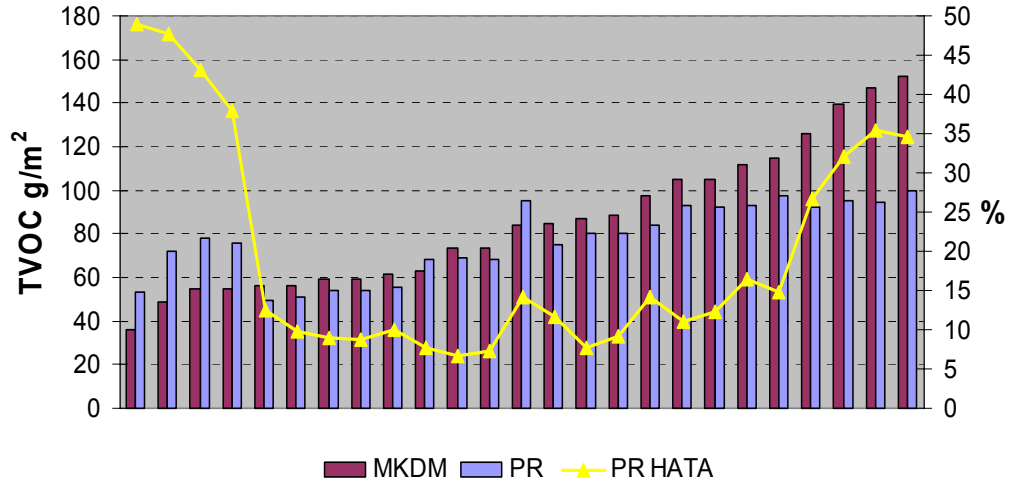
Şekil 5.22’de SVR çözümlerinde hesaplanan tüm kombinasyonlardaki ortalama karesel hatalar karşılaştırmalı olarak verilmektedir. En düşük ortalama karesel hatayı, 2 ve 1 numaralı çözümler vermektedir.



Şekil 5.22 SVR çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması

5.2.2.6 Pace Regresyon (PR) Yöntemi Sonuçları

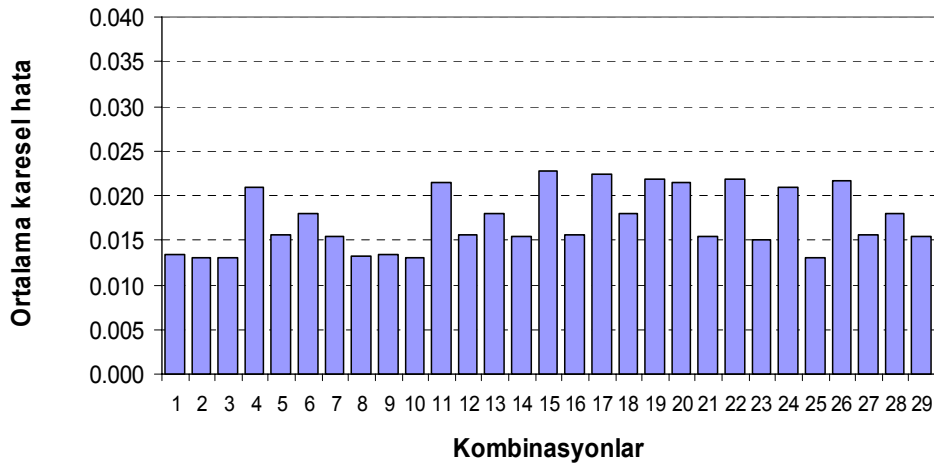
Şekil 5.23’ten görüldüğü üzere Pace regresyon emisyon tahmininde özellikle 50 g/m^2 ’den küçük değerlerin hesaplanmasında diğer yöntemlere göre daha başarısızdır. 7 girişli örnek için seçilen MKDM ile hesaplanan değerlerle hesaplanan değerler arasındaki fark ve hata oranları tüm yöntemlere göre daha fazla çıkmaktadır. 50 g/m^2 ile 110 g/m^2 aralığında maksimum hata % 15 civarında olmaktadır.



Şekil 5.23 PR sonuçları

Çizelge 5.11’de görüldüğü gibi Pace regresyonu metoduyla çözümlenme yapılarak m^2 başına tahmini VOC miktarı hesaplanmasında 0.7689 korelasyon oranıyla DWT-BYA-DFT-TBM-VOC girişleri, 0.7667 korelasyon oranıyla DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişleri en yüksek oranları vermektedir. Aynı şekilde diğer hata türlerinde de bu durum gözlenmektedir.

Şekil 5.24’te PR çözümlenmelerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması verilmektedir. PR yönteminde elde edilen ortalama karesel hatalar, yapay sinir ağları yöntemlerine göre daha yüksek çıkmaktadır. PR yönteminin uygulandığı kombinasyonlar kendi içinde değerlendirildiğinde, 2. ve 3. kombinasyonların ortalama karesel hatalarının diğer kombinasyonlara göre daha az olduğu gözlemlenmektedir.



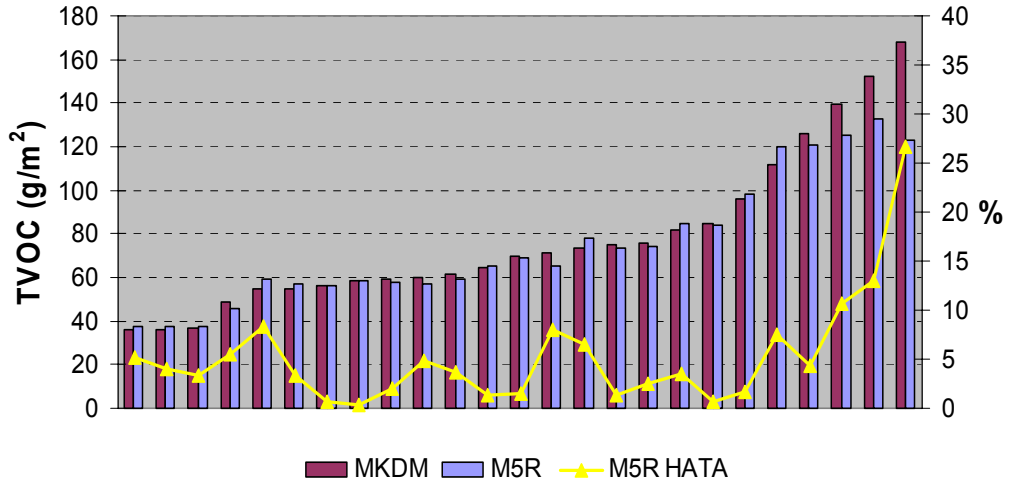
Şekil 5.24 PR çözümlenmelerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması

Çizelge 5.11 Pace Regresyon test kümesi sonuç tablosu

Giriş Değerleri	Korelasyon katsayıları	Ortalama mutlak hata	Ortalama karesel hatanın karekökü	Ortalama karesel hata
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.7574	0.0812	0.1157	0.0134
DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.7667	0.0805	0.1145	0.0131
DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.7666	0.0805	0.1145	0.0131
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM	0.4852	0.1075	0.1444	0.0209
DWT-L-BYA-DFT-VS-VOC	0.7149	0.0885	0.1247	0.0156
DWT-L-BYA-VS-TBM-VOC	0.5889	0.0986	0.1338	0.0179
DWT-L-DFT-VS-TBM-VOC	0.7068	0.0894	0.1242	0.0154
L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.7634	0.0808	0.1148	0.0132
BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.7576	0.0811	0.1157	0.0134
DWT-BYA-DFT-TBM-VOC	0.7689	0.0804	0.1141	0.0130
DWT-BYA-DFT-VS-TBM	0.4710	0.1066	0.1462	0.0214
DWT-BYA-DFT-VS-VOC	0.7149	0.0885	0.1247	0.0156
DWT-BYA-VS-TBM-VOC	0.5888	0.0986	0.1339	0.0179
DWT-DFT-VS-TBM-VOC	0.7069	0.0894	0.1242	0.0154
DWT-L-BYA-DFT-TBM	0.4653	0.1100	0.1507	0.0227
DWT-L-BYA-DFT-VOC	0.7149	0.0885	0.1247	0.0156
DWT-L-BYA-DFT-VS	0.4113	0.1101	0.1497	0.0224
DWT-L-BYA-TBM-VOC	0.5888	0.0986	0.1338	0.0179
DWT-L-BYA-VS-TBM	0.4529	0.1093	0.148	0.0219
DWT-L-BYA-VS-VOC	0.4530	0.1091	0.1465	0.0215
DWT-L-DFT-TBM-VOC	0.7069	0.0894	0.1242	0.0154
DWT-L-DFT-VS-TBM	0.4479	0.1077	0.1477	0.0218
DWT-L-DFT-VS-VOC	0.7319	0.0873	0.1223	0.0150
DWT-L-VS-TBM-VOC	0.4789	0.1093	0.1445	0.0209
L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.7645	0.0808	0.1145	0.0131
L-BYA-DFT-VS-TBM	0.4577	0.1041	0.1474	0.0217
L-BYA-DFT-VS-VOC	0.7149	0.0885	0.1247	0.0156
L-BYA-VS-TBM-VOC	0.5887	0.0986	0.1339	0.0179
L-DFT-VS-TBM-VOC	0.7064	0.0894	0.1242	0.0154

5.2.2.7 M5 Model Kuralları (M5R) Yöntemi Sonuçları

Çizelge 5.12 ve Şekil 5.25'te M5 model kuralları yöntemi sonuçlarını vermektedir. 0.8878 ve 0.8854 korelasyon oranları ile BYA-DFT-VS-TBM-VOC ve DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC en yüksek korelasyona ve en düşük ortalama karesel hataya sahip girişlerdir.



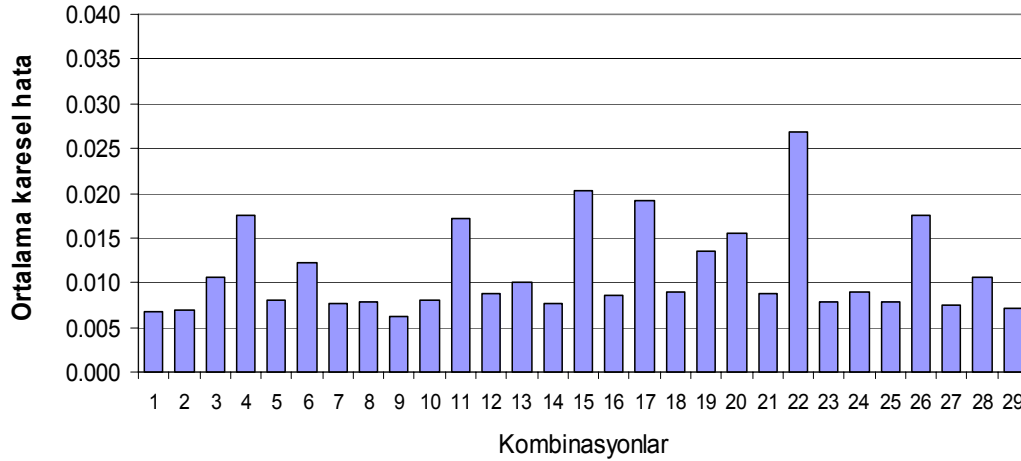
Şekil 5.25 M5R sonuçları

Çizelge 5.12 Model Kuralları test kümesi sonuç tablosu

Giriş Değerleri	Korelasyon katsayıları	Ortalama mutlak Hata	Ortalama karesel hatanın karekökü	Ortalama karesel hata
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8854	0.0474	0.0826	0.0068
DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8594	0.0518	0.0839	0.0070
DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.783	0.0685	0.1031	0.0106
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM	0.6199	0.0801	0.1326	0.0176
DWT-L-BYA-DFT-VS-VOC	0.8573	0.0527	0.0898	0.0081
DWT-L-BYA-VS-TBM-VOC	0.738	0.0852	0.1111	0.0123
DWT-L-DFT-VS-TBM-VOC	0.8702	0.051	0.0875	0.0077
L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8442	0.052	0.0885	0.0078
BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.8878	0.0476	0.0792	0.0063
DWT-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8387	0.0534	0.0895	0.0080
DWT-BYA-DFT-VS-TBM	0.6298	0.0791	0.1309	0.0171
DWT-BYA-DFT-VS-VOC	0.8202	0.0572	0.094	0.0088
DWT-BYA-VS-TBM-VOC	0.7986	0.0698	0.0998	0.0100
DWT-DFT-VS-TBM-VOC	0.8678	0.0489	0.0878	0.0077
DWT-L-BYA-DFT-TBM	0.5007	0.1086	0.1421	0.0202
DWT-L-BYA-DFT-VOC	0.8382	0.0527	0.0928	0.0086
DWT-L-BYA-DFT-VS	0.5924	0.0826	0.1383	0.0191
DWT-L-BYA-TBM-VOC	0.8272	0.0584	0.0941	0.0089
DWT-L-BYA-VS-TBM	0.7024	0.0808	0.1168	0.0136
DWT-L-BYA-VS-VOC	0.6531	0.0961	0.1243	0.0155
DWT-L-DFT-TBM-VOC	0.8367	0.0523	0.0938	0.0088
DWT-L-DFT-VS-TBM	0.2372	0.1135	0.1639	0.0269
DWT-L-DFT-VS-VOC	0.8442	0.0503	0.0887	0.0079
DWT-L-VS-TBM-VOC	0.6522	0.0949	0.0949	0.0090
L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8564	0.0482	0.0883	0.0078
L-BYA-DFT-VS-TBM	0.6276	0.0775	0.1321	0.0175
L-BYA-DFT-VS-VOC	0.8591	0.0564	0.0864	0.0075
L-BYA-VS-TBM-VOC	0.7836	0.0733	0.1028	0.0106
L-DFT-VS-TBM-VOC	0.8703	0.0494	0.0843	0.0071

Şekil 5.26'da M5R çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması

verilmektedir. M5R yönteminin uygulandığı kombinasyonlar kendi içinde değerlendirildiğinde, 1. ve 2. kombinasyonların ortalama karesel hatalarının diğer kombinasyonlara göre daha az olduğu gözlemlenmektedir. Toplam boya miktarı ve boyanın VOC değerlerinin bulunmadığı 22. kombinasyon ise en yüksek ortalama karesel hatayı vermektedir.



Şekil 5.26 M5R çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması

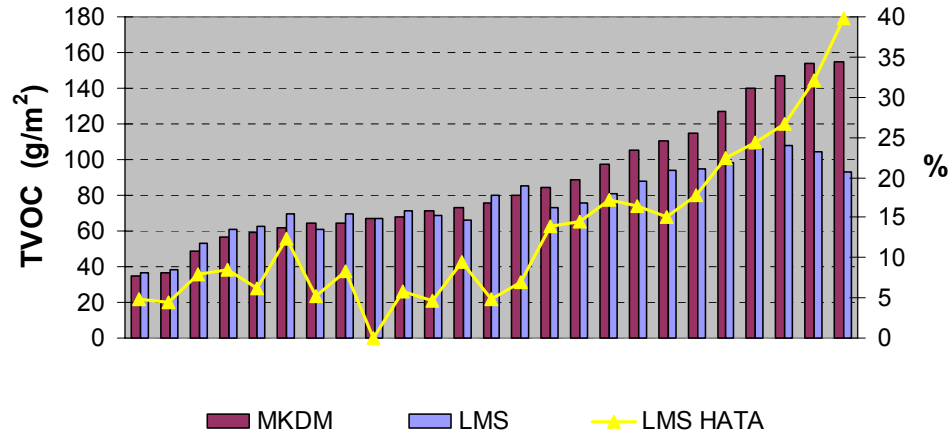
Çizelge 5.13’de tersanelerde kullanımı kolay olması amacıyla DWT-L-BYA-TBM girişli bir kombinasyon için oluşturulan kurallar verilmektedir. DWT-L-BYA-TBM girişli kombinasyon için oluşturulan kurallarda boyanın kuru film kalınlığı ve uçucu organik bileşik oranlarının ön plana çıktığı gözlemlenmektedir.

Çizelge 5.13 DWT-L-BYA-TBM girişi için oluşturulan kurallar

Kural	Denklem
TBM > 181.55 BYA ≤ 2507	$TVOC(g/m^2) = 0.0002 * DWT - 0.0271 * L - 0.0354 * BYA + 0.1537 * TBM + 84.0587$
	$TVOC(g/m^2) = 0.0025 * DWT - 0.7958 * L - 0.0008 * BYA + 0.0082 * TBM + 126.6134$

5.2.2.8 En Küçük Ortalama Kareler Yöntemi (LMS) Sonuçları

Çizelge 5.14 ve Şekil 5.27 en küçük ortalama kareler yöntemi sonuçlarını içermektedir. Şekil 5.26’da görüldüğü üzere VOC miktarları büyüdükçe hata oranı da büyümektedir. MLP ve RBF’e göre hata oranları yüksek seyretmektedir. Bu da modellemenin başarısını azaltmaktadır.



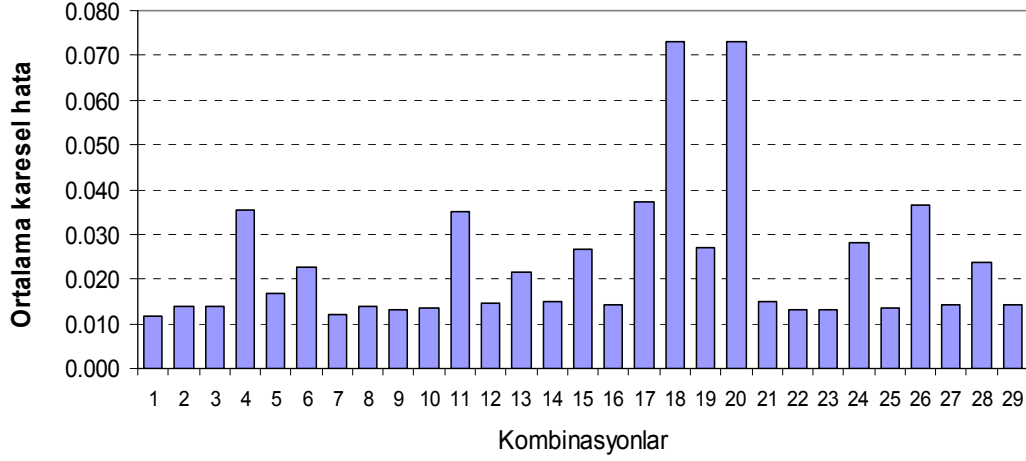
Şekil 5.27 LMS sonuçları

Çizelge 5.14'te 0.8279 korelasyon oranı ile DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC girişinin en yüksek korelasyona sahip olduğu görülmektedir. VOC girişinin bulunmadığı çözümlenelerde korelasyon oranları düşük çıkmaktadır. Yüzey alanı başına VOC değerlerinin yüksek olduğu verilerin tahmininde hata oranları diğer yöntemlere göre de yüksek çıkmaktadır.

Çizelge 5.14 En küçük ortalama kareler yöntemi test kümesi sonuç tablosu

Giriş Değerleri	Korelasyon katsayıları	Ortalama mutlak Hata	Ortalama karesel hatanın karekökü	Ortalama karesel hata
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.7754	0.0648	0.108	0.0117
DWT-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.7842	0.0699	0.1174	0.0138
DWT-L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.8279	0.0689	0.1171	0.0137
DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM	0.4081	0.1027	0.1882	0.0354
DWT-L-BYA-DFT-VS-VOC	0.6592	0.0789	0.1297	0.0168
DWT-L-BYA-VS-TBM-VOC	0.4538	0.1089	0.1505	0.0227
DWT-L-DFT-VS-TBM-VOC	0.8182	0.0662	0.1100	0.0121
L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.7844	0.0698	0.1175	0.0138
BYA-DFT-VS-TBM-VOC	0.7942	0.0685	0.1150	0.0132
DWT-BYA-DFT-TBM-VOC	0.7881	0.0695	0.1167	0.0136
DWT-BYA-DFT-VS-TBM	0.3816	0.1053	0.1877	0.0352
DWT-BYA-DFT-VS-VOC	0.7309	0.0726	0.1203	0.0145
DWT-BYA-VS-TBM-VOC	0.4555	0.1107	0.1468	0.0216
DWT-DFT-VS-TBM-VOC	0.7341	0.0733	0.1220	0.0149
DWT-L-BYA-DFT-TBM	0.3402	0.106	0.1638	0.0268
DWT-L-BYA-DFT-VOC	0.8129	0.0709	0.1196	0.0143
DWT-L-BYA-DFT-VS	0.3861	0.1058	0.1935	0.0374
DWT-L-BYA-TBM-VOC	0.4633	0.1046	0.2706	0.0732
DWT-L-BYA-VS-TBM	0.3500	0.1057	0.1647	0.0271
DWT-L-BYA-VS-VOC	0.4633	0.1046	0.2706	0.0732
DWT-L-DFT-TBM-VOC	0.7931	0.0718	0.1216	0.0148
DWT-L-DFT-VS-TBM	0.8036	0.0680	0.1152	0.0133
DWT-L-DFT-VS-VOC	0.8036	0.0680	0.1152	0.0133
DWT-L-VS-TBM-VOC	0.2643	0.1113	0.1678	0.0282
L-BYA-DFT-TBM-VOC	0.7880	0.0693	0.1165	0.0136
L-BYA-DFT-VS-TBM	0.3966	0.1041	0.1908	0.0364
L-BYA-DFT-VS-VOC	0.7993	0.0709	0.1190	0.0142
L-BYA-VS-TBM-VOC	0.4294	0.1098	0.1541	0.0237
L-DFT-VS-TBM-VOC	0.7369	0.0716	0.1201	0.0144

Şekil 5.28’de LMS çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması verilmektedir. yapay sinir ağları yöntemlerine göre ortalama karesel hatalar daha yüksek çıkmaktadır.



Şekil 5.28 LMS çözümlerinde ortalama karesel hataların karşılaştırılması

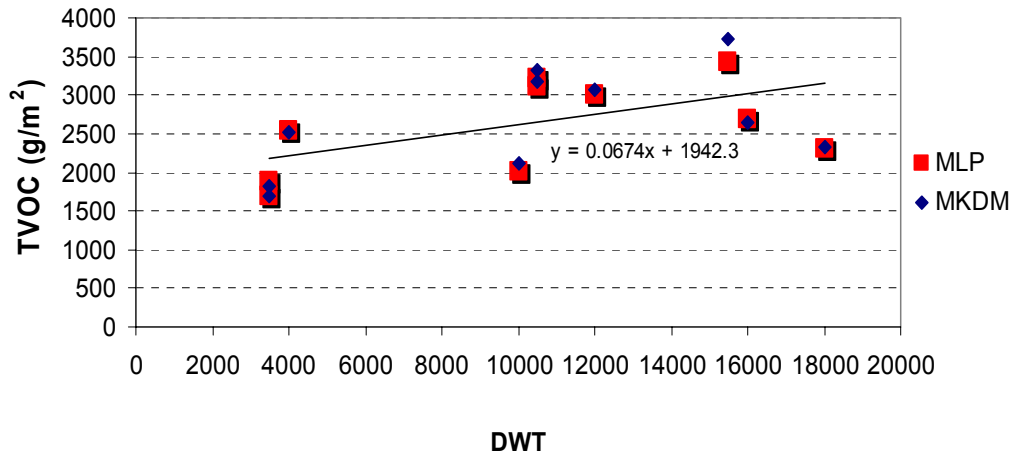
Yapılan çalışmada tüm modeller için 29 farklı kombinasyon denenmiş ve tüm çalışmalar içinden her bir yöntemden 7 girişli kombinasyon seçilerek Çizelge 5.15’te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde gemi üretiminde boya prosesinden kaynaklanan VOC emisyonu tahmin modeli olarak korelasyonların en yüksek çıktığı MLP, RBF ve model ağaçları çözümlerinin kullanılması uygundur. Veri ailesi geliştirilerek ve yeni parametreler eklenerek modeller daha verimli hale getirilebilmektedir.

Çizelge 5.15 DWT-L-BYA-DFT-VS-TBM-VOC girişi için test kümesi ortak sonuç tablosu

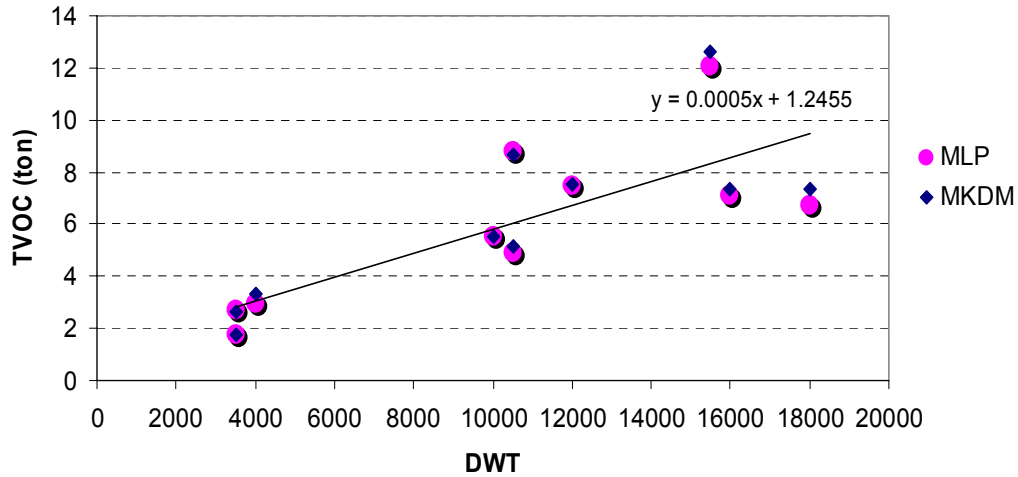
Yöntem	Korelasyon katsayıları	Ortalama mutlak Hata	Ortalama karesel hatanın karekökü	Ortalama karesel hata
RBF	0.9438	0.0238	0.0525	0.0028
MLP	0.9143	0.0549	0.0737	0.0054
M5R	0.8854	0.0474	0.0826	0.0068
M5	0.8743	0.0490	0.0827	0.0068
SVR	0.8568	0.0654	0.1035	0.0107
LMS	0.7754	0.0648	0.1080	0.0117
PR	0.7574	0.0812	0.1157	0.0134
SLR	0.4530	0.1091	0.1465	0.0215

RBF, MLP, M5 ve M5R modelleri diğer yöntemlere göre daha başarılı olduklarından, bu modeller tersanelerde uygulayıcılara kolaylık sağlayacak yöntemlerdir. Bundan sonra yapılan çalışmalarda bu dört yöntem üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan ilk çalışmada, gemilerin boyanan tüm yüzeylerinin emisyonları, modifiye kütle dengesi modeli (MKDM) ile RBF,

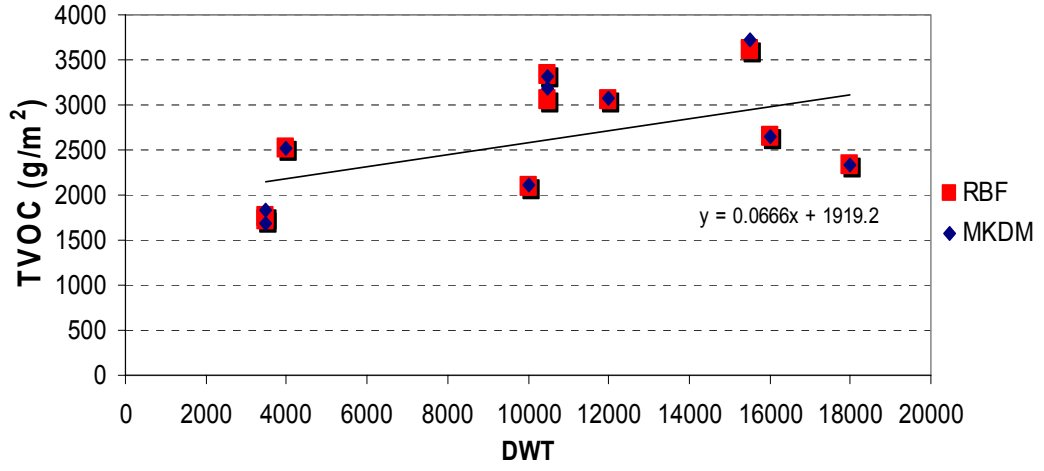
MLP, M5 ve M5R modelleri ikili olarak, DWT bazında karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada öncelikle geminin boyanmasından ortaya çıkan toplam emisyon değeri, (TVOC) g/m^2 cinsinden, daha sonrasında da ton cinsinden hesaplanarak MKDM ve diğer akıllı sistem modelleri karşılaştırılmıştır. Boya firmaları ve tersanelere yönelik kullanım kolaylığı düşünülerek, Şekil 5.29'dan Şekil 5.36'ya kadar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da MKDM ve MLP ile yapılan emisyon tahminleri verilmektedir. MLP ile yapılan emisyon tahminleri incelendiğinde MKDM ile gemi başına yapılan toplam emisyonların hesaplanmasında elde edilen sonuçların birbirine yakın çıktığı gözlenmiştir. Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de MKDM ve RBF ile yapılan emisyon tahminleri verilmektedir. Şekil 5.33 ile Şekil 5.36 arasında aynı karşılaştırma M5R ve M5 için yapılmıştır.



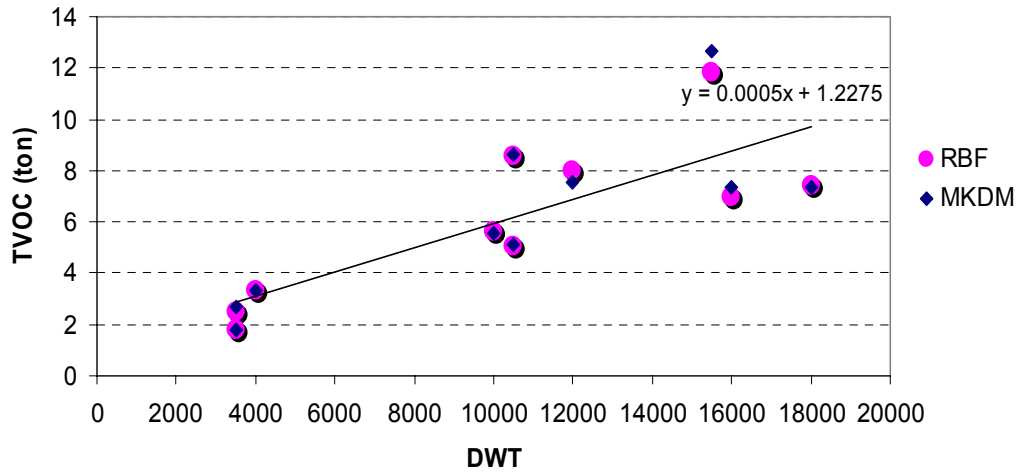
Şekil 5.29 DWT'a göre MKDM ve MLP ile hesaplanan m^2 başına TVOC emisyonları



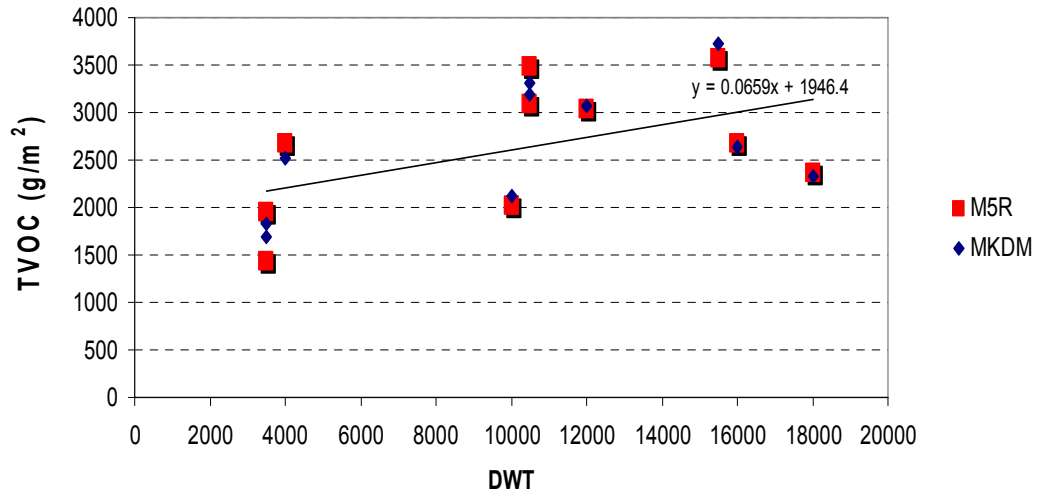
Şekil 5.30 DWT'a göre MKDM ve MLP ile hesaplanan TVOC emisyonları



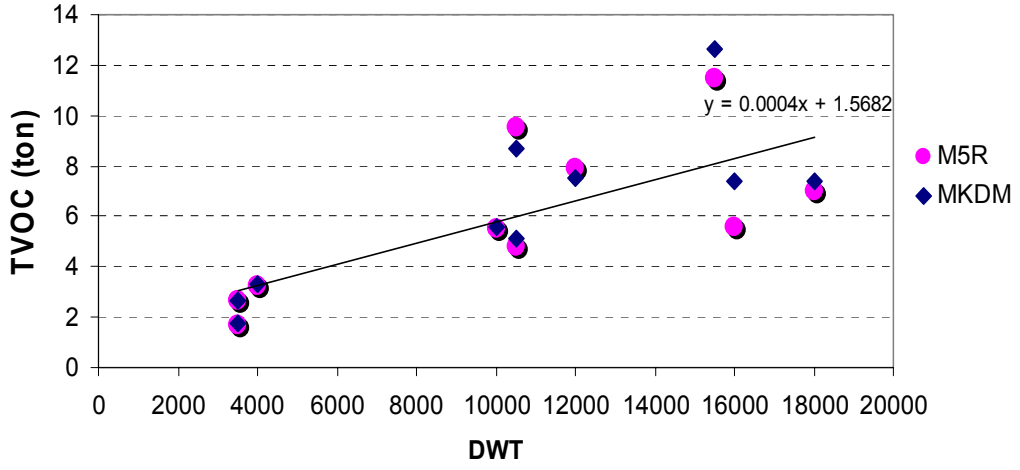
Şekil 5.31 DWT'a göre MKDM ve RBF ile hesaplanan m² başına TVOC emisyonları



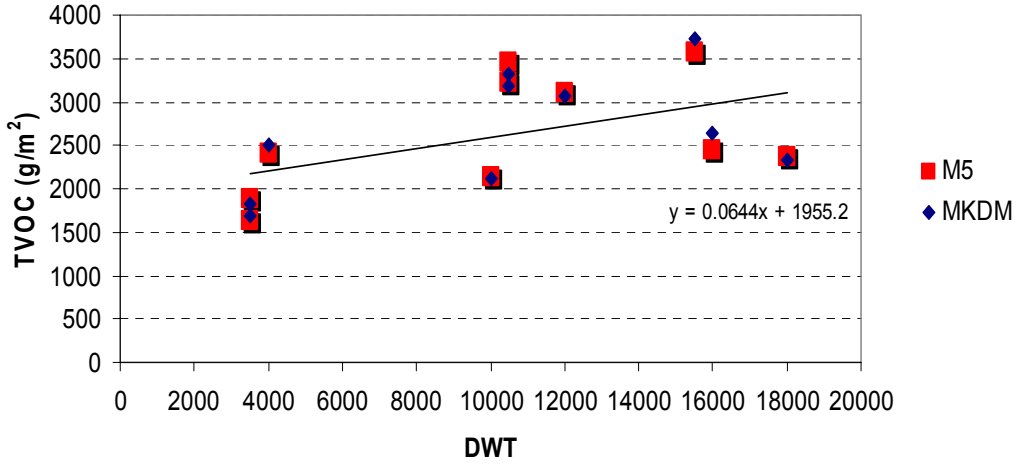
Şekil 5.32 DWT'a göre MKDM ve RBF ile hesaplanan TVOC emisyonları



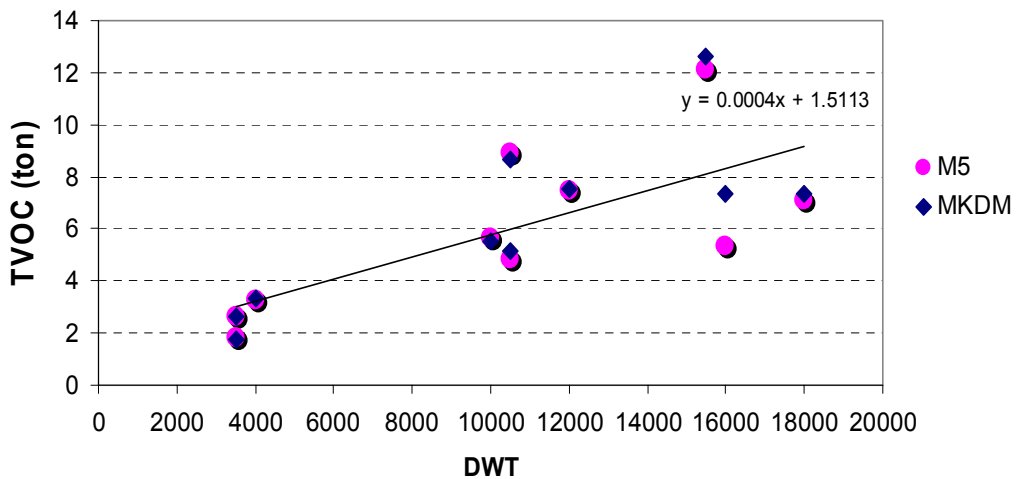
Şekil 5.33 DWT'a göre MKDM ve M5R ile hesaplanan m² başına TVOC emisyonları



Şekil 5.34 DWT'a göre MKDM ve M5R ile hesaplanan TVOC emisyonları



Şekil 5.35 DWT'a göre MKDM ve M5 ile hesaplanan m² başına TVOC emisyonları



Şekil 5.36 DWT'a göre MKDM ve M5 ile hesaplanan TVOC emisyonları

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda kullanılan dört yöntemin de tersaneler tarafından emisyon

tahminlerinde kullanabileceği başarılı modellerdir.

Bir sonraki çalışmada bu dört emisyon tahmin modeli ile 12.000 DWT'luk geminin emisyonları tahmin edilmiştir. Veri ailesinde bulunan on geminden bir tanesi test verisi olarak ayrılmıştır. Bu çalışma ile sadece bir gemiye ait test verileri ile ne kadar başarılı olunacağı karşılaştırılmıştır. On gemiye ait 354 adet veriden, 12.000 DWT'luk gemiye ait 47 adet veri ile 47 x 7'lik test veri matrisi oluşturulmuştur. Geriye kalan 307 adet veri ile eğitim kümesi oluşturulmuştur. Tüm yapılan çalışmalar sonucunda, dört modelde de 7 girişli kombinasyon ile çözümlene yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.16'da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.16 12.000 DWT'luk geminin karşılaştırmalı sonuçları

Yöntem	Korelasyon Katsayıları	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hatanın Karekökü	Ortalama Karesel Hata
M5R	0.9521	0.0389	0.0531	0.00282
MLP	0.9504	0.0430	0.0568	0.00322
M5	0.9501	0.0413	0.0521	0.00271
RBF	0.9486	0.0469	0.0626	0.00391

Yapılan modelleme çalışmalarında 12.000 DWT'luk geminin 7 girişli kombinasyon ile çözümlene yapılması durumu korelasyon katsayıları açısından karşılaştırıldığında, M5R'nin diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu gözlenmektedir. Ortalama karesel hatalar yönünden karşılaştırma yapıldığında M5'in diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu söylenebilir. Dört yöntem, ortalama karesel hatalar yönünden karşılaştırıldığında, M5 < M5R < MLP < RBF olduğu görülmektedir. Yapılan diğer modelleme çalışmaları ile sadece 12.000 DWT'luk geminin verilerinin test verileri olarak kullanıldığı yöntemler karşılaştırıldığında ise, hataların dağılımı ve karşılaştırması Çizelge 5.17'de verilmektedir. Karşılaştırmada (1) olarak verilen yöntemler, on geminin verilerinin test verileri olarak rastgele olarak kullanıldığı yöntemlerin, (2) olarak verilen yöntemler ise sadece 12.000 DWT'luk gemilerin verilerinin test verilerini oluşturduğu yöntemlerin sonuçlarını vermektedir.

Çizelge 5.17 iki model için karşılaştırmalı sonuçlar

	M5R(1)	M5R(2)	MLP(1)	MLP(2)	M5(1)	M5(2)	RBF(1)	RBF(2)
Korelasyon Katsayıları	0.8854	0.9521	0.9143	0.9504	0.8743	0.9501	0.9438	0.9486
Ortalama Mutlak Hata	0.0474	0.0389	0.0549	0.043	0.049	0.0413	0.0238	0.0469
Ortalama Karesel Hatanın Karekökü	0.0826	0.0531	0.0737	0.0568	0.0827	0.0521	0.0525	0.0626
Ortalama Karesel Hata	0.0068	0.00282	0.0054	0.00322	0.0068	0.00271	0.0028	0.00391

Hataların düşmesinin en önemli nedeni, ilk modellemelere göre eğitim verilerinin fazlaşması ve test verilerinin azalmasıdır. Ancak burada önemli olan tüm veri ailesinin genişletilmesi, bu sayede eğitim ve test verilerinin arttırılmasıdır.

Tersanelerde boyama proseslerinden oluşan emisyonların tahmininde yapay sinir ağı yöntemleri daha başarılı olurken, RBF tüm modeller içerisinde en başarılı yöntemdir. Girişlerde boyanın özelliklerinin bulunduğu ve özellikle VOC girişinin bulunduğu çözümlerler daha başarılı olmaktadır.

Yapılan çalışmalarda emisyon tahminlerinin akıllı sistemlerce modellenbildiği görülmektedir. Akıllı sistemlerin emisyon tahminlerinde de kullanılabilmesi son derece önemlidir. Bu sistemlerdeki geliştirmeler ile modellemeler daha da kararlı hale gelebilecektir. Akıllı sistemlerde diğer yöntemlerle yapılacak kombine çalışmalarla sistemin güvenilirliği daha da arttırılabilmektedir. Emisyonların tahmin edilebilir ve ilerisi için öngörülebilir olması, emisyon izleme, ölçme ve azaltma maliyetlerinin de düşmesine neden olacaktır.

6. SONUÇLAR

Endüstriyel sistem içinde artık yararlı olmayan çıktılar, sistem dışında ekonomik herhangi bir değere de sahip değilse endüstriyel atık olarak değerlendirilir. Geçtiğimiz yüzyılda endüstrileşmede yaşanan hızlı ilerlemeler beraberinde endüstriyel atık üretimini de artırmış ve çevre yani toprak, su, hava ve doğrudan insan sağlığı açısından geri dönüşü mümkün olmayan hasarlara sebep olmuştur. Endüstriyel kirliliğin yakın tarihteki en önemli örneklerinden biri, İngiltere’de yakıt olarak kömürün kullanılması yüzünden hava kirliliğinin artması ve 1952 yılında şehir üzerindeki durgun hava şartlarından dolayı parçacıklar ve SO₂ birikmesi yüzünden 4000 kişinin hayatını kaybetmesidir. Aradan uzun yıllar geçtikten sonra, 20. yüzyılın sonlarına doğru yapılan düzenlemelerle kirletici seviyelerinin kontrolüne olanak sağlanmıştır (Constant, 2002).

Karmaşık yapısı ve içerdiği prosesler açısından ağır endüstri kapsamına giren gemi üretim ve tamirinde oldukça yüksek oranda endüstriyel atık üretilmektedir. Ancak ülkemizde henüz olması gerektiği şekilde çevre bilinci oluşmadığından endüstriyel atık kavramı üzerine çok fazla eğilinmemiş ve gelişmiş ülkelerde yapılan gerekli düzenlemeler tam olarak gerçekleşmemiştir. Doğal olarak gemi üretimi ve tamir-bakımının yapıldığı tersanelerimizde de bu konu üzerinde ciddi çalışmalar yapılamamıştır. Tezin giriş bölümünde uluslar arası alanda bu konuda yapılmış çalışma ve düzenlemelere değinilmiştir. İkinci bölümde ise gemi üretiminde ve tamir-bakımında uygulanan prosesler, bunların oluşturduğu atıklar ve atık oluşumunu azaltabilecek bazı alternatif üretim biçimleri ve kullanılacak gelişmiş ekipman türleri incelenmiştir. Tersanede kullanılan prosesler temel endüstriyel proseslerden farklı değildir. Kullanılan ana prosesler kesme, metal işleme, yüzey temizleme, birleştirme, boya vb, atık açısından oldukça üretken prosesler olup, bu proseslerin atıkları tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedir.

Yapılan detaylı incelemeler sonucunda yüzey işleme yöntemlerinden biri olan raspa, birleştirme işlemlerinden olan kaynak ve boyama işlemlerinin en fazla atık ürettiği ve bu atıkların partikül ve VOC emisyonu olarak çevreyi kirlettiği görüldüğünden bu üç yöntem üzerinde durulmuştur.

Gemi inşaatı ve onarımı endüstrisinde raspalama; eski boya, pas tabakası, deniz organizmaları, kir ve tuz gibi diğer yüzey kirleticilerini yüzeyden çıkartmak için başvurulan en yaygın yüzey hazırlama tekniğidir.

Raspa işleminin temel prensibi, raspa malzemesinin temizlenecek yüzeye püskürtülerek

çarpışma enerjisi ve ısı ile boya parçalarının sökülmesidir. Boya parçaları ile birlikte raspa malzemesi de parçalanarak kirletici toz şeklinde ortama yayılır (Muleski ve Jason, 2006).

Raspa malzemesi olarak, özellikleri 3.1.1.1 Bölümü'nde detaylı olarak verilmiş olan, silika kumu, kömür cürufu, bakır cürufu, nikel cürufu, demir oksit hematit, metal oksitler, alüminyum oksit, garnet, cam kürecikler, cam grit, geridönüşümlü cam, olivin, storelit, plastik aşındırıcılar, sodyumbikarbonat, organik malzemeler, metalik grit ve bilyeler kullanılır.

Raspa işlemlerinden sonra ortama büyük miktarda atık çıkar. Kullanılan aşındırıcı raspa malzemesi çoğu yüzeyden sökülen kurşun, selenyum, arsenik, baryum, gümüş, kadmiyum ve krom içeren ve tehlikeli atık sınıfına giren boya parçacıklarını da içerir.

Aşındırıcının ve yüzeyden sökülen boya parçalarının oluşturduğu hava emisyonları da oldukça önemlidir. Partikül emisyonları genelde çevreye ve insan sağlığına zararlı toksik malzeme içerirler. Uçucu organik bileşikler ise solvent temizleyicilerden, boya sökücülerden ve yağ gidericilerden ortaya çıkmaktadır.

Bölüm 3.1.2'de raspa işleminin atıklarını azaltma ve önleme için uluslararası uygulamalara da bakılarak alternatif çözümler önerilmiştir. Özellikle kullanılan raspa malzemelerinin alternatifi olarak kuru buz, sünger medya ve cam kullanımı teşvik edilmeli ve arttırılmalıdır.

Gemi üretimindeki ana proseslerden biri olan kaynak türleri ve kaynak işleminde kullanılan malzemeler Bölüm 3.2'de anlatılmıştır. Tersanelerde en çok kullanılan kaynak yöntemi elektrik ark kaynağı yöntemi olup, TIG ve plazma, örtülü elektrod, gazaltı ve tozaltı yöntemleri şeklinde uygulanmaktadır.

Kaynak prosesi, ısıl prosesleri de içerdiğinden dolayı, işçilerin yüksek sıcaklıklara maruz kalması, oluşan kaynak dumanı ve elektriksel donanımların fazlalığı iş sağlığı ve güvenliği açısından son derece önemli bir durumdur. Elektrod eridiği zaman ortaya çıkan dumanda pek çok metal partikül bulunmaktadır. Bunun yanı sıra eriyen ana metaldeki oksit tabakası da bu dumana karışmaktadır. Kaynak işlemi başlı başına tehlikeli durumlar içermektedir. Sıcaklık, akı, radyasyon, gürültü, duman, gazlar, elektrik akımı, kaynak dumanı içerisindeki kimyasal tehlikeli içerikli gazlar, hem çalışan hem de çevre açısından son derece tehlikeli durumlar yaratabilmektedir. Kaynak dumanının kanser yaptığı konusunda kesin bulgular olmamakla beraber yapılan çalışmalarda etkisinin olduğu kesinleşmiştir (NIOSH, 2002).

Bölüm 3.2.2.1'de kaynak işleminde kullanılan elektrotların herhangi bir enerji ile eridiklerinde havaya emisyon bıraktıklarından, bu emisyon maddelerinin özelliklerinden ve

oluşum mekanizmalarından, partikül maddelerin özelliklerinden ve tehlikelerinden söz edilmiş, ayrıca Bölüm 3.2.2.2 Katı Atıklar başlığı altında kaynak prosesinden açığa çıkan toz, cüruf, eriyik vb, atıklardan bahsedilmiştir. Kaynak işlemlerinde atıkları azaltmak için alternatif çözümler Bölüm 3.2.3'te 21 madde halinde sıralanmıştır. Bu proses için prodüktiviteyi önemli ölçüde arttıran portatif kaynak robotlarının kullanımı, kaynak dumanının azaltılmasının yanı sıra ekonomiklik ve kaynak hassasiyeti açısından da önerilmektedir (Sagatun ve Kjelstad, 1995, Hewett, 1995a, 1995b, Auriol vd. 1999).

Gemi üretiminde uygulanan diğer proses, gemi yüzeyini korozyondan, gemi direncini arttıracak canlıların gemi yüzeyine yapışmasından korumak ve dekoratif amaçlı olarak uygulanan boyamadır. Boyama, tersanede çelik sacların ve profillerin tersaneye gelmesinden denize indirilmesine kadar geçen sürede imalatın hemen hemen her aşamasında uygulanan bir prosestir. Açık ve kapalı alanlarda mekanik ya da elle uygulanabilmektedir. Bölüm 3.3.1'de boyama işlemi, boya tipleri ve özellikleri, fouling olayı, atık açısından tehlikeli olduğu bilinen ve kullanımı 2003 yılından itibaren yasaklanmış olan antifouling boyaların özellikleri ve zararları incelenmiştir.

Boya atıkları bir tersanede üretilen en önemli tehlikeli atıklardan biridir. Ortalama bir tersanede üretilen tehlikeli atığın yarısından fazlası boyama işlemlerinden sonra oluşmaktadır. Boya atıkları artık boya, fazladan spreyleneş boya, artık haldeki boya, bezler ve boya bulaşmış diğer maddelerdir (Vardar, 2004).

Tersanelerde yeni gemi inşaatı ve onarımı sırasında, boyama prosesinden çok miktarda alifatik veya aromatik yapıda, atmosferde fotokimyasal reaksiyon ile hava kirliliğine neden olan, sera gazları oluşturarak ozon tabakasına zarar veren ve küresel ısınmanın nedenlerinden sayılan VOC emisyonları açığa çıkmaktadır. Genellikle ksilen, toluen, etilbenzen, bütil alkol, etil alkol, metanol, metil etil keton, metil izobütin keton, etilen glikol ve glikol eterleri formlarında bulunmaktadır. Bütün bu VOC formları akciğer hasarlarına ve pek çok solunum problemlerine ve hastalıklarına neden olmaktadır. Bu proses için atıkları azaltma ve önlemede önerilen alternatif çözümler Bölüm 3.3.3'te maddeler halinde verilmiştir. Havalandırma sistemi bulunan kabinlerin kullanılması atıkların ve zararlarının en aza indirilmesi için basit ve ekonomik çözüm olarak uygun görülmüştür.

Tersanelerde yeni gemi inşaatı ve bakım ve onarımının her ikisinde birden yer alan üç ana proses (yüzey hazırlama, kaynak ve boya) çoğu tehlikeli atık sınıfında değerlendirilen, bertaraf edilmesi zorunlu, kirlletici atıkların oluşmasına neden olmaktadır. Yapılan tüm

çalışmalar tersanelerde uygulanan işlemlerin hepsinden kirletici atık çıktığını göstermektedir. Türkiye tersanelerinde de gemi üretimi için aynı prosesler kullanıldığına göre aynı atıklar karşımıza çıkmaktadır. Bu konuda çözüm üretilebilmesi için öncelikle ortaya çıkan kirletici emisyonların belirlenmesi gerekir. Gelişmiş ülkelerde emisyonların azaltılması konusunda yapılan çalışmalara temel oluşturmak amacıyla emisyon tahmin modelleri geliştirilmekte ve geliştirilmeye devam edilmektedir. ABD’de emisyon tahminleri üzerine çalışan en büyük kurum Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından emisyonların hesaplanabilmesi için sektörel bazda raporlar hazırlanmaktadır. Avustralya Hükümeti Çevre Bakanlığı hazırlamış olduğu NPI (National Pollution Inventory) Emission Estimation Technique Manuel for Shipbuilding Repair and Maintenance (Gemi inşaatı ve onarımında emisyon tahmin teknikleri) kitabı ve emisyon tahminleri konusunda sektörel bazda raporlar yayımlanmıştır. AB ülkeleri de koydukları kurallar ile çevreye yayılan emisyonlara kısıtlamalar ve ceza uygulamaları başlatmıştır. Türkiye’de de Çevre ve Orman Bakanlığı bünyesinde bu tip çalışmalar başlatılmış ancak tam olarak sektörel baza inilmemiştir.

Günümüze kadar raspa, kaynak ve boya işlemlerinden kaynaklanan emisyon tahmin modellerinin literatürde yer alan bazıları sırasıyla, Bölüm 4.1, 4.2 ve 4.3’te yer almaktadır. Boya işleminden kaynaklanan emisyon tahmin modelleri için, kütle dengesi, kaynak örnekleme, tahmini emisyon izleme ve emisyon faktörleri yöntemleri kullanılmaktadır. Boya işleminden kaynaklanan VOC emisyonunun hesaplanması için, üçüncü bölümde yer alan Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi kütle dengesi yöntemi önerilmektedir (NPI, 1999a, EPA AP-42, 2001, NPI, 1999b). Bu yöntemde boyama prosesinden açığa çıkan toplam VOC emisyonu miktarı yıllık olarak bulunmaktadır.

Bu çalışmanın beşinci bölümünde yeni emisyon tahmin modellerinin oluşturulması üzerinde durulmuştur. Bu amaçla iki yeni model geliştirilmiştir. Bunlardan birincisi Bölüm 5.1’de detaylı olarak anlatılmış ve yeni kütle dengesi modeli olarak adlandırılmıştır. Bu modelde herhangi bir geminin, herhangi bir yüzeyine uygulanan herhangi bir boyadan açığa çıkan VOC bileşimi içindeki herhangi bir kirleticinin birim alan başına gram olarak miktarı hesaplanabilmektedir. Model, geminin her bölgesi için ve farklı boya türleri kullanıldığında açığa çıkacak VOC emisyonlarını, toplam VOC emisyonlarını ve yıllık VOC emisyonlarını hesaplayabilmektedir.

Modifiye edilen kütle dengesi modeli, 3500 DWT’luk bir tanker ve 3500 DWT’luk bir genel kargo gemisinin boyama işlemi için uygulanmış ve sonuçlar Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3’te verilmiştir. Şekil 5.4’te ise Tuzla tersanelerinde 2005 ve 2006 senelerinde üretilen gemilere

ait verilere göre [6] toplam VOC miktarlarının ton olarak hesaplanmış değerleri görülmektedir. Aynı grafikte gelecek projeksiyonu yapılarak 2010 yılında toplam VOC miktarının 3500 tona yaklaşacağı da görülmektedir.

İkinci model, VOC emisyonlarının hesaplanması için akıllı sistem modeli de denilen, makine öğrenmesi modellerinin kullanıldığı tahmin yöntemidir. Bunun için literatürde yer alan yapay sinir ağları yöntemi, en küçük ortalama kareler yöntemi, basit lineer regresyon yöntemi, pace regresyon yöntemi ve model ağaçları yöntemi kullanılmıştır. Bu modellerle ilgili bilgiler, Bölüm 5.2.1 Makine Öğrenmesi Modeli başlıklı bölüm içinde anlatılmıştır. Yukarıda sözü geçen modeller on farklı geminin verileri kullanılarak uygulanmıştır. Yapay sinir ağları metodunun MLP ve RBF olmak üzere iki farklı alt model kullanılmıştır. Her bir modelde gemi tonajı (DWT), gemi boyu (L), boyanan yüzey alanı (BYA), boyanın kuru film kalınlığı (DFT), boyanın katı madde oranı (VS), toplam uygulanan boya miktarı (TBM), boyanın VOC oranı (VOC), 29 ayrı kombinasyonla giriş değeri olarak kullanılmış ve her bir modelin için yirmi dokuzar kere hesap yapılmıştır. Çizelge 5.2'den Çizelge 5.14'e kadar her modelin ve her kombinasyonun korelasyon katsayıları, ortalama karesel hataları, ortalama karesel hatalarının karekökü ve ortalama mutlak hataları verilmiştir. Bu modellerin sonuçları değerlendirildiğinde gemi üretiminde boya prosesinden kaynaklanan VOC emisyonu tahmin modeli olarak korelasyonların en yüksek çıktığı MLP, RBF ve model ağaçları çözümlerinin kullanılması uygundur. Akıllı sistemlerde diğer yöntemlerle yapılacak kombine çalışmalarla sistemin güvenilirliği daha da artırılabilir. Emisyonların tahmin edilebilir ve ilerisi için öngörülebilir olması, emisyon izleme, ölçme ve azaltma maliyetlerinin de düşmesine neden olacaktır.

Tersanelerde emisyon tahminlerinin kolaylıkla hesaplanabilmesi için makine öğrenmesi tabanlı hesaplama yöntemleri oldukça kullanışlı yöntemlerdir. Özellikle kullanıcının elinde az veri olması durumunda, model ağaçları yöntemi ile yaklaşık olarak gemi başına düşen VOC miktarları hesaplanabilmektedir. Sanayisi gelişmiş ülkelerde emisyon tahminlerinin önemi oldukça büyüktür. Gerek ABD gerekse AB ülkelerinde, yapılacak işler öncesinde çevresel etkilerin hesaplanması kurallara bağlanmıştır. ABD tersanelerinde emisyonların hesaplanması ulusal ve bölgesel kurallar ile yapılmakta ve emisyon değerleri günlük/aylık ve yıllık olarak değerlendirilmekte ve vergilendirilmektedir. Bunun da ötesinde işçi maruz kalma limitleri belirlenmekte ve emisyonlar izlenmektedir. Limitlerin aşılması durumunda işi durdurmaya kadar giden bir takım önlemler alınmaktadır. Gelişen teknoloji ile emisyonların izlenmesi kolaylaşmıştır ancak yine de bu yöntemlerin maliyeti yüksek olmakta ve işlemler zaman

almaktadır. Yapılan çalışmada emisyonların izlenmesi ve tahmin edilmesine yeni bir bakış açısı getirilmiştir. İşin başlangıcından önce, geminin ana boyutları ve harcanacak boya miktarları ve boya özelliklerinin bilinmesi ile deney veya direkt ölçüme gerek kalmadan emisyonlar modellenebilmekte ve işlem sonrası çıkacak emisyonlar büyük bir başarı ile tahmin edilmektedir. Uzun hesaplamalar gerektirmeyecek yöntemler, tersane kullanıcıları ve boya firmalarına, emisyon hesaplamaları sırasında büyük kolaylık sağlayacaktır. Sistemin daha verimli çalışması için veri ailesi sürekli geliştirilmelidir. Makine öğrenmesi modelleri pek çok teknolojik gelişme ile yeni alanlara uygulanabilmektedir. Tersanelerde emisyonların makine öğrenmesi yöntemleri ile tahmin edilmesi de oldukça yeni bir uygulama alanıdır. Yeni algoritmaların oluşturulması ile daha iyi modellemeler de yapılabilecektir.

Bu çalışmada, tersane üretim prosesleri ve atıkları detaylı olarak incelenmiş ve boya emisyonları için tahmin modelleri oluşturulmuştur. İnsanların bilinçlenmesi sayesinde çevre ve insana verilen önemin gün geçtikçe artması son derece sevindiricidir. Ancak ülkemizde, özellikle tersanelerde üretim yöntemlerine alternatif yöntemler kullanılması ya da kullanılan malzemelerin yerine geçebilecek çevreye ve insana daha az zarar veren alternatif malzemelerin kullanılması göz ardı edilen bir konudur. Bu çalışma sonrasında yapılacak çalışmalarda çevre ve insana duyarlı tersanelerin geliştirilebilmesi için alternatif üretim yöntemlerinin uygulanması, geleneksel malzeme ve hammaddeler yerine geçebilecek çevre dostu malzemeler kullanılması için yapılacaklar araştırılmalıdır. Bunun yanı sıra atık oluşumunun en aza indirgenmesi, geri kazanım, yeniden kullanım ya da organizasyon yapısında değişiklik seçenekleri araştırılmalıdır. Emisyon tahminleri konusu da sadece boya emisyonu tahminleri ile sınırlı kalmayıp, raspa ve kaynak yöntemleri için de emisyon tahmin modelleri geliştirilmelidir. Üretim proseslerinin insan sağlığına zarar vermeyecek hale getirilmesi, işe uygun kişisel koruyucu donanımların kullanılması son derece önemlidir. Tersanelerde çalışan işçilerin sağlığı üzerine yapılacak disiplinler arası çalışmalar teşvik edilmelidir. Tersanelerde atık ve emisyon oluşturan prosesler irdelenerek, ulusal kurallar ve emisyon standartları belirlenmeli ve daimi olarak izlenmelidir. Gelişmişliğin simgesinin çevreye ve insan sağlığına duyarlılıktan geçtiği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Akanlar, F.T., Celebi, U.,B., (2007), "LeaderSHIP 2015", Gemi ve Deniz Teknolojisi, 171, 19-33, 2007
- Alpaydın, E., (2004), "Introduction to Machine Learning", The MIT Press, 3-6.
- Austin, D., Benze, R., ve Kura, B., (2002), "Recent Advances in Closed Loop Abrasive Blasting," Ship Production Symposium, Boston, MA, September, 2002.
- Amasyali, M.F., Bal, M., Celebi, U.B., Ekinci, S. ve Boyaci, U.K., (2006), "Comparison of Different Neural Networks Performances on Motorboat Datasets", 21st International Symposium on Computer and Information Sciences ISCIS-2006, Istanbul, Türkiye, LNCS Volume 4263 Springer.
- Amasyalı M.,F., (2008), "Yeni Makine Öğrenmesi Metodları ve İlaç Tasarımında Uygulamaları", Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- Antonini, J.M., O'Callaghan, J.P. ve Miller, D.B., (2006a), "Development of an Animal Model to Study the Potential Neurotoxic Effects, Associated with Welding Fume Inhalation", Neuro Toxicology, 27:745–751
- Antonini, J.M., Santamaria, A B., Jenkins, NT., Ablini, E. ve Lucchini, R., (2006b) "Fate of Manganese Associated with the Inhalation of Welding Fumes: Potential Neurological Effects", NeuroToxicology, 27:304–310
- Antonini, J.M., Clarke, R.W., Murthy, G.G.K., Sreekanthan, P., Jenkins, N., Eagar, T. W. ve Brain, J.D., (1998), "Freshly Generated Stainless Steel Welding Fume Induces Greater Lung Inflammation in Rats as Compared to Aged Fume", Toxicology Letters 98: 77–86
- Asarkaya, M., (2004), "Tersanelerde Uygulanan ve Uygulanabilecek Kaynak Yöntemleri", Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu, 24-25 Aralık 2004, 252-267
- Ashcroft, P.L. ve Abel, D., (1999), "Process Water Treatment for the Removal of TBT in Ship Washdown Waste Waters", Wastewaters, Treatment of Regulated Discharges from Shipyards and Drydocks Proceedings of the Special Sessions Oceans '99, Washington, Volume No. (4), 73-75 ISBN No. 0-933957-24-6
- Ault, J.P. ve Stark, M., (1999) "Abrasive Blasting as an Alternative to Chromate Conversion Coating on 5086 Series Aluminum" Metal Finishing, 97 (7) :30-31+33(2)
- Auriol, E., Crowder, R.M., McKendrick, R., Rowe, R. ve Knudsen, T., (1999), "Integrating Case-based Reasoning and Hypermedia Documentation: An Application for the Diagnosis of a Welding Robot at Odense Steel Shipyard" Engineering Applications of Artificial Intelligence, 12:691±703
- Bal, M., Amasyali, M.F., Celebi, U.B. ve Ekinci, S., (2006), "Using Machine Learning Methods in the Computation of Engine Power of Motorboats and the Comparison of These Methods", Int. Conference on Modelling and Simulation -AMSE'06, Konya, Türkiye.
- Baoqing, D.B. ve Chang, N.K., (2004), "An Analytical Model For VOCs Emission from Dry Building Materials", Atmospheric Environment 38 (8):1173–1180.
- Blasko, G.J., Howser, B.C., ve Moniak, D.J. (1991), "Evaluation of the Hitachi Zosen Welding Robots for Shipbuilding" NSRP Project

- Bosworth, M.R. ve Deam. R.T., (2000) "Influence of GMAW droplet size on fume formation rate" *J. Phys. D: Appl. Phys.* 33:2605–2610
- Bhushan, D., (1988), "Paint Booth VOC Emission Reduction Through Air Recirculation". *Metal Finishing* 86 (5):51–55.
- Catharios, J.C., Bourdaniotis, N. ve Persoone, G. A., (2007), "New Simple Method With High Precision For Determining The Toxicity Of Antifouling Paints On Brine Shrimp Larvae (Artemia): First Results" *Chemosphere*, 67 (6):1127-1132
- Celebi, U., B. ve Vardar N., (2008), " Investigation of VOC Emissions from Indoor and Outdoor Painting Processes in Shipyards", *Atmospheric Environment*, 42(22):5685-5695
- Chaaban M., (2001) "Hazardous waste source reduction in materials and processing Technologies", *Journal of Materials Processing Technology*, 119(1-3):336-343
- Champ, M.A., (2000)," A Review of Organotin Regulatory Strategies, Pending Actions, Related Costs and Benefits", *The Science of the Total Environment*, 258:21-71
- Champ M A., (1999) "An Overview of the Science and Regulation of TBT and the Potential for Future Liability for Contaminated Harbor Sediments", *Treatment of Regulated Discharges from Shipyards and Drydocks Proceedings of the Special Sessions Oceans '99*, Washington, (4), 137-152 ISBN No. 0-933957-24-6
- Christodoulou J., (2005), "High Strength Steel Welding Research", Center for Welding, Joining and Coating Research, N00014-04-1-0156 May 27
- Chung, K.Y.K. ve Carter, G.J., (1996), "Breathing zone sampling of welding fume", *Journal of Aerosol Science*, 27(1):347-348(2)
- Constant, W.D., (2002), *Application of Life Cycle Assesment, Handbook of Pollution Control and Waste Minimization*, 321-326,
- Cunat, P.J. ve Pont, J.P., (2007), *Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Malzemeler ve Kullanımlar Serisi*, 3, ISBN 978-2-87997-179-7
- Çakaz, Ü.ve Uslusoy, A.,(2006) *VOC Uçucu Organik Bileşikler, Boya teknolojileri*, 82-87
- Çakır, M., (2005), "Firma Başarısızlığının Dinamiklerinin Belirlenmesinde Makine Öğrenmesi Teknikleri: Ampirik Uygulamalar ve Karşılaştırmalı Analiz", *Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası İstatistik Genel Müdürlüğü Ankara*
- Damodaran, N., Toll, J., Pendleton, M., Mulligan, C., DeForest, D., Kluck, M., Brancato, M.S., ve Felmy, J., (1999), "Cost Analysis of TBT Self-Polishing Copolymer Paints and Tin-Free Alternatives For Use On Deep-Sea Vessels", *Treatment of Regulated Discharges from Shipyards and Drydocks Proceedings of the Special Sessions Oceans '99*, Washington, 4:153-167 ISBN No. 0-933957-24-6
- Dennis, J.H., French, M.J., Hewitt, P.J., Mortazavi, S.B. ve Redding, C.A., (2002a)"Control of Occupational Exposure to Hexavalent Chromium And Ozone in Tubular Wire Arc-Welding Processes by Replacement Of Potassium by Lithium or by Addition of Zinc" *Ann Occup Hyg.* Jan;46(1):33-42.
- Dennis, J.H., French, M.J., Hewitt, P.J., Mortazavi, S.B. ve Redding, C.A., (2002b), "Control Of Exposure To Hexavalent Chromium and Ozone in Gas Metal Arc Welding of Stainless Steels by Use of a Secondary Shield Gas" *Ann Occup Hyg.* 2002;46(1):43-8.

- Dobson, L.D., (1996), "Life Cycle Assessment for Painting Processes: Putting the VOC Issue in Perspective". *Progress in Organic Coatings* 27 (1-4): 55-58.
- Dikicioğlu A., (2006), "Kaynaklı İmalat ve Tasarım", Mart 2006
- Eczacıbaşı, (2007), Örtülü Elektrod Kaynağı, Eczacıbaşı Lincoln Elektrik Teknik dökümanı
- Elbing, F., Anagreh, N., Dorn, L., Uhlmann, E., (2003), "Dry ice blasting as pretreatment of aluminum surfaces to improve the adhesive strength of aluminum bonding joints", *International Journal of Adhesion & Adhesives* 23 69-79
- Elmas, Ç., (2007), "Yapay Zeka Uygulamaları", Seçkin Yayıncılık, ISBN 978-975-02-0614-6
- Ersoy, A.E., (2004) "Enerji Üretimi Ve Gemi Tahrik Sistemlerinde Yapay Sinir Ağı Uygulamaları" Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi
- Ertürk, İ., (2008)Gazaltı Kaynak Yöntemleri, Nuriş Kaynak Makinaları Yayınları,
- Eryürek, İ.,B., (2007), "Çelikler için Örtülü Elektrod Seçimi", Kaynak teknolojisi , Askaynak,
- Evans, S.M., ve Nicholson, G.J., (1999), "Assessing the Impact of Antifouling Compounds in the Marine Environment. Lessons to be Learned From the Use and Misuse of Biological Indicators of TBT Contamination", *Treatment of Regulated Discharges from Shipyards and Drydocks Proceedings of the Special Sessions Oceans '99*, 4:193-196 ISBN No. 0-933957-24-6
- Fletcher, L.E., ve Lewis, J.A., (1999), "Regulation of Shipyard Discharges in Australia and the Potential of UV Oxidation for TBT Degradation in Washdown Waste Water", *Treatment of Regulated Discharges from Shipyards and Drydocks Proceedings of the Special Sessions Oceans '99*, Washington , 4:27-36 ISBN No. 0-933957-24-6,
- Flynn, M.R., ve Susi, A., (2004), "Review of Engineering Control Technology for Exposures Generated during Abrasive Blasting Operations", *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1: 680-687
- Fox, T.J., Beacham, T., Schafran, G.C., ve Champ, M.A., (1999), "Advanced Technologies for Removing TBT from Ship Washdown and Drydock Runoff Wastewaters" , *Treatment of Regulated Discharges from Shipyards and Drydocks Proceedings of the Special Sessions Oceans '99*, Washington, 4:62-71 ISBN No. 0-933957-24-6,
- Frankel, G.S., ve Lippold, J.C., (2004) , "Novel Approach for Welding Stainless Steel Using Cr-Free Welding Consumables Final Report" SERDP Project PP-1346 December 31
- Gemmell, V., (1990). "Solvent Cleaning and Paint Stripping". *Society of Automotive Engineers Transactions* 99 (1), 64-76.
- Gould, J.R., Wilson, B., (2003), "Literature Review: Abrasive Blast Media" the Waste and Resources Action Programme
- Gören, Ö. ve Barlas, B., (2006), "DPT IX. Kalkınma Planı (2007-2013) Gemi İnşa Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu"
- Guo, H. ve Murray, F., (2000), "Characterization of total volatile organic compound emissions from paints". *Clean Products and Processes*, 2 (1):28-36
- Güler, İ.ve Übeyli, D.E, (2006), "Çok katmanlı perseptron sinir ağları ile Diyabet hastalığının teşhisi" *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 21, No 2

Güntekin N., (1991), Kaynak Tekniği, Engin Ofset, 2. baskı

Harris, I.D., (2001), "Reduction of Worker Exposure and Environmental Release of Welding Emissions Task 1 – Current Shipyard Practice to NSRP ASE Program" Advanced Technology Institute , Project No. 43149GTH/R-1/00, 2001 Ship Production Symposium and Expo

Harris, I., ve Castner, H., (2003) Mechanization and Automation of Welding and Cutting Processes to Reduce Fume Exposure, NSRP ASE Project, September.2003

Henderson, I.D., Senff, U.E.ve Wilson, A.J., (1986), "Fume Generation and Chemical Analysis of Fume for a Selected Range of Flux-Cored Structural Steel Wires," AWRA Document P9-44-85, Australian Welding Research, 15:4-11, December 1986.P9-44-85

Haykin S., (1999). "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", 2nd Edition, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. ISBN 0-13-908385-5.

Hewett, P., (1995a), "The particle size distribution, density, and specific surface area of welding fumes from SMAW and GMAW mild and stainless steel consumables". Am Ind Hyg Assoc J. 1995 Feb;56(2):128-35.

Hewett, P.,(1995b) "Estimation of regional pulmonary deposition and exposure for fumes from SMAW and GMAW mild and stainless steel consumables". Am Ind Hyg Assoc J. 1995 Feb;56(2):136-42.

Iborra, A., Alvarez, B., Ortiz, F., Marín, F., Fernández, C. ve Fernández-Meroño, J.M., (2001), "Service Robot for Hull-Blasting", IECON'01 the 27th annual conference of the IEEE industrial Electronic Society, 3: 2178-2183

Ionescu, A. ve Candau, Y., (2007), "Air Pollutant Emissions Prediction By Process Modelling- Application in the Iron And Steel Industry in the Case of a Re-Heating Furnace", Environmental Modelling & Software 22 :1362-1371

Jacobs Environmental Engineering Services ve NASCO, (1995), "Characterizing Shipyard Welding Emissions and Associated Control Options"NSRP 0457

Jenkins, N.T. ve Eagar T. W., (2005), "Chemical Analysis of Welding Fume Particles", Welding Journal, June 2005: 87-93

Jeroen, P., Sluijs, V.D., Risbey, J.S. ve Ravetz, J., (2005) "Uncertainty Assessment of VOC Emissions from Paint in the Netherlands Using the NUSAP System" Environmental Monitoring and Assessment 105 (1–3): 229–259.

Johnson D., (1999),"Tributyltin Into State of Virginia Waters Treatment of Regulated Discharges from Shipyards and Drydocks", Proceedings of the Special Sessions Oceans '99, Washington, 4: 41-50 ISBN No. 0-933957-24-6,

Ke, Q., ve Costa, M., (2007), "Overview of Chromium(III) Toxicology", Nutritional Biochemistry of Chromium (III)", 257-263 ISBN: 0-444-53071-1

Kiil, S., Dam-Johansen, K., Weinell, C. ve Pedersen, M., (2002), "Sea Watersoluble Pigments and Their Potential Use in Self-Polishing Antifouling Paints: Simulation-Based Screening Tool". Prog. Org. Coat. 45: 423–434.

Kinsey, J. S., Schliesser, S., Murowchick, P., ve Cowherd, C., (1995), "Development Of Particulate Emission Factors For Uncontrolled Abrasive Blasting Operations", EPA Contract

No. 68-D2-0159, Midwest Research Institute, Kansas City, MO, February

Koçak B., (2007) Dünyada Ve Türkiye’de Gemi İnşa Sanayi, Aralık 2007,

Kura, B., Lea, W.R., Knecht, A., ve McManis, K. (1996a). "Risk Analysis of the TRI Emissions from the Shipbuilding, Repair, and Maintenance Industry," Proceedings of the 1996 Ship Production Symposium, San Diego, CA, the Society of Naval Architects and Marine Engineers, February 14-16, 1996.

Kura, B., Knecht, A., McManis, K., ve Lea, W.R., (1996b), "Comparison of Japanese and U.S. Environmental Regulations Impacting Shipbuilding", Ship Production Symposium, San Diego, California, February 14-16,

Kura, B., ve Lacoste, S., (1996). "Typical Waste Streams in a Shipbuilding Facility," Proceedings of Air & Waste Management Association’s 89th Annual Meeting & Exhibition, Nashville, TN, June 24-28, 1996.

Kura, B., ve Mookoni, P., (1997). "Hexavalent Chromium Exposure Levels Resulting from Shipyard Welding," Proceedings of the 1997 Ship Production Symposium, New Orleans, LA, the Society of Naval Architects and Marine Engineers, April 21, 1997.

Kura, B., Lacoste, S., ve Patibanda, P., (1998). "Multimedia Pollutant Emissions from Shipbuilding Facilities," United States and Japan Natural Resources (UJNR) Conference, Washington, D.C., 1998.

Kura, B., Tadimalla, R., ve Saha, S. (1998). "Wastewater from Shipyards - Characterization, Minimization, and Treatment," Proceedings of the Water Environment Federation, 1998.

Kura, B., (1998a), "Evaluation of Cr(VI) Exposure Levels in the Shipbuilding Industry", Final Report, GCRMTC.

Kura, B., (1998b). "Air Quality Regulations Applicable to Shipyards and Boatyards in the Mid-Atlantic and the Gulf-Coast States," MISSTAP, Biloxi, MS, 1998

Kura, B., Lea, R., Knecht, A. ve McManis, K., (1998). "Risk analysis of the TRI Emissions from the Shipbuilding, Repair, and Maintenance Industry," Journal of Ship Production, pp. 27-32, February 1998.

Kura, B., ve Mookoni, P., (1998a)."Maximum Achievable Control Technology: What a Shipbuilder Should Know for Environmental Compliance," Journal of Ship Production, Volume 14, Number 4, pp. 255-265, November 1998.

Kura, B., ve Mookoni, P., (1998b). "Hexavalent Chromium Exposure Levels Resulting from Shipyard welding," Journal of Ship Production, pp. 246-254, November 1998.

Kura, B., ve Tadimalla, R., (1998). "Pollution Prevention Technologies for Shipyards," United States Japan Natural Resources (UJNR) Conference, Washington, D.C., 1998.

Kura, B., Wisbith, S.A., Stone, R., ve Judy, T. (1999). "Metal Cutting Operations: Emission Factors for Particulates, Metals, and Metal Ions," the Emission Inventory: Regional Strategies for the Future - Proceedings, Raleigh, North Carolina, October 26-28, 1999

Kura, B., ve Tadimalla, R., (1999a). "Minimization and Treatment of Shipyard Wastewater," Proceedings: Oceans 99, Seattle, Washington, September 15, 1999.

Kura, B., ve Tadimalla, R. (1999b). "Characterization of Shipyard Wastewater Streams," Proceedings: Oceans 99, Seattle, Washington, September 14, 1999.

- Kura, B., Judy, T., Wisbith, S.A., ve Stone, R. (2000). "Assessment of Air Emissions from Shipyard Cutting Processes," United States and Japan Natural Resources (UJNR) Conference, Tokyo, Japan, May 17-18, 2000.
- Kura, B., (2000) "A Computer Model for Life Cycle Costing and Assessment of Shipyard Blasting and Painting" Gulf Coast Region Maritime Technology Center
- Kura, B. (2002a), "A Decision Support System for Shipyard Environmental Management," International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS-2002), Malmo, Sweden, September, 2002.
- Kura, B., (2002b), "Environmental Management Applicable to Welding, Cutting and Gouging Processes in the Shipbuilding and Repair Industry", NSRP ASE Project no: 43149GTH
- Kura, B. ve Kura, K., (2006a). VOC-HAP Compliance Management System for Shipyard Painting Operations. 5th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries, 116-126
- Kura, B. ve Kura, K., (2006b), "Automated Discharge Monitoring Report System for Shipyard Compliance with the Clean Water Act", 5th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries Proceedings of Comput '06, 103-116
- Külahlı, E.,(1988), "Kaynak Bilimi", Oerlikon Yayını, Sayı 2
- Lin, C.M. ve Leung Kenny, K.Y., (1996), Controlling volatile organic air pollutants from industry, Institute of Industrial Engineers, Annual Issue: 41-44.
- Liu, S.,(1996), "Recent Developments In The Welding Of High Strength And High Toughness Steels", Israeli national welding conference-Tel Aviv Israel, October 22,
- MacLellan, D., Brancato, M.S., DeForest, D., ve Volosin, J., (1999), "An Evaluation of Risks to U.S. Pacific Coast Sea Otters Exposed to Tributyltin", Treatment of Regulated Discharges from Shipyards and Drydocks Proceedings of the Special Sessions Oceans '99, Washington, 4: 177-183 ISBN No. 0-933957-24-6,
- MacKay, G.R., Stettler, L.E., Kommineni, C. ve Donaldson H.J. (1980). "Fibrogenic Potential of Slags Used as Substitutes for Sand in Abrasive Blasting Operations". Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 41(11):836-842
- Madden, S., Vanderveldt, H.H. ve Jones, J.,(1991), "The Intelligent Automated Welding for Shipyard Applications", National Shipbuilding Research Program, 1991 Ship Production Symposium Proceedings: Paper No. IIB-2
- Malherbe, L. ve Mandin, C., (2005), "VOC Emissions During Outdoor Ship Painting and Health Risk Assessment" . In: First International Conference on Harbours and Air, Italy.
- Matczak, W. ve Chmielnicka, J., (1989), "Methods for determining soluble and insoluble Cr III and Cr VI compounds in welding fumes", Pol J Occup Med. 1989;2(4):376-88.
- Mener, W.C., Rosen, P.L., Austin, D.M. ve Holt, W.S., (2001), "Shipyard Welding Emission Factor Development", 10th International Emission Inventory Conference - "One Atmosphere, One Inventory, Many Challenges" May 1 - 3,
- Muleski, G.E., ve Downing, J., (2006), "Control of Abrasive Blasting Emissions through

Improved Materials”15th International Emission Inventory Conference Reinventing Inventories - New Ideas in New Orleans May 15 - 18,

MSP,(2006), Full Scale Operational Trials involving the use of Recycled Glass as a Blasting Medium in the Marine Sector Project code: GLA44-017 Final Report Date (Published) March 2006 ISBN No: 1-84405-2567

NIOSH (1974), “Criteria for a recommended standard: occupational exposure to crystalline silica”. Washington, DC: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW Publication No. (NIOSH) 75-120, pp. 54- 55, 60-61.

NIOSH, (2001), “Substitute Materials for Silica Sand in Abrasive Blasting. NIOSH Hazard Control”. DHHS, CDC (NIOSH) Publication No. 2002–100

NIOSH, (2002), “Nomination of Welding Fumes for Toxicity Studies”, National Institute for Occupational Safety and Health February 20, 2002

NSRP, (1999), “Shipyard Welding Emission Factor Development”, The National Shipbuilding Research Program (NSRP) September 1, 1999 NSRP 0574 N1-98-2

NSRP, (2000), “Emission Factors for Flux Core Rod Used in Gas Shielded Processes”, The National Shipbuilding Research Program December 18, NSRP 0587 N1-98-1 Subtask 43 Naval Surface Warfare Center

NPI, (1999a), “Emission Estimation Technique Manual for Shipbuilding Repair and Maintenance”, National Pollutant Inventory. Queensland Department of Environment, Australia.

NPI, (1999b), “Emission Estimation Technique Manual for Surface Coating Process Description and Emissions”, National Pollutant Inventory, Queensland Department of Environment, Australia.

Norback, D., Wieslander, G. ve Edling, C., (1995), “Occupational Exposure to Volatile Organic Compounds (VOCs) and Other Air Pollutants from the indoor Application of Water-Based Paints”, The Annals of Occupational Hygiene 39 (6): 783–794.

Okay, O.S., (2004), “Antifouling İçeren Gemi Boyalarının Uluslararası Kurallar Çerçevesinde Kirlenici Etkilerinin İncelenmesi” Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu, 24-25 Aralık 2004, s168-178

Olcay, T, (1996) “Endüstriyel kirlenme kontrolü”, İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü

Omae, I., (2003), “Organotin Antifouling Paints and Their Alternatives”, Applied Organometallic Chemistry, 17, 81-105

OSHA, (2006), “Abrasive Blasting Hazards in Shipyard Employment”, U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration Directorate of Standards and Guidance Office of Maritime An OSHA Guidance Document December 2006

Öztemel, E., (2006) “Yapay Sinir Ağları”,Papatya Yayıncılık, İstanbul

Pierucci, S., Rosso, R.D., Bombardi, D., Concu, A. ve Lugli, G., (2005), “An Innovative Sustainable Process for VOCs Recovery from Spray Paint Booths”, Energy 30:1377–1386

Pires, I., Quintino, L. ve Miranda, R.M., (2007), “Analysis of the Influence of Shielding Gas Mixtures on the Gas Metal Arc Welding Metal Transfer Modes and Fume Formation Rate”,

Materials and Design 28 :1623–1631

Porter, D.W., Ramsey, D., Hubbs, A.F., Battelli, L., Ma, J., Barger, M., Landsittel, D., Robinson, V.A., McLaurin, J., Khan, A., Jones, W., Teass, A., ve Castranova, V., (2001), “Time Course of Pulmonary Response of Rats to Inhalation of Crystalline Silica: Histological Results and Biochemical Indices of Damage, Lipidosis, and Fibrosis” *Journal of Environ Path Toxicol Oncol* 20 (Suppl 1):1-14

Risk and Technology Review (2007) – Phase II Advanced Notice of Proposed Rulemaking Source Category Data Summary Shipbuilding and Ship Repair Operations, March 19

Rosenberg, B., Yuan, L. ve Fulmer, S., (2006) “Ergonomics of Abrasive Blasting: A Comparison of High Pressure Water and Steel Shot”, *Applied Ergonomics* 37 659–667

Sagatun, S.I., ve Kjelstad, K.E., (1995), “Robot Technology in the Shipyard” Production Environment The National Shipbuilding Research Program, 1995 Ship Production Symposium

Şahinler S., (2000), “En Küçük Kareler Yöntemi ile Doğrusal Regresyon Modeli Oluşturmanın Temel Prensipleri” *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 5 (1-2): 57-73, 2000.

Salome, F., ve Morris, H., (1996), “Occupational Exposures and Hazardous Wastes from Abrasive Blast Cleaning”, 13th International Corrosion Conference Towards Corrosion Prevention, Melbourne, November

Sauro, P., Renato, D.R., Danilo, B., Antonello, C. ve Giuseppe, L., (2005), An innovative sustainable process for VOCs recovery from spray paint booths. *Energy* 30 (8), 1377–1386.

Schoder, R.K. ve Elkouh, N., (2004), Real Time Robotic Control System for Titanium Gas Metal Arc Welding Report 2004 W15QKN-04-C-1042 Create Project 7404

Shao, J. ve Yan, Y., (2005), “Review of techniques for On-line Monitoring and Inspection of Laser Welding”, *Institute of Physics Publishing Journal of Physics: Conference Series* 15,101–107

Shim, W.J., Oh, J.R., Kim, N.S. ve Lee, S.H., (1999), “Contamination of Butyl- and Phenyltin Compounds in Sediment from Shipyards in Korea”, *Treatment of Regulated Discharges from Shipyards and Drydocks Proceedings of the Special Sessions Oceans '99*, Washington, 4:119-133 ISBN No. 0-933957-24-6,

SSA (Shipbuilders and Ship repairers Association), (2006), “Full Scale Operational Trials involving the use of Recycled Glass as a Blasting Medium in the Marine Sector” Project code: GLA44-017 Final Report Date (Published) March ISBN No: 1-84405-2567

Sinclair, K.M., (2004), “Improvement of NPI Fugitive Particulate Matter Emission Estimation Techniques” RFQ NO. 0027/2004

Sowell, D.A., (1998), “Hazardous Waste Minimization of Abrasive Blast Media: Addressing Corrosion Control and Environmental Risks,” *JAPCA*, 38(8), August, 1048-1050

Stopford, W., (2005), “Welding and Exposures to Manganese Assessment of Neurological Adverse Effects”, *Duke University Medical Center Department of Community & Family Medicine Division of Occupational & Environmental Medicine*

Stratford, S., (2000) Dry ice blasting for paint stripping and surface preparation Metal

Finishing, 98, 493-499

Şahinler, S., (2000) “En Küçük Kareler Yöntemi ile Doğrusal Regresyon Modeli Oluşturmanın Temel Prensipleri”, MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi 5 (1-2): 57-73, 2000.

Şenol C. ve Yıldırım T., (2004), “Standart ve Hibrid Yapılar Kullanarak Yapay Sinir Ağları ile İmza Tanıma”, ELECO'2004 Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği

Topuz, H., (2006), “Tersanelerde Atık Yönetimi ve Orta Ölçekli Bir Tersanede Oluşturulan Atık Yönetim Modeli”, Yıldız Teknik Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Townsend, T. ve Carlson, J., (1997). “Disposal and Reuse Options for Used Sandblasting Grit.” Report #97-8, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, Gainesville, FL, 45 pages.

Uhlmann, E., Hollan, R. veit, R. ve Mernissi, A.E.,(2006) “Laser Assisted Dry Ice Blasting Approach for Surface Cleaning” LCE2006 13th CIRP International Conference on a Life Cycle Engineering Proceedings 471-476

USEPA AP-42, (1994), “Development of Particulate and Hazardous Emission Factors for Electric Arc Welding (AP-42, Section 12.19) Revised Final Report”, 68-D2-0159

USEPA, (1994), “Guide to Cleaner Technologies - Organic Coating Removal”, EPA/625/R-93/015.

USEPA (1996), “Pollutants, Hazardous; National Emission Standards: Surface Coating Operations from New or Existing Shipbuilding And Ship Repair Facilities”, 44050 Vol. 61 No. 167 Tuesday, August 27, p 44050 1/733

USEPA AP-42, (1997), “Emission Factor Documentation for AP-42 Section 13.2.6 Abrasive Blasting Final Report” EPA Contract 68-D2-0159 1997

USEPA, (1997), “Profile of the Shipbuilding and Repair Industry”, Office of Compliance Sector Notebook Project, Washington, USA. EPA/310-R-97-008

USEPA, AP-42, (2001), “Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions from Surface Coating Operations Volume II: Chapter 7” July 2001

USEPA, (2004), “Summary of Emissions Factors Improvement Project Fact Finding Survey, U.S. Environmental Protection Agency”, Office of Air Quality Planning Standard, Emissions Monitoring and Analysis Division, Emission factors and Policy Applications Group. Research Triangle Park. NC 27711, June 2004.

USEPA, (2005) “Best Pollution Prevention Practices For Abrasive Blast Media Waste From Shipyard Repair Activities, The Commonwealth of Virginia State Water Control Board,

Vardar, N., (2004), “Pollutant sources in the shipbuilding and repair industry, Ship Building Industry”, Turkish Shipbuilding Association, Turkey

Voulvoulis, N., Scrimshaw, M.D. ve Lester, J.N., (2002), “Comparative environmental assesment on antifouling used in antifouling paints”, Chemosphere 47 (7): 789–795.

Vreysen, S., Maes, A. ve Wullaert, H., (2008) “Removal of organotin compounds, Cu and Zn from shipyard wastewaters by adsorption – flocculation: A technical and economical analysis” Marine Pollution Bulletin 56 :106–115

Woodward, M.J., ve Judson, R.S., (1987), "The development of a High Production Abrasive Water JET Nozzle System", - 4th American Waterjet Conference

Witten, I.H. ve Frank, E., (2005) "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques", 2nd Edition, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2005.

Yapp, D., Lawmon, J. ve Castner, H., (2001), "Development of Lightweight Fume Extraction Welding Guns", National Shipbuilding Research Program SP-7 Welding Panel May 21, 42539FR/01

Yebra, D.M., Kiil, S. ve Johansen, K.D., (2004), "Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings", Progress in Organic Coatings 50, 75–104

Ying, X. ve Yinping, Z., (2004), "A general model for analyzing single surface VOC emission characteristics from building materials and its application", Atmospheric Environment 38:113–119

Zachary, F., Jacobs, P.E., (1995), "Characterizing Shipyard Welding Emissions and Associated Control Options The national Shipbuilding Research Program" August NSRP 0457, Naval surface Warfare Center

Zafar, A., (1998), "Recycle and Reuse of Spent Blast Residue from Ship Building Industry into Concrete", MSc thesis, university of South Alabama, , UMI number 1389910

Zhang, X., Chen, W., Ashida, E. ve Fukuhisa, M., (2004), "Relationship Between Weld Quality and Optical Emissions in Underwater Nd: YAG laser welding", Optics and Lasers in Engineering 41, 717–730

Zhishi, G., Sparks, L.E., Tichenor, B.A. ve Chang, J.C.S., (1998), "Predicting the emissions of individual VOCs from petroleum-based indoor coatings". Atmospheric Environment 32 (2), 231–237.

Zimmer, A T. ve Biswas, P., (2001), "Characterization of the aerosols resulting from arc welding processes", Aerosol Science 32, 993-1008

INTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://www.ipcc.ch/>

[2] <http://www.imo.org/>

[3]<http://www.atikyonetimi.net>

[4] <http://www.nortonsandblasting.com>

[5] <http://www.epa.org>

[6] <http://www.gisbir.org>

[7] http://www.oxfordjournals.org/tropej/online/ma_chap2.pdf

[8] <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	29.06.1976	
Doğum yeri	Bandırma	
Lise	1990-1993	Balıkesir Lisesi
Lisans	1994-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora	2002-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

1998-1999	Makine Takım A.Ş.
1999-2000	Gönpa Elektronik A.Ş.
2001-Devam ediyor	YTÜ Makine Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Müh. Bölümü Araştırma Görevlisi