

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

PERLİT VE POMZADAN ÜRETİLEN FİLTRELERİN İS PARTİKÜLLERİ ÜZERİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Erkan YÜKSEL

HAZİRAN 2018

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

PERLİT VE POMZADAN ÜRETİLEN FİLTRELERİN İS PARTİKÜLLERİ ÜZERİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Hazırlayan
Erkan YÜKSEL

Danışman
Prof. Dr. Hüseyin TURHAN

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Hüseyin TURHAN
Doç. Dr. Serkan ÖZEL
Dr. Öğretim Üyesi Erdiñ VURAL

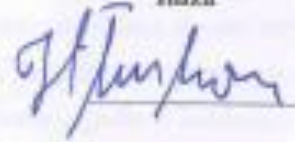
HAZİRAN 2018

Onay Sayfası (Yüksek Lisans)

Erkan YÜKSEL tarafından hazırlanan "Perlit ve Pomzadan Üretilen Filtrelerin İs Partikülleri Üzerine Etkisinin Deneysel Araştırılması" adlı tez çalışması 02/07/2018 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hüseyin TURHAN
(Başkan-Danışman)

İmza


Doç. Dr. Serkan ÖZEL
(Üye)



Dr. Öğr. Üyesi Erdiñç VURAL
(Üye)



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitü Yönetim Kurulu'nun 24.02.2018. gün ve 34.07. sayılı kararı ile onaylanmıştır.


Doç. Dr. Koray KÖKSAL
Enstitü Müdürü

ÖZET

PERLİT VE POMZADAN ÜRETİLEN FİLTRELERİN İS PARTİKÜLLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Erkan YÜKSEL

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin TURHAN

Haziran 2018, 62 sayfa

Günümüzde motorlu araç sayısının her gün artması doğaya salınan emisyon gazı oranını her geçen gün arttırmaktadır. Bu durum dizel partikül filtrelerinin önemini her geçen gün arttırmaktadır. İçten yanmalı dizel motorların atmosfere yaydığı zararlı gazların miktarının azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Motorda yanma sonucunda açığa çıkan zararlı gazlar partikül filtrelerindeki çapraz sistemlerden geçerek egzozdan dışarı atılmaktadır. Bu gazlar çapraz sistemde ilerlerken gözenekli partikül filtresinden geçer. Yanma sonucunda açığa çıkan gazlar ve diğer zararlı atıklar gözeneklere takılır ve partikül filtresinde biriktirilir.

Firmalar egzoz emisyon değerlerini düşürmek amacıyla farklı malzemeler kullanarak yeni filtreler üretmeye çalışmaktadırlar. Bu çalışmanın amacı pomza, perlit ve pomza ile perlit karışımı kullanılarak oluşturulan üç farklı filtre kullanılarak oluşturulan konvertörlerin emisyon değerleri üzerindeki etkisini incelemektir.

Araştırma sonucunda duman koyuluk (islilik) oranının yük miktarıyla doğru orantılı bir şekilde arttığı, dizel partikül filtrelerinde genişleştirilmiş perlite oranla, pomza taşı kullanımının duman koyuluk (islilik) oranını daha fazla azalttığı ve sıcaklık değerleriyle doğru orantılı olarak filtreleme özelliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel Partikül Filtresi, Perlit, Pomza, Konvertör, Duman Koyuluğu

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECTS OF PERLIT AND POMZANE PRODUCED FILTERS ON IS-PARTICULARS

Erkan YÜKSEL

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin TURHAN

June 2018, 62 Pages

Today, the number of motor vehicles increases day by day, increasing the rate of emissions of gas to the environment day by day. This increases the importance of diesel particulate filters day by day. It is used to reduce the amount of harmful gases that internal combustion diesel engines deliver to the atmosphere. The harmful gases, which are ignited in the combustion result of the motor, pass through the cross-systems in the particulate filters and are discharged from the exhaust. These gases pass through the porous particle filter while traveling in the cross-system. The gases and other harmful wastes that are released in the combustion are attached to the pores and deposited in the particle filter.

Firms are trying to produce new filters using different materials in order to reduce exhaust emission values. The aim of this study is to investigate the effect of converters formed using pumice, perlite and pumice and perlite mixture on the emission values of three different filters.

As a result of the study, it was determined that the ratio of smoke darkness increased proportionally with the amount of load, the ratio of expanded perlite in diesel particulate filters decreased the smoke darkness ratio of pumice stone and increased the filtering property in proportion to the temperature values.

Key Words: Diesel Particulate Filter, Perlite, Pumice, Converter, Fume Darkness

TEŞEKKÜR

Deęerli bilgi ve yardımlarını hiçbir Şekilde esirgemeyen, bu y¼ksek lisans tez çalıŐmalarımın her aŐamasında değerlendirmeler yaparak y¼n veren Sayın Prof. Dr. H¼seyin TURHAN'a ve engin bilgileriyle çalışmada bana y¼n veren hocam Sayın Doç. Dr. Serkan ÖZEL'e ve değerli yardımlarını esirgemeyen hocam Dr. Őęr. Üyesi Erdiñ VURAL'a minnet ve Ő¼kranlarımı sunarım. Hayatımın her alanında yanımda olan, hedeflerimi gerçekleŐtirme yolunda benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme minnet ve Ő¼kranlarımı sunarım. Ayrıca çalıŐmam için gerekli ortamın sağlanmasında ve deneylerimi gerçekleŐtirme aŐamasında yardımlarını esirgemeyen Adana Akdeniz Egzoz çalıŐanlarına ve çalışmada kullandığım perlitli tedarik etmemde yardımcı olan Afm Trade çalıŐanlarına teŐekk¼rlerimi sunarım. Araştırmanın ölç¼m kısımlarını gerçekleŐtirmem için laboratuvar ve at¼lyelerini kullanmamı sağlayan Çukurova Üniversitesi Otomotiv M¼hendislięi Böl¼m BaŐkanlıęı'na teŐekk¼r ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Dizel Motorlarda Emisyon Oluşumu	5
1.1.1. Hidrokarbonlar (HC)	5
1.1.2. Karbonmonoksitler (CO)	6
1.1.3. Azotoksitler	6
1.1.4. Partikül Madde	7
1.2. Dizel Motorlarda Emisyon Kontrol Yöntemleri	8
1.2.1. Üç Yollu Katalitik Konvertörler	8
1.2.2. Dizel Partikül Filtresi	10
1.2.2.1. Pasif Rejenerasyon.....	12
1.2.2.2. Aktif Rejenerasyon	13
1.2.2.2.1. Motordan Enerji Elde Ederek Yakma	14
1.2.2.2.2. Yakıt Yakara Filtre Rejenerasyonu	14
1.2.2.2.3. Elektrik Rejenerasyonlu Filtreler	15
1.2.3. Seçici Katalitik İndirgeme	15
1.3. Katalitik Hammadde Olarak Kullanılan Malzemeler	17
1.3.1. Perlit	17
1.3.1.1. Perlitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	18
1.3.1.2. Perlit Üretimi	19
1.3.1.3. Perlitin Özellikleri	20
1.3.1.3.1. Gözeneklilik	20
1.3.1.3.2. Hafiflik.....	20
1.3.1.3.3. Isı ve Ses Yalıtımı	20
1.3.1.3.4. Kimyasal Pasiflik	21
1.3.1.3.5. Yanmazlık	21
1.4. Pomza.....	21
1.4.1. Pomzanın Oluşumu	22
1.4.2. Pomzanın Kullanım Alanları	24
1.4.2.1. Pomzanın Tekstil Sektöründe Kullanımı	24
1.4.2.2. Pomzanın Tarım Sektöründe Kullanımı	24
1.4.2.3. Pomzanın Kimya Sektöründe Kullanımı	24
1.4.2.4. Pomzanın Endüstriyel ve Teknolojik Alanda Kullanımı	25

1.5. Ağır Metaller ve Etkileri	26
1.5.1. Ağır Metallerin Yayılması	28
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM	32
3.1. Kullanılan Malzemeler	32
3.1.1. Perlit	32
3.1.2. Pomza	34
3.2. Yöntem.....	34
3.3. Dizel Motor Deney Seti	40
3.4. Deneysel Parametreler	42
4. BULGULAR.....	43
4.1. Pomza İle Yapılan Konvertöre Ait Duman Koyuluğu (İslilik) Miktarının Karşılaştırılması	43
4.2. Perlit + Pomza Kullanılarak Yapılan Konvertöre Ait Duman Koyuluğu (İslilik) Miktarının Karşılaştırılması.....	45
4.3. Genleştirilmiş Perlit İle Yapılan Konvertöre Ait Duman Koyuluğu (İslilik) Miktarının Karşılaştırılması.....	47
4.4. Dizel Partikül Filtrelerinin Duman Koyuluk (İslilik) Oranları Üzerindeki Etkileri ..	49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Partikül madde diyagramı	7
1.2. Üç yollu katalitik konvertör	9
1.3. Kısmi akışlı dizel partikül filtresi	11
1.4. Duvar akışlı dizel partikül filtresi	11
1.5. Johnson Matthey sürekli rejenerasyon sistemi	12
1.6. Johnson Matthey kaplama dizel partikül filtresi	13
1.7. HC püskürtmeli aktif rejenerasyon sistemi	14
1.8. Adblue tankı	15
1.9. SCR sistemi	16
1.10. Düşük ve yüksek sıcaklıkta genişletilmiş perlit görüntüsü	20
1.11. Pomza oluşum süreci	23
1.12. Ağır Metal Etkilerinin Derişimle Değişimi	28
1.13. Atmosfere yayılan ağır metallerin şematik olarak gösterilmesi	29
3.1. Düşük sıcaklıkta genişletilmiş perlit	33
3.2. Yüksek sıcaklıkta genişletilmiş perlit	33
3.3. Pomza taşı	34
3.4. MVD marka hidrolik giyotin makas	34
3.5. Konvertör iç kılıfı ebatları	35
3.6. Konvertör dış kılıfı	36
3.7. Delikli ızgara	36
3.8. Konvertör uç kapağı	37
3.9. İçerisine perlit ve pomza taşı doldurulan 2 numaralı konvertör	37
3.10. İçerisine perlit, pomza ve perlit-pomza karışımı konulan konvertörlerin ızgara ile kapatılması	38
3.11. Filtre malzemesi doldurulan konvertörün iki ucunun kapakla kapatılması	38
3.12. Uçlarına bağlantı boruları eklenen konvertörler	39
3.13. Boyama işlemi sonrası konvertörler	39
3.14. Hazırlanan konvertörlerin dizel motor ünitesine bağlanması	40
3.15. Deney düzeneğinin şematik görünümü	41
3.16. MRU Air Fair Optrans 1600 is probu	41
4.1. 1 nolu konvertörün DPF girişinde ölçüm yapma	43

4.2.	1 numaralı konvertöre ait DPF giriş ve çıkışlarında ölçülen duman koyuluğu (islilik) oranı.....	44
4.3.	2 nolu konvertörün DPF girişinde ölçüm yapma	45
4.4.	2 numaralı konvertöre ait DPF giriş ve çıkışlarında ölçülen duman koyuluğu (islilik) oranı.....	46
4.5.	3 nolu konvertörün DPF girişinde ölçüm yapma	47
4.6.	3 numaralı konvertöre ait DPF giriş ve çıkışlarında ölçülen duman koyuluğu (islilik) oranı.....	48
4.7.	Filtre malzemelerinin yüklere göre duman koyuluk (islilik) oranlarına etkisi	49



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Ağır vasıta araçlar için emisyon normları.....	2
1.2. Karayolları dışındaki hareketli araçlarda Faz IIIB normları	3
1.3. Düşük sıcaklıkta genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri.....	17
1.4. Yüksek sıcaklıkta genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri	18
1.5. Düşük sıcaklıkta genişletilmiş perlitin kimyasal bileşenleri.....	18
1.6. Pomzanın bileşenleri.....	21
1.7. Ağır Metallerin Kullanıldıkları ve Atıldıkları Endüstriler	27
3.1. Dene motorunun teknik özellikleri	41
3.2. MRU Air Fair Optrans 1600 gaz analiz cihazına ait teknik değerler	42
3.3. Dene de kullanılan malzemeler ve karışım oranları	42
4.1. Pomza kullanılarak yapılan konvertörün farklı yükler altındaki duman koyuluğu (islilik) oranı	44
4.2. Perlit + pomza kullanılarak yapılan konvertörün farklı yükler altındaki duman koyuluğu (islilik) oranı.....	46
4.3. Genleştirilmiş perlit kullanılarak yapılan konvertörün farklı yükler altındaki duman koyuluğu (islilik) oranı.....	47

SİMGELER DİZİNİ

FAZ III A	H, I, J ve K motor kategorileri emisyon normları
FAZIII B	L, M, N ve P motor kategorileri emisyon normları
HC	Hidrokarbon
NO _x	Azotoksitler
NO ₂	Azot dioksit
NO	Azot monoksit
N ₂	Azot
L	Partikül filtresinin uzunluğu
KV	Katalitik konvertör hacmi
O ₂	Oksijen
HC	Hidrokarbon
F	Kuvvet
R	Evrensel Gaz Sabiti (8.3145 J/(mol K))
Rd	Rodyum

KISALTMALAR DİZİNİ

IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry (Uluslararası kuramsal ve uygulamalı bilimler birliği)
KG	Kanal genişliği
EGR	Egzoz gaz resirkülasyon
EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
PM	Partikül Madde
PN	Partikül madde sayısı
HDI	High pressure direct injection (Yüksek basınçlı doğrudan enjeksiyon)
DPF	Dizel Partikül Filtre
IGK	Isıl Genleşme Katsayısı
XRD	X-ışınları difraktometresi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ülkemizde ve dünyada her yıl trafiğe çıkan motorlu taşıtların sayısı artış göstermektedir. Trafiğe çıkan motorlu taşıt sayısının artması doğaya salınan zararlı gazların miktarının ve hava kirliliği gibi çevre sorunlarının da artmasını beraberinde getirmektedir. Motorlu taşıtların neden olduğu çevre kirliliğinin en önemli sebebinin egzoz emisyonları olduğudur. İçten yanmalı motorlarda yakıtın yanması sonucunda açığa çıkan zararlı gazların ve partiküllerin egzozdan atılarak atmosfere karışması hava kirliliğine ve çevresel sorunlara neden olmakta ve insan sağlığına zarar vermektedir [1].

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon içerikli yakıtların yanması sonucunda azotoksit (NO_x), yanmamış hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO) ve partikül maddeler (PM) açığa çıkmaktadır. Hidrokarbon içerikli yakıtlar ideal koşullarda yandıkları durumlarda zararlı gaz çıkışı ve partikül madde oluşumu gerçekleşmemektedir. İçten yanmalı motorlarda ideal şartlarda yanma gerçekleşmediğinden dolayı zararlı gaz çıkışı ve partikül oluşumunun gerçekleşmesi kaçınılmaz bir durumdur. Zengin karışımlarla yanmanın meydana geldiği benzinli motorlarda hidrokarbon ve karbonmonoksit oluşumu, benzinli motorlar kadar zengin olmayan karışımlarla meydana gelen dizel motorlarda ise partikül madde ve azotoksit oluşumu daha fazla gerçekleşmektedir [2].

Son yıllarda ülkemizde ve dünyada benzin fiyatlarının artması, dizel araçların yüksek tork değerine sahip olmaları, düşük yakıt tüketimi gibi etkenler tüketiciyi dizel araç tercihine yönlendirmiştir. İçten yanmalı dizel motorlarda yakıtın yanması sonucunda karbonmonoksit (CO), kükürtlü bileşikler, azotoksit türleri (NO_x), hidrokarbon (HC), aldehitler ve partikül madde açığa çıkmaktadır [3].

Yanma olayı sırasında yeterli miktarda hava ile reaksiyona giremeyen karbon (C), karbonmonoksit oluşumuna neden olmaktadır. Fakir karışımlar ile çalışan dizel motorlarda karbonmonoksit oluşumu düzeyi düşüktür. İçten yanmalı motorlarda yanma olayı sonucunda yanma odası sıcaklığının $1800 \text{ }^\circ\text{K}$ 'in üzerine çıkması nedeniyle havanın birleşiminde bulunan azot ve oksijenin kimyasal reaksiyona girmesi sonucunda azot oksitler (NO_x) oluşmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yakıtın bir kısmının yanmaması ya da yakıtın buharlaşması sonucunda hidrokarbon (HC) oluşumu meydana gelir. Yine hidrokarbon içerikli yakıtlardaki hidrokarbonların eksik yanmaları aldehit oluşumuna neden olmaktadır. Yanma olayı sonucunda açığa çıkan yanmayan yakıt, yağ, nitrat, sülfat, is ve metaller partikül maddeleri oluşturmaktadır [4].

İlk kez 1968 yılında Kaliforniya’da motorlu taşıt kaynaklı egzoz emisyon üretimini kontrol altına almak amacıyla bir düzenleme gerçekleştirilmiştir. Avrupa Birliği ülkelerinde 1972 yılında ECE R 15 Regülasyonu ve EEC 72/220 yönetmeliği ile egzoz emisyonu sınırlamasına gidilmiştir. Günümüzde EEC/ECE, EPA, JIS gibi çeşitli yönetmeliklerle tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler egzoz emisyonlarına çeşitli denetimler uygulayarak sınırlandırma çalışmaları yapmaktadırlar [5].

Binek ve ağır ticari araçların egzozlarından çıkan emisyon değerlerinin kontrol altına alınması amacıyla Avrupa Birliğine üye ülkeler “Euro” normu oluşturmuşlardır. Avrupa Birliği’nde İlk kez 1992 yılında Euro 1 normu ile yürürlüğe girmiştir. Euro normuna geçiş tarihi, yakıt türü ve araç sınıfına göre norm değerleri farklılıklar göstermektedir. Ağır vasıta araçları için Euro normlarının uygulandığı tarih ve emisyon değerlerinin gösterildiği Çizelge 1 aşağıda verilmiştir.

Çizelge 1.1. Ağır vasıta araçlar için emisyon normları [6]

Norm	Tarih	Test	CO	HC	HC+NO _x	PM	PN	İs
			g/kWh			1/kWh	1/m	
EURO 1	1992, ≤85 kW	ECE R-49	4,5	1,1	8,0	0,612		
	1992, >85 kW		4,5	1,1	8,0	0,36		
EURO 2	10.1996		4,0	1,1	7,0	0,25		
	10.1998		4,0	1,1	7,0	0,15		
EURO 3	10.1999	ESC&ELR	1,5	0,25	2,0	0,02		0,15
	10.2010		2,1	0,66	5,0	0,1		0,8
EURO 4	10.2005		1,5	0,46	3,5	0,02		0,05
EURO 5	10.2008		1,5	0,46	2,0	0,02		0,5
EURO 6	01.2013	WHSC	1,5	0,13	0,4	0,01	8x10 ¹¹	

Avrupa Birliği ülkelerinde, karayolları dışında kullanılan iş makineleri, traktör vb. araçlar için faz (stage normu) uygulanmaktadır. Faz normunda, araç gücüne göre yürürlüğe giriş tarihi farklılık göstermektedir [7].

Otomotiv Sanayi Çevre Deklerasyonunun 1993 yılında yaptığı çalışma ülkemizde ilk emisyon normlarına uyum çalışması özelliğini taşımaktadır. Bu çalışmadan etkilenen otomotiv endüstrisi 1995 yılından itibaren ürettikleri araçları bu çalışma çerçevesinde üretmeye çalışmışlardır. Avrupa Birliği Antlaşması ile 1996 yılında ülkemiz, Avrupa Birliği Tip Onay çalışmalarını başlatmıştır. Böylece gelecek beş yıl içerisinde üretilecek araçların

Avrupa Birliği normlarında gerekleŖeceđi bildirilmiŖ ve ticari araçlarda emisyon uyum programı ilan edilmiŖtir. İlk kez 2001 yılında Euro 1 uygulaması tüm dizel araçlarda uygulanmıŖ, 2008 yılında Euro 4 emisyon normuna uygun dizel motorların kullanımına geilmiŖtir. 2009 yılında uygulanmaya konan Euro 5 normları, 2016 yılında Euro 6 normu olarak devam etmiŖtir [8]. 2017 yılına kadar yıl dıŖı araçlarda Faz IIIA uygulaması kullanılırken 2017 yılında Faz IIIB normuna geilmiŖtir. Çizelge 2’de Faz IIIB emisyon değerleri verilmiŖtir.

Çizelge 1.2. Karayolları dıŖındaki hareketli araçlarda Faz IIIB normları [9]

Araç Gücü (kW)	Tarih	CO	HC	THC+NO _x	NO _x	PM
130 ≤ P < 560	01.2011	3,5	0,19	-	2,0	0,025
75 ≤ P < 130	01.2012	5,0	0,19	-	3,3	0,025
56 ≤ P < 75	01.2012	5,0	0,19	-	3,3	0,025
37 ≤ P < 56	01.2013	5,0	-	4,7	-	0,025

Otomobil reticileri belirlenen emisyon değerlerini elde edebilmek amacıyla motor üretiminde bazı düzenlemelere gitmiŖlerdir. Otomobil retici firmaları bu değerleri yakıt enjeksiyon sisteminde yapmıŖ olduğu düzenlemeler ile elde etmeyi baŖarabilmiŖlerdir. Üreticiler bu sisteme common rail (ortak hatlı) enjeksiyon sistemi adını vermiŖlerdir. Common rail sisteminin yakıt tasarrufunun yanı sıra motor gürültüsünü azaltma ve yanma verimliliğini artırarak partikül oluŖumunu azaltma gibi faydaları da bulunmaktadır. Klasik dizel motorlarda basınc oluŖumu ve püskürtme iŖlemi birlikte gerekleŖirken, common rail sisteminde basınc oluŖumu ve püskürtme iŖlemleri birbirinden ayrı gerekleŖmektedir.

Klasik dizel motorlarda enjeksiyonlar 200 barlık basınc ile alıŖırken common rail sisteminde 2100 bar basınca yükseltilen yakıt ortak bir boru ile enjektörlere paylaŖtırılır. Elektronik kontrol nitesi tarafından motorun devir ve yk özelliklerine göre basınc değerleri ayarlanır. Enjektörlerin üstünde yer alan piezo-elektronik enjektörler ile püskürtme gerekleŖtirilir [10].

Common rail sisteminde ana püskürtmeden önce gerekleŖen n püskürtme ile yakıtın daha iyi yanması gerekleŖtirilmektedir. n püskürtme sistemi piezo-elektronik enjektörlerin defalarca kontrol edilmesiyle gerekleŖir. Bu sayede hem motorun yakıt sarfiyatı dŖerken hem de motorun gürültü ve emisyon düzeylerinin dŖmesi sağlanmaktadır [11].

Egzoz emisyon değerlerini dŖrmek için kullanılan bir diğer yöntem de egzoz gazlarının resirkülasyonu (EGR, Exhaust Gas Recirculation) sistemidir. Bu sistem ile NO_x gazlarının oranının dŖrlmesi sađlanmıŖtır. Motorda yanma sonucu açığa çıkan emisyon

gazlarının bir kısmı emme havasıyla birlikte tekrar motora gönderilir. Bu durum yanma sıcaklığını düşürdüğünden dolayı NO_x gazı oluşumu azalacaktır. EGR sisteminin dezavantajı motorun gücünde azalmaya neden olmasıdır. Bu dezavantajlı durum EGR sisteminin normal sürüş devirlerinde devreye alınmasıyla, maksimum performans sürüş devirlerinde sistemden çıkarılmasıyla giderilebilmektedir. EGR sistemiyle uzun süre çalışan motorların ürettiği NO_x emisyon değerlerinin düşürülmesi mümkün olmaktadır [12].

Ülkelerin sürekli geliştirdiği emisyon normları neticesinde geliştirilen yöntemler geçerliliğini yitirmektedirler. Otomobil firmaları güncellenen emisyon normlarına egzoz devresi emisyon (aftertreatment) sistemleriyle uyum sağlamaya çalışmışlardır. Üç yollu katalitik konvertörler, dizel partikül filtreleri (DPF), dizel oksidasyon katalizörü ve seçici katalitik indirgeme (SCR) gibi yöntemler egzoz devresi emisyon sistemleri kullanılarak geliştirilen yöntemlerdir [13].

Üç yollu katalitik konvertörler, platinyum, paladyum ve rodyum gibi pahalı metallerin kullanılmasıyla emisyon değerlerini düşürmeyi sağlayan en eski emisyon kontrol yöntemlerinden biridir. İki parça katalizörden meydana gelen konvertörlerde, ilk katalizör indirgenme katalizörü, ikinci katalizör de oksidasyon katalizörü olarak isimlendirilmektedir. Bu sistem benzinli araçlarda emisyon düşürme yöntemi olarak kullanılmaktadır [14].

İçten yanmalı motorlarda yakıtın yanması sonucunda açığa çıkan hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO) ve partiküllerde bulunan çözünebilen organik bileşenlerin indirgenmesinde de dizel oksidasyon katalizörü (DOK) kullanılmaktadır. Dizel oksidasyon katalizörü ile hidrokarbonların %40-70 oranında, karbonmonoksitlerin %40-60 oranında ve partikül maddelerin de %20-40 oranında azaltmak mümkündür [15]. Kordierit ve metaller kullanılarak üretilen dizel oksidasyon katalizörü sisteminde platinyum, palladyum, radyum gibi pahalı metaller kullanılarak kimyasal reaksiyonların oluşum sıcaklıkları düşürülmektedir [16].

Bir sistem içerisinde ilerleyen egzoz gazlarının sistem boyunca ilerlerken katı ve sıvı partikülleri tutarak biriktiren dizel partikül filtreleri, yanma olayı sonucunda açığa çıkan partikül maddelerinin %90'ını tutarak çok az miktarda doğaya salınmasını sağlamaktadır [17]. Dizel partikül filtrelerinin içten yanmalı motorlarda oluşan partiküllerin ve emisyon değerlerinin doğaya salınım miktarlarını azaltması, bu sistemin geliştirilmesini ve önemsenmesini sağlamaktadır. Genellikle alternatif ticari malzeme araştırmaları, geliştirilen dizel partikül filtrelerinin yapı, özellik ve performans gibi durumlar üzerindeki etkileri ve filtre tasarımları gibi çalışmalar dizel partikül filtreleri geliştirme çalışmalarını oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın amacı perlit ve pomzadan üretilen filtrelerin gerek özel sektörden gerekse kullanıcıları açısından hem ekonomik hem de daha dayanıklı ve uzun ömürlü dizel partikül filtresi üretmektir. Perlit ve pomza taşının hafif olması, kullanılabilirliği, sıcaklığa dayanıklılığı, malzeme temininin kolay olması ve ekonomik açıdan uygun olması dizel partikül filtrelerinde kullanılabilirliği açısından oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır. Son yıllarda artan motorlu araç ve taşıt sayısına bağlı olarak egzozlardan çıkan zararlı gazlardan dolayı ciddi şekilde çevreyi kirletmekte ve zarar vermektedir. Çevreyi abluka altına alan zararlı gazlar, gerek insan sağlığı açısından gerekse iş güvenliği açısından ciddi şekilde sorunlar teşkil etmektedir. Bu çalışmanın sonucunda bu zararlı gazların genişletilmiş belirli boyutlardaki perlit ve belirli işlemlerden geçen pomza taşlarının kalıp halinde egzozlara yerleştirilmesi, egzozlardan çıkan zararlı gazları minimum seviye indirmek ve iş güvenliği açısından solunan gaz ve duman yönünden oluşabilecek meslek hastalıklarını alt limitlere çekmek açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmanın, çevreyi koruma çalışmaları ile iş güvenliği açısından belirli ölçüde yapılan çalışmalara katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

1.1. Dizel Motorlarda Emisyon Oluşumu

Fosil kökenli yakıt olan motorinin dizel motorlarda yanması sonucunda açığa çıkan zararlı gazlar egzozdan atmosfere salınırlar. Motorinin ideal şartlarda yanmamasından dolayı açığa çıkan bu gazlar oluşmaktadır. Dizel motorlarda ideal şartlarda yanma mümkün olmadığından dolayı motorlu taşıtlarda emisyon oluşumu gerçekleşmektedir [18].

Fosil kökenli bir yakıt olan motorinin dizel motorlarda yanması sonucunda hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), azotoksitler (NO_x), kükürtdioksitler (SO₂), partikül maddeler ve çeşitli kurşunlu bileşikler açığa çıkmaktadır. Fakir karışımların yanmasıyla çalışan dizel motorlarda en fazla oluşan emisyonlar azotoksitler (NO_x) ve partikül maddelerdir [19].

1.1.1. Hidrokarbonlar (HC)

Hava fazlalık katsayısının birden az olması yeterli miktarda oksijen ve sıcaklığın yetersiz olmasına neden olmaktadır. Bu durum yakıtın tam olarak yanmamasına ve dışarı atılmasına neden olmaktadır [20]. Dizel motorlarda yanma olayı fakir karışımlarla gerçekleştiğinden dolayı benzinli motora göre daha az hidrokarbon (HC) oluşumu meydana gelir.

Dizel motorlarda yanma odasındaki soğuk cidarlarda ısı kayıplarının oluşması, oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlamasına ve alevin sönmesine sebep olur. Bu durum hidrokarbon oluşumuna neden olur [21]. Dizel motorlar soğuk iken ürettiği hidrokarbon miktarı daha fazla olmaktadır. Yük miktarıyla doğru orantılı şekilde artan yakıt miktarı motor sıcaklığını arttırırken oluşan hidrokarbon miktarını da azaltmaktadır.

1.1.2. Karbonmonoksitler (CO)

Düşük düzeyde oksijen (O₂) varlığından dolayı karbonmonoksit (CO) gerçekleşmektedir. Fakir karışımların yanmasıyla çalışan dizel motorlarda karbonmonoksit emisyonu oluşumu düşük düzeydedir.

Hava fazlalık katsayısı, karbonmonoksit oluşumu üzerinde etkili olmaktadır. Soğuk dizel motorlarda karbonmonoksit-karbondioksit oksidasyonu yavaş gerçekleşmektedir. Yük ile doğru orantılı olacak şekilde artan sıcaklıkla birlikte oksidasyon reaksiyonu da hızlanmaktadır. Hava fazlalık katsayısının belirli düzeyin üzerine çıkması, oksijen miktarının yetersiz kalmasına ve bu duruma bağlı olarak karbonmonoksit düzeyinin artmasına neden olmaktadır [22].

1.1.3. Azotoksitler

Motorinin yanmasıyla birlikte hava içerisinde bulunan azot ve oksijenin reaksiyona girmesiyle azotoksitler oluşmaktadır. Kimyasal tepkimeler sonucunda oluşan azot oksitlerin hacimce %90'ını azotoksitler havada oksijen ile reaksiyona girerek bir kısmı azotmonoksite (NO) bir kısmı da azotdioksite (NO₂) dönüşür [23]. Azotoksitlerin oluşumu üzerinde hava fazlalık katsayısı ve sıcaklık gibi faktörler etkili olmaktadır.

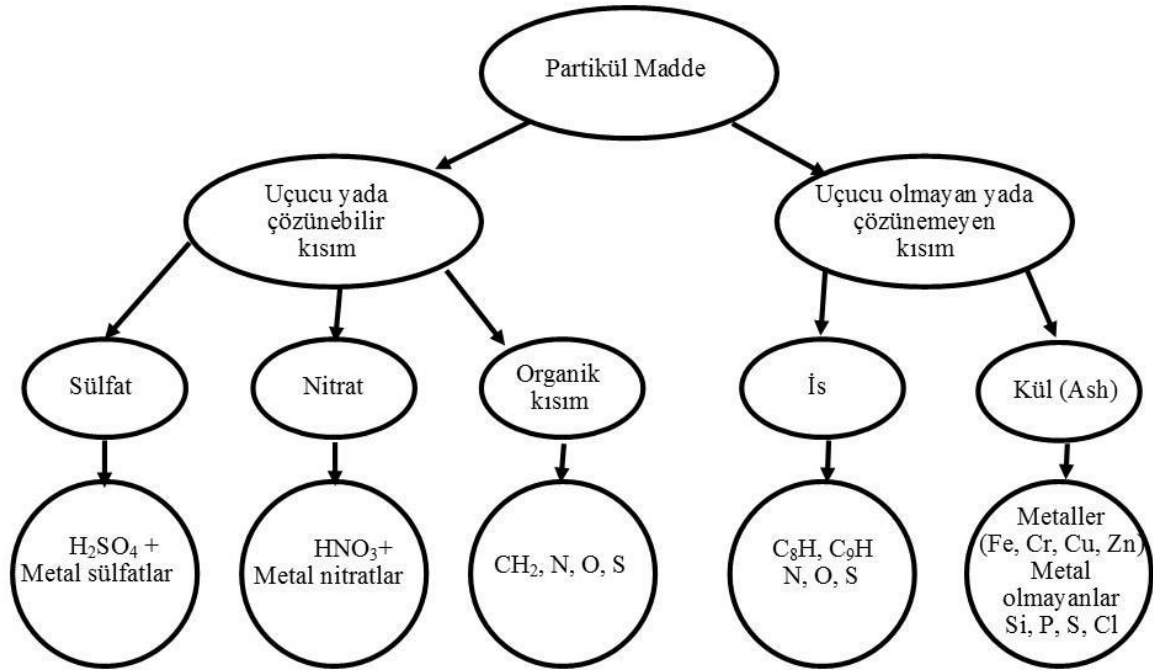
Oksijen oranına bağlı olarak oluşan azotoksitler fakir karışımlarda yüksek oranlarda bulunmaktadır. %10'luk fakir karışımlarda azotoksitler en yüksek orana ulaşmaktadır. Hava fazlalık katsayısının yüksek olması durumunda yanma sıcaklığı düşer. Bu durumdan ötürü azot oksit miktarı azalır [24]. Zeldovich reaksiyonları ile tanımlanan azot oksit oluşumları (1) ve (2) denklemleri ile gösterilmiştir.



Reaksiyon hızları azot oksitlerin oluşumları üzerinde etkili rol oynamaktadır. Reaksiyon hızları sıcaklığa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yanma olayının gerçekleşmesi ile ulaşılabilen en üst sıcaklık değeri korunamadığı için düşmekte ve azotoksitler için kimyasal denge sağlanamamaktadır. Sıcaklık değeri düştükçe kimyasal tepkime yavaşlar ve azotoksitler, azot ve oksijene dönüşmeden donarlar [25].

1.1.4. Partikül Madde

İçten yanmalı motorlarda yanmamış hidrokarbonlar, sülfat, nitrat ve metallerin birleşimi partikül madde olarak isimlendirilmektedir. Partikül maddeler genel olarak çözünebilir ve çözünemez (katı kısım) kısım olmak üzere iki gruba ayrılır [26]. Partikül madde diyagramı Şekil 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 1.1. Partikül madde diyagramı [27]

Yanma odasındaki sıcaklığın yüksek seviyelere ulaşması nedeniyle yanmayan yakıtın sıvı ve gaz halinin katı hale gelmesi sonucunda partikül madde içerisindeki is meydana gelir. İs, birleşimine bakıldığında 1 birim hidrokarbon ile 8 birim karbonun birleşmesiyle oluşmuştur. Dizel motorlarda yanma sonucunda açığa çıkan partikül maddelerin %50'sini is oluşturmaktadır [28]. Sıvı haldeki ve gaz haldeki hidrokarbonlar ısıl dönüşüm, çekirdekleşme, birleşim, yüzey genişlemesi, kümeleşme ve oksidasyon olmak üzere altı aşamadan geçerek isi oluştururlar. Hidrokarbonlar, oksidasyon olayı sonucunda karbonmonoksit, karbondioksit ve su buharını oluşturmaktadırlar.

Azotdioksitler ile su buharının bir araya gelerek nitratları oluştururlar. Nitratlar, partikül madde içerisinde hacimce düşük düzeyde bulunurlar [29].

Demir, magnezyum, alüminyum, bakır ve kurşun gibi maddeler genellikle metal emisyonları oluşturmaktadır. Motor yağında bulunan metaller ve pistonların hareketi segmanlarda meydana gelen aşınmalar metal emisyonların oluşmasına neden olmaktadır [30]. Oksidasyon reaksiyonuna girmeyen yakıtlar ve yağ buharları da organik kısmı meydana getirmektedir.

1.2. Dizel Motorlarda Emisyon Kontrol Yöntemleri

Dizel motorlarda yakıtın yanma odalarında yanması sonucunda açığa çıkan zararlı gazların atmosfere salınımını önlemek amacıyla çeşitli egzoz sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen egzoz sistemleriyle yanma olayı sonucunda açığa çıkan gazların indirgenmesi ve oksidasyon reaksiyonlarına girmesiyle zararsız gazlar haline getirilmesi amaçlanmaktadır. Böylece motorlu taşıtların egzozlarından atmosfere salınan zararlı gazların miktarı azaltılarak çevre kirliliğini önlemek çıkarılan emisyon normlarıyla sağlanmaya çalışılmaktadır. Egzoz emisyon normlarının ilk konulduğu yıllarda basit yöntemler kullanılarak emisyon değerleri düşürülmeye çalışılırken, normlarda yapılan güncellemeler sonucunda birden fazla bileşenin kullanılmasıyla emisyon değerleri düşürülmeye çalışılmaktadır [19].

Taşıtlarda motorun ve filtrelerin zarar görmemesi ve yakıt tasarrufu sağlanması amacıyla partikül filtrelerinde biriken is ve partiküllerin temizlenmesi gerekmektedir. Dizel partikül filtrelerinden is ve partikül maddelerin uzaklaştırılması işlemi rejenerasyon olarak adlandırılır. Rejenerasyon işlemi gerçekleştirilirken filtrenin zarar görmemesi için bazı unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Egzoz gaz sıcaklığı, egzozdaki oksijen miktarı, gaz geri basıncı ve hacimsel akış oranı gibi parametreler rejenerasyon işlemi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlardan bazılarıdır. İs ateşleme sıcaklığı üzerindeki sıcaklık değerleri, dizel partikül maddelerin yanmasına ve geri basıncın düşmesine neden olur [31]. Dizel partikül filtreleri rejenerasyon işlemine göre aktif ve pasif filtreleme sistemleri olmak üzere iki grupta incelenir [32].

1.2.1. Üç Yollu Katalitik Konvertörler

Emisyon gazlarının kontrol edilmesi amacıyla kullanılan ilk yöntem olan üç yollu katalitik konvertörler, emisyon gazlarının azaltılmada kullanılan en çok bilinen yöntemdir. Seramik

(kordierit) ve metal (demir+krom+alüminyum alaşımı) malzeme kullanılarak üretilirler. Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık göstermesi nedeniyle seramik konvertörler daha fazla talep görmektedir. Bunun yanında daha uzun süre kullanım ömrüne ve dayanıklılığa sahip olması metalik katalizörlerin kullanımının tercih edilmesini sağlamaktadır [33].

Dizel motorlarda yanma sonucunda açığa çıkan hidrokarbon, karbonmonoksit ve azotoksit miktarlarını azaltmak amacıyla üç yollu katalitik konvertörler kullanılmaktadır. Platinyum, paladyum ve rodyum gibi pahalı elementler olarak bilinen elementler ile üç yollu katalitik konvertörler kaplanarak emisyon değerleri kontrol altına alınmak amaçlanmaktadır. Pahalı metaller olarak adlandırılan elementler sıvı hale getirilerek katalitik konvertöre eklenmesi sonucu üç yollu katalitik konvertörlerin kaplanması işlemi gerçekleştirilir.

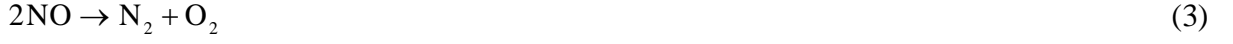
Karbonmonoksit ve hidrokarbon miktarını azaltılmasını platinyum ve paladyum sağlarken, azotoksit miktarı rodyum elementi sayesinde azaltılmaktadır. Karışımın kanallar içerisinde homojen bir şekilde dağılması kaplama işleminin sağlıklı bir şekilde yapılması için gerekmektedir. Üç yollu katalitik konvertörlerde kullanılan toplam platinyum, paladyum ve rodyum elementlerinin kütle toplamlarının, katalitik konvertörün hacmine oranı kaplama miktarını belirler. Üç yollu katalitik konvertörlerin etkililik düzeyi kaplama miktarına bağlı olarak değişmektedir. Kaplama miktarı ile katalitik konvertörlerin etkililik düzeyleri arasında doğru orantı bulunmaktadır. Kaplama miktarının artması maliyeti arttıracığından dolayı emisyon gazlarının düşürülmesine yönelik optimum kaplama miktarının belirlenmesi ve buna göre uygulama yapılması gerekmektedir [34].

Art arda bağlanan iki katalizörden meydana gelen üç yollu katalitik konvertörlerde ilk katalizör indirgenme katalizörü, ikinci katalizör de oksidasyon katalizörü olarak isimlendirilir. Şekil 1.2 üç yollu katalitik konvertöre ait yapıyı göstermektedir.



Şekil 1.2. Üç yollu katalitik konvertör [35]

Yanma olayı sonucunda açığa çıkan azotoksit gazları (NO_x), indirgenme katalizöründe azot (N) ve oksijene (O₂) ayrılmaktadır. İndirgenme katalizörü pahalı metaller olarak bilinen rodyum ve platinyum elementleri kullanılarak kaplanır. Ayrışım tepkimelerine ait denklemler (3) ve (4) denklemleri ile gösterilmiştir.



Üç yollu katalitik konvertörlerde ikinci katalizör olan oksidasyon katalizöründe yanma olayı sonucunda oluşan hidrokarbon ve karbonmonoksit emisyonlarının miktarı azaltılmaktadır. Bu katalizörde gerçekleşen olayların kimyasal denklemleri (5) ve (6) denklemleri ile verilmiştir.



Üç yollu katalitik konvertörlerde hem indirgenme reaksiyonunda hem de oksidasyon reaksiyonlarında zararlı emisyon gazları daha az zararlı gazlar olan karbondioksit ve azota ve zararsız olan su buharına dönüştürülmektedir.

Zengin karışımlarla çalışan benzinli motorlarda dizel motorlara oranla hidrokarbon ve karbonmonoksit üretimi daha yüksek oranda gerçekleşmektedir. Benzinli araçlarda emisyon kontrol sistemi olarak üç yollu katalitik konvertörler daha fazla fayda sağlamaktadır. Bu sistemin kullanımı binek araçlarda daha yaygın bir şekilde görülmektedir.

1.2.2. Dizel Partikül Filtresi

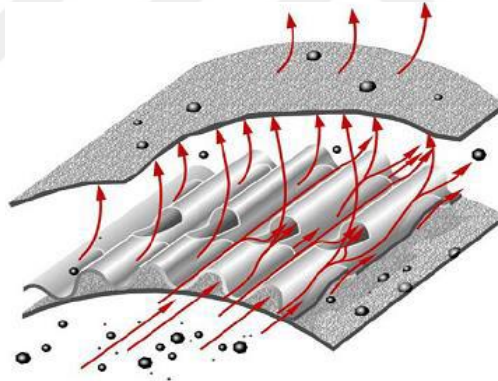
Egzoz emisyonlarının kontrol altına alınmasının bir diğer yolu da dizel partikül filtreleridir. Dizel partikül filtreleri oksidasyon reaksiyonlarından sonra indirgenme işlemi uygulayarak partikül maddelerin büyük bir kısmının tutulduğu sistemlerdir [36]. Fakir karışımlarla çalışan dizel motorlarda partikül madde üretimi zengin karışımla çalışan benzinli motorlara göre daha fazladır. Dizel motorlarda yanma olayı sonucunda oluşan katı ve sıvı maddelerdir. Partikül madde miktarının 10 mikrometrenin altında olması insan sağlığı açısından olumsuz sonuçlar oluşturabilmektedir [37]. Dizel motorlarda oluşan partikül madde emisyonlarının azaltılması

amacıyla DPF sistemi kullanılmaktadır. DPF sisteminde yanma sonucunda oluşan gaz ve partikül maddeler bir boru içerisinde geçerken partikül maddeler tutulmaktadır.

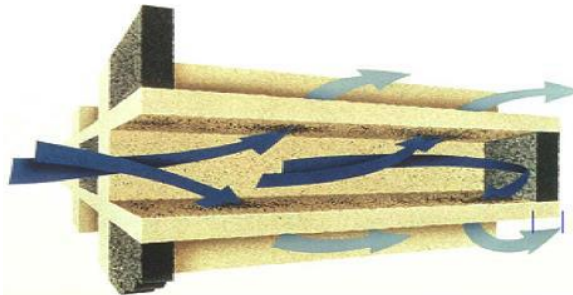
Dizel partikül filtrelerinde aktif kullanımda diğer emisyon kontrol altına alma sistemlerine oranla daha fazla problemlerle karşılaşmaktadır. Süreç içerisinde partikül maddelerin filtre içerisinde birikmesi geri basıncı artırırken ve performans kaybı yaşanmasına neden olmaktadır. Araç motor sıcaklığının belirli bir düzeye ulaştıktan sonra dizel partikül filtresinin devreye girmesi partikül filtresinin verimli çalışmasını sağlamaktadır [34].

Dizel partikül filtreleri yapılarına göre kısmi akışlı ve duvar akışlı olmak üzere iki türe ayrılır. Kısmî akışlı partikül filtrelerinin üretiminde alüminyum-titan (Al_2TiO_5) kullanılırken, duvar akışlı partikül filtrelerinin üretiminde kordierit ve silisyum karbid gibi seramik malzemeler kullanılarak imal edilmektedir [18].

Yanma olayı sonucunda açığa çıkan emisyon gazlarının %60'ının tutulması kısmi akışlı dizel partikül filtreleri sayesinde gerçekleştirilebilirken duvar akışlı dizel partikül filtrelerinde bu oran %99'a ulaşabilmektedir [38]. Otomotiv üreticileri günümüzdeki emisyon normlarına uymak amacıyla duvar akışlı dizel partikül filtreleri kullanmaktadırlar.



Şekil 1.3. Kısmi akışlı dizel partikül filtresi [39]



Şekil 1.4. Duvar akışlı dizel partikül filtresi [40]

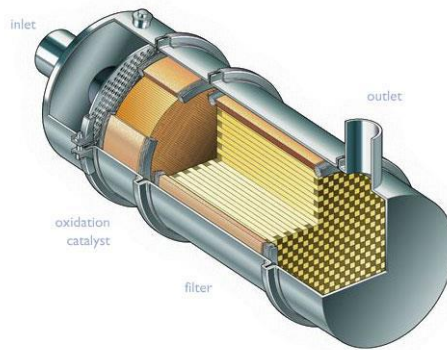
Partikül maddelerin süreç içerisinde filtrede birikmesi, DPF'nin tıkanmasına ve motor performans kayıplarına sebep olur. Dizel partikül filtrelerinin tıkanmasını önlemek ve

tıkanmanın neden olduğu olumsuz durumları önlemek amacıyla temizlenmesi (rejenerasyon) gerekmektedir. Dizel partikül filtrelerinde aktif rejenerasyon ve pasif rejenerasyon olmak üzere iki türlü temizleme sistemi bulunmaktadır [34].

1.2.2.1. Pasif Rejenerasyon

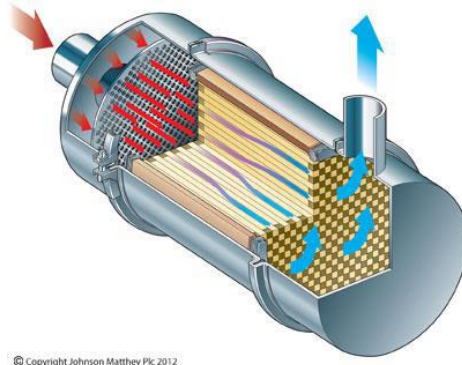
Pasif katalitik reaksiyon kullanılarak yapılan yakma işlemi pasif rejenerasyon olarak adlandırılır. Bu işlemde is partiküllerinin alevlenme sıcaklığının normal egzoz gazı sıcaklığına düşürülmesini aktif demir ve seryum içeren dizel yakıtları gerçekleştirir [41]. Sürekli katalitik rejenerasyon, sürekli rejenerasyon ve katalitik kaplı filtreler diğer rejenerasyon yöntemlerine örnek olarak verilebilir. Pasif rejenerasyon işleminde, partikül filtresi tarafından tutulan partikül maddeler, aracın normal çalışma sürecinde gerçekleştirilir. Bu sebepten dolayı araç kullanıcısının ya da motor yönetim sisteminin rejenerasyon işleminin başlatılması için herhangi bir işlem yapmasına gerek kalmamaktadır [12] [42].

Herhangi bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmayan bu sistemde partikül filtresinin önüne oksidasyon sistemi yerleştirilerek ya da yakıt katkıları kullanılarak partikül maddeler yakılarak imha edilmektedir. Yanma sonucunda açığa çıkan, is olarak adlandırılan hidrokarbon ve karbonlar oksijenle yakılmaktadır. Dizel partikül filtresinin önüne yerleştirilen oksidasyon katalizörü ile hidrokarbon ve karbonmonoksit gazları daha az zararlı gazlara dönüştürülürken azotoksitler üzerinde herhangi bir etkide bulunamamaktadır. Yanma olayı sırasında açığa çıkan azotoksit gazları filtrede biriken is ile tepkimeye girerek daha az zararlı olan karbondioksit gazına dönüştürülür. Azotoksit gazının tepkimeye girmesi için ihtiyaç duyulan azotdioksit gazları, azotoksitlerden temin edilmektedir. Tepkimenin gerçekleşmesi için gerekli olan optimum sıcaklık 250 °C'dir [43]. Sistemin verimliliği düşük sıcaklıklarda artmaktadır.



Şekil 1.5. Johnson Matthey sürekli rejenerasyon sistemi [44]

Bu sistemin bir başka türü ise partikül filtresinin pahalı metaller olarak bilinen platinyum ve palladyum gibi metallerle kaplanarak partiküllerin yakılması esasına dayanarak çalışmaktadır. Bu şekilde ek bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmadan partikül filtresi temizliği yapılmış olur. Bu sistemde verimlilik sıcaklıkla doğru orantılı olacak şekilde değişmektedir. Sistemin verimli çalışabilmesi için sıcaklığın en az çalışma süresinin yarısı boyunca 280°C 'nin üstünde olması gerekmektedir [45].



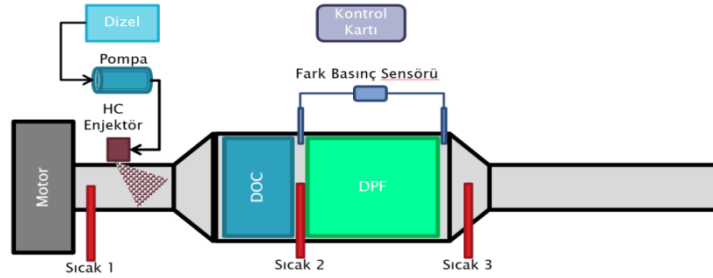
Şekil 1.6. Johnson Matthey kaplama dizel partikül filtresi [46]

Dizel partikül filtrelerinin pasif yolla temizlenmesinin bir diğer yolu da yakıt katkısı kullanmadır. Dizel partikül filtresinde biriken partikül maddelerin miktarı arttıkça ve sistemde geri basınç eşik değerine ulaşıncaya sistem tarafından gönderilen sinyaller sayesinde katkı maddesinin yakıtla karışması sağlanır. Kimyasal katkı ile filtre içerisinde biriken is ve partikül maddelerin egzoz gazları ile temas yüzeylerini arttırmak amaçlanmaktadır. Bu sistemin de verimli çalışabilmesi için sıcaklığın en az sistemin çalışma süresinin yarısı boyunca 380°C sıcaklığın üzerinde çalışması gerekmektedir [47].

1.2.2.2. Aktif Rejenerasyon

Pasif rejenerasyonun verimli çalışma sıcaklığına ulaşamayan durumlarda aktif rejenerasyon sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde egzoz sıcaklığı $550-600^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkarılarak is ve partikül maddelerinin yakılmasıyla dizel partikül filtresinin temizliği gerçekleştirilmektedir. Pasif rejenerasyon sisteminde partikül maddelerin yakılması için herhangi bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmazken aktif rejenerasyon sisteminde ek enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Aktif rejenerasyonun çalışması için gerekli olan sıcaklığa ulaşmak amacıyla farklı enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu sistemde yakıt deposundan çekilen bir hat vasıtasıyla püskürtülen yakıt, egzoz gazı ile birlikte yanar ve sistemin sıcaklığı 550°C 'ye ulaşır. Böylece dizel partikül filtresinde biriken is 20-25 dk sürede yanar ve temizleme işlemi gerçekleşmiş

olur [48]. Temizleme işlemi bittikten sonra sisteme yakıt sağlayan enjektör bağlantısı otomatik olarak kesilir ve sistem normal düzeninde çalışmaya devam eder. Sistem sıcaklığının fazla artmasını önleyen kontrol modülü bulunmaktadır.



Şekil 1.7. HC püskürtmeli aktif rejenerasyon sistemi [45]

Egzoz gazı sıcaklığı nedeniyle sınırlanan pasif dizel partikül filtresi teknolojileri, uygun sıcaklık sağlanamayan birçok dizel motorda sürekli pasif rejenerasyon işleminin gerçekleştirilmesini önlemektedir [49]. Bu durum filtre tarafından tutulan isin sıcaklığını, oksitlenmenin başlayacağı sıcaklık olan 550-600⁰C'ye kadar arttırmayı gerektirmektedir ve bu sistem aktif yöntem olarak adlandırılır [50]. Aktif yöntemde rejenerasyon işleminin periyodik olarak başlatılması için dışarıdan enerjiye ihtiyaç duyulabilir [84]. Aktif sistemde rejenerasyon sıcaklığına ulaşabilmek için gerekli olan sıcaklık değerine ulaşmak için kullanılan enerji, yüksek oranda yakıt tasarrufu sağlar [50].

1.2.2.2.1. Motordan Enerji Elde Ederek Yakma

Gecikmiş püskürtme, son püskürtme, kısma valfi (kelebek) ve egzoz gazı resirkülasyonu geleneksel yöntemler olarak nitelendirilir. Bu sistemde uygun katalistler kullanılarak rejenerasyon işlemini sağlamak ve devam ettirmek için egzoz sıcaklığı 200⁰C'ye çıkarılır. Bu sistem, motorun yakıt tüketimini az da olsa arttırır. Rejenerasyon işleminin gerçekleşme süreci, partikül tutma sürecine göre oldukça kısadır. Bu sistem elektronik enjeksiyonlu yeni motorlarda kullanılabilir [51].

1.2.2.2.2. Yakıt Yakara Filtre Rejenerasyonu

Bu sistem dizel yakıtlı motorlarda kullanılan partikül filtrelerinin rejenerasyon işlemleri için uygundur. Bu sistemlerin bir kısmında yakıt karıştırılan egzoz gazı, filtrenin ön tarafına yerleştirilen katalistte yakılırken bir başka sistemde de egzoz gazı sıcaklığı dizel yakıtlı

brülörün yanma aleviyle artar. Her iki sistemde de rejenerasyon işleminin ısıl denge durumunda gerçekleştirilmesi için kompleks rejenerasyon stratejisine bağlıdır [52].

1.2.2.2.3. Elektrik Rejenerasyonlu Filtreler

Rejenerasyon işleminin on-board ya da off-board şeklinde yapıldığı sistemdir. Araç aküsüne bağlı bir elektrikli ısıtıcı ile gerçekleştirilen on-board rejenerasyon işlemi, elektronik sistem üzerinde ek yük oluşmasına neden olur. Enerji verimi kısmi akış düzeninde ya da sıcak hava rejenerasyonunda daha yüksek seviyededir. Off-board rejenerasyon sisteminde ise harici bir güç kaynağına bağlanarak filtre rejenerasyonu sağlanan sistemlerdir [52].

1.2.3. Seçici Katalitik İndirgeme

Emisyon gazlarının kontrol altına alınmasını sağlayan bu sistemde %32,5'lik su ve %67,5'lik üre karışımından oluşan adblue adı verilen egzoz sıvısı ile yanma olayı sonucunda oluşan gazların reaksiyona girerek azotoksit emisyonlarının azaltılması amaçlanmaktadır [53].

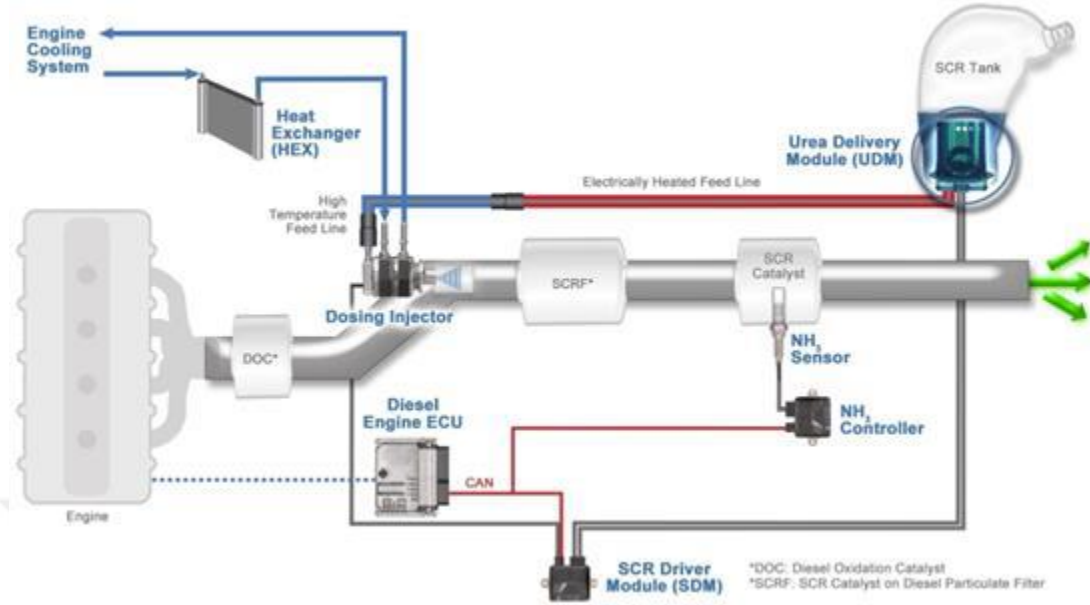
Adblue sıvısı çevreye ve canlılara zarar vermeyen, donma sıcaklığı -11°C olan bir sıvıdır [54]. Adblue sisteminin çalışabilmesi için motorun ısınması gerekmektedir. Araçlarda yakıt deposundan ayrı bir adblue yakıt tankı bulunmakta ve donmaması amacıyla depo ısıtma sistemleri bulunmaktadır.



Şekil 1.8. Adblue tankı [55]

Seçici katalitik indirgenme sistemlerinde su bazlı amonyak ve susuz amonyak olmak üzere iki türlü amonyak kullanılabilir [56]. Toksik özellikli olan susuz amonyak çevreye ve canlılara zararlı olması ve yüksek buhar basıncına sahip olması nedeniyle basınca dayanıklı özel kaplarda depolanması gerekmektedir. Toksik olmayan ve çevreye ve canlılara hiçbir zarar vermeyen sulu amonyak ise daha kolay depolanabilmektedir. %95 oranında azotoksitlerin (NO_x) ve %30-60 oranında partikül maddelerin azaltılmasını sağlayan seçici

katalitik indirgeme sisteminde azotoksitlerin adblue içerisinde bulunan üre ile reaksiyona girmesi sağlanarak, azotoksitlerin (NO_x) azot gazına dönüşümü gerçekleştirilir [57].



Şekil 1.9. SCR sistemi [58]

Seçici katalitik indirgenme sisteminde amonyak miktarının fazla olması zararlı amonyakın çevreye atılmasına neden olurken az olması da azotoksitlerin daha az miktarda azota dönüşümünün yapılmasına neden olmaktadır. Sisteme püskürtülen amonyak oranının 0,9-1 aralığında olması gerekmektedir [59].

Johnson Matthey firmasının patentini aldığı bu sistem, en yaygın kullanılan partikül filtre sistemidir. İnce bir seramik wall-flow filtre ile platin oksidasyon katalistinin bir araya gelmesinden oluşan sistemde iki oda bulunmaktadır. İlk odaya giren kirli egzoz gazı, düzenli bir şekilde katalist boyunca dağıtıcı plakaya çarpar. CO_2 ve H_2O 'yu kullanarak CO ve HC partiküllerini oksitleyen platin oksidasyon, partiküllerin hemen hemen tamamını egzoz gazından filtreler. Egzoz gazı içerisinde kalan partikül maddeler ikinci odada bulunan wall-flow filtre ile tutulur. Filtre tarafından tutulan is, egzoz gazından süzülen NO_2 ile oksitlenir. Partikül maddeler, HC ve CO bileşiklerini egzoz gazından yaklaşık %90'a yakın oranda azaltarak yüksek düzeyde performans gösterir. Bunun yanında %5-10 oranlarında NO_x bileşenlerinin ayrılmasını da sağlar [60, 61].

CCRT sistemleri, oksidasyon katalisti ile egzoz gazı içerisinde bulunan CO ve HC bileşiklerini ayırır ve NO bileşiklerinin bir kısmını NO_2 'ye oksitler. Oluşan NO_2 , partikül madde ile tepkimeye girerek egzoz gazından partikülü uzaklaştırır [62].

1.3. Katalitik Hammadde Olarak Kullanılan Malzemeler

Çalışmada katalitik konvertör malzemesi olarak perlit, pomza ve perlit-pomza karışımı olmak üzere üç farklı malzeme kullanılmıştır.

1.3.1. Perlit

Doğal yollarla meydana gelen silis içerikli volkanik kayalara perlit adı verilmektedir. Perlit ısı verildiğinde genleşme özelliğine sahiptir. Genleşmiş perlit hafif ve gözenekli bir yapıya sahiptir. 6,6 milyar tonluk dünya perlit rezervinin 4,5 milyar tonuna ülkemiz sahiptir. Perlitin farklı renk ve yapıda bulunan türleri bulunmaktadır. Açık griden siyaha kadar farklı renkleri bulunan ham perlit, genleştiğinde beyaz renge dönüşür. Perlitin kararlılığını yapısında bulunan %2-6 oranındaki su sağlamaktadır [63].

Ham perlit ile genleşmiş perlit arasında fiziksel olarak bazı farklılıklar bulunmaktadır (Çizelge 3, 4). Genleşmiş perlit sahip olduğu hafif yapısı, yüksek sıcaklığa ve ateşe olan dayanıklılığı ve emici özelliğinden dolayı sanayide çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Genleşmiş perlit öğütülerek filtre yapımlarında kullanılmaktadır [63].

Çizelge 1.3. Düşük sıcaklıkta genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri [64]

Renk	Gri, siyah
Yumuşama Noktası	800-1100 °C
Ergime Noktası	1315-1390 °C
pH	6-6,8
Spesifik Isı	0,2 kcal.kg. ⁰ C
Özkütle	2,2-2,4 g/cm ³
Serbest nem	0,5
Ağırlık kaybı	%0,5

Çizelge 1.4. Yüksek sıcaklıkta genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri [64]

Renk	Beyaz
Isı İletkenliği	0,034-0,04 kcal.mh. ⁰ C
Ergime Noktası	1300 ⁰ C
Kaba yoğunluk	32-180 kg/m ³
Spesifik Isı	0,2 kCal/kg. ⁰ C
Özkütle	2,2-2,4 g/cm ³
Ses Yalıtkanlığı	18 dB (125 Hz'de)

1.3.1.1. Perlitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Perlitin %90-97'sini cam, %3-10'unu kristalleşmiş feldspat ve biotit oluşturmaktadır. Perlit, yumuşama sıcaklığına kadar ısıtıldığında hacmi dört ile yirmi dört kat artarak genişlebilmektedir. Perlitin genişleme oranı yapısında bulundurduğu %2-6 oranındaki kristal suyunun oranına bağlıdır. Perlitin sıcaklığının hızlı bir şekilde 870 ⁰C'nin üzerine çıkarılması, yapısında bulundurduğu kristal suyunun buharlaşmasına ve perlit taneciklerinin patlamasına neden olmaktadır. Patlayan perlit taneciklerinin yüzeyinde çok sayıda gözenekler oluşur. Patlamış perlit sahip olduğu gözenekler sayesinde iyi bir ses ve ısı izolasyonu sağlarken aynı zamanda gazların da tutulmasını sağlayan iyi bir filtre görevi görebilmektedir. Perlitin yapısı incelendiğinde nitrat, sülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde içermediği, içerisinde belirli bir oranda su içerdiği saf bir volkanik kayadır (Çizelge 5). Ham perlit 2000-2100 kg/m³, kırılmış ve elenmiş perlit 2200-2400 kg/m³ yoğunluğa sahip iken genleşmiş perlit 32 kg/m³ ile 180 kg/m³ yoğunluğa sahiptir [65].

Çizelge 1.5. Düşük sıcaklıkta genleştirilmiş perlitin kimyasal bileşenleri [64]

SiO₂	71-75	SO₃	0-0,2
AlO₃	12,5-18	FeO	0-0,1
NaO	2,9-4	Cr	0-0,1
K₂O	0,5-5	Ba	0-0,05
CaO	0,5-2	PbO	0-0,03
Fe₂O₃	0,1-1,5	NiO	Eser
M₂O	0,02-0,5	Cu	Eser
TiO₂	0,03-0,2	Be	Eser
H₂O	2-5	Serbest Silis	0-0,2
MnO₂	0-0,1	Toplam Klorürler	0-0,2

1.3.1.2. Perlit Üretimi

Açık işletmecilik yöntemi ile üretilen perlit kırma-öğütme-sınıflandırma işlemlerine tabi tutularak genişletilmiş perlit haline dönüştürülür. Perlit hazırlanmasında şu hususlara dikkat edilmelidir [66]:

- Perlitin modüllerine ayrılması veya tanelerinin küp şeklinde elde edilmesi,
- Perlit taneciklerinin yeterli incelikte ve kabuk dokusunu koruyarak ihtiyaç duyulan tane büyüklüğünde kırılması,
- Kırılması ve öğütülmesi oldukça kolay olan perlitin tane dağılımı kırma darbeleriyle ayarlanabildiği için uygun kırıcı ve öğütücü kullanmaya dikkat edilmelidir.

Perlit işleminde sırasıyla şu işlemler uygulanır:

- Ön öğütme
- Kurutma
- Öğütme
- İnce öğütme
- Eleme, sınıflandırma, boyutlama
- Depolama

Öğütme ve boyutlandırma işleminden geçen ham perlit türüne bağlı olarak 700-1200⁰C sıcaklık değerlerine getirildiğinde bünyesinde bulunan su buharlaşır ve perlit tanecikleri mısır gibi patlayarak hacminin yaklaşık 4-30 katına kadar büyüyebilir. Genleştirilmiş perlitin yüzeyinde çok sayıda gözenek bulunurken camsı bir yapı haline gelir [65].

Perlitin genişletilmesinde şu dört unsur etkili olmaktadır:

1. Ham perlitin cinsi
2. Ham perlitin ısıtılma süresi
3. Perlit tanelerinin büyüklüğü
4. Genleşme sıcaklığı

Ham perlit tesislerde genişletilirken ham perlitin depolanması, genişletme, ayırma ve ambalajlama aşamalarından geçerek hazırlanmaktadır. Ham perlitin türüne ve ihtiyaç duyulan perlit boyutuna göre genişletme işleminde kullanılan fırının tipi değişmektedir [64].



Düşük sıcaklıkta genleştirilmiş perlit



Yüksek sıcaklıkta genleştirilmiş perlit

Şekil 1.10. Düşük ve yüksek sıcaklıkta genleştirilmiş perlit görüntüsü

1.3.1.3. Perlitin Özellikleri

1.3.1.3.1. Gözeneklilik

Genleştirilmiş perlit yüzeyinde çok sayıda gözenek bulunmaktadır. Bu gözenekler perlitin absorptiflik (emcilik) ve adsorptiflik (soğuruculuk) özelliği göstermesini sağlamaktadır. Genleştirilmiş perlit bu özelliğinden dolayı çeşitli alanlarda filtre üretiminde ve ısı ve ses yalıtımı sistemlerinde tercih edilmektedir. Genleştirilmiş perlit ayrıca tarım, ilaç sanayi ve kimyasal taşıma araçları yapımında da kullanılmaktadır [67].

1.3.1.3.2. Hafiflik

Genleştirilmiş perlitin sahip olduğu gözenekli yapısından ötürü hafiflik özelliğine sahiptir. Ham perlitin türüne, tane boyutuna ve genişleme oranına göre genleştirilmiş perlitin birim hacimdeki ağırlıkları değişiklik göstermektedir. Perlit, hafiflik özelliğinden dolayı çeşitli dolgu malzemesi ve prefabrik malzeme üretiminde tercih edilmektedir [67].

1.3.1.3.3. Isı ve Ses Yalıtımı

Genleştirilmiş perlitin sahip olduğu gözenekli yapıdan dolayı ses ve ısı yalıtımı özelliği göstermektedir. Bu özellik perlitin çimento ve alçı gibi sıva malzemelerine katılarak inşaat alanında kullanılmasını sağlamıştır. Ayrıca ekonomik uygunluk, ateşe dayanıklılık ve antibakteriyel özelliklerinden dolayı diğer yalıtım maddeleri karşısında oldukça avantajlıdır.

Perlit, ısı yalıtım sistemlerinin yanı sıra ses yalıtım sistemlerinde de önemli katkılar sağlamaktadır. 5 cm kalınlığa sahip perlit 13 dB'lik bir ses yalıtımı sağlarken aynı kalınlığa

sahip cam yünü 12 dB, strafor 13 dB ses yalıtımı sağlamaktadır. Piyasada ses yalıtımı malzemesi olarak kullanılan malzemelere göre daha ekonomik ve uzun ömürlü olması ses yalıtımı malzemesi üretiminde sağlayacağı en önemli avantajlardır [67].

1.3.1.3.4. Kimyasal Pasiflik

Kararlı yapıya sahip olan perlit, suda çözünmemekte ve kimyasal tepkimelere girmemektedir. Yalnızca derişik hidroklorik asitte çözünebilen perlit sahip olduğu kimyasal pasiflik özelliği nedeniyle kimyasal maddelerle kullanılabilir. Bu özelliğinden dolayı filtre yapımında, kimyasal madde taşıma aracı ve yalıtım maddesi yapımında kullanılabilir [67].

1.3.1.3.5. Yanmazlık

Yalıtım özelliğine sahip olan perlit anorganik yapıya sahip olup, organik yapılı yalıtım malzemeleri karşısında yanmazlık özelliğiyle üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıklara mukavemet gösterme ve yangınlarda zarar görmemesi yapı inşaatlarında kullanımında önemli avantajlar sağlamaktadır [67].

1.4. Pomza

Pomza, boşluklu ve süngerimsi yapıya sahip volkanik kayalardır. Sahip olduğu gözenekli yapısından dolayı fiziksel ve kimyasal etkilere karşı yüksek mukavemete sahip olmasının yanı sıra aynı zamanda ısı ve ses yalıtımında da etkili bir kayadır. Pomza, perlit gibi yapısında kristal suyu bulundurmaz. Pomzanın kimyasal bileşenleri Çizelge 6'daki gibidir.

Çizelge 1.6. Pomzanın bileşenleri [68]

SiO₂	60-70
AlO₃	13-15
Fe₂O₃	1-4
CaO	1-2
MgO	1-2
Na₂O	2-5
K₂O	3-4
TiO₂	0-0,1
SO₃	0-0,1
Cl	0-0,1

Pomza üzerindeki gözenekler 1 mm'den küçük, düzensiz, oval ve içeri doğru uzamış boru şekillidirler [69].

Pomzaların tanecik büyüklüğü ile yoğunlukları arasında ters orantı, gözenek yüzdesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Pomzanın yoğunluğunun düşük olması ve gözenek yüzdesinin fazla olması yalıtım maddesi olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Gözenek yüzdesinin fazla olması pomzanın hazır su tesislerinde filtre malzemesi olarak kullanılmasını ve hafif duvar sıvaları elde etmek amacıyla katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Pomza yüzeyinin gözenekli olması mukavemetini düşürücü etki oluşturmaktadır [70].

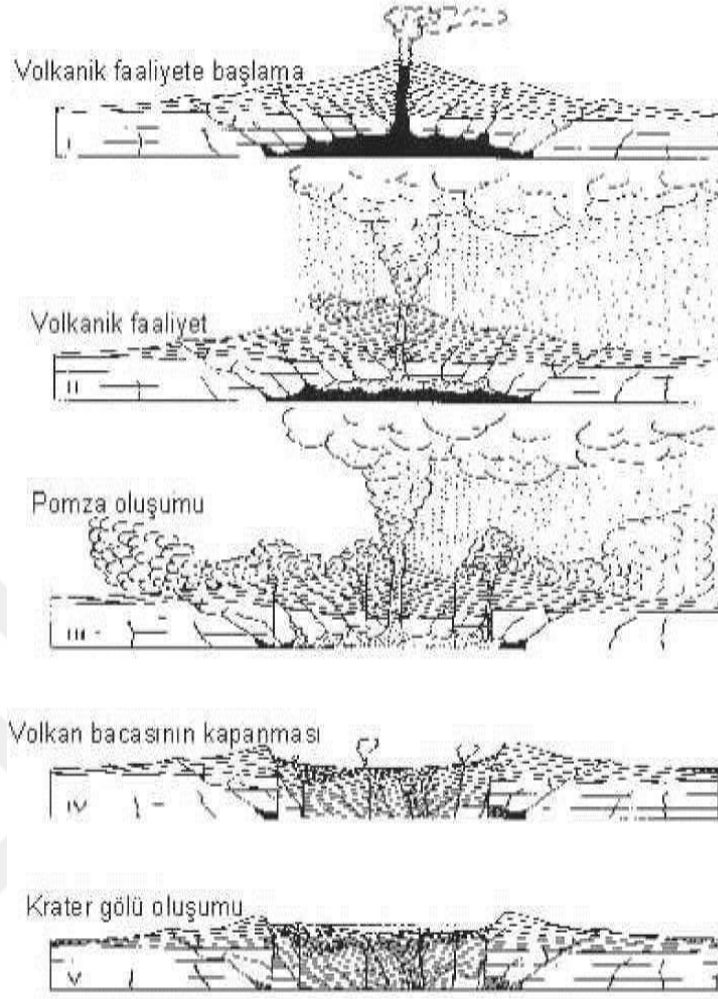
Günümüzde pomza sadece inşaat sektöründe kullanılmayıp bazı sanayi dallarında da endüstriyel hammadde olarak kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda filtre malzemesi, aşındırıcı ve parlaticı ve çimento üretim malzemesi, briket yapımı gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [68].

1.4.1. Pomzanın Oluşumu

Pomzanın, volkanik camsı kayaçlar olan perlit, pekstayn, obsidyenden farklı olarak kendine özgü birtakım özellikleri bulunmaktadır. Pomzanın kristal suyuna sahip olmaması, rengi ve gözenekli yapıya sahip olması diğer kayaçlardan pratik olarak ayrılmasını sağlamaktadır. Ancak asidik pomza ile perlit, renk ve kimyasal birleşim olarak birbirlerine benzediği için birbirinden ayrılmazı zorlaşmaktadır. Pomza ile pomzatik perlit adı verilen geçişli kayaçlar, gözenekli yapısı sayesinde ya da petrografik analiz yöntemi ayırt edilebilmektedir [69].

İçerdiği silisyum, alüminyum, sodyum ve potasyum oranı daha yüksek olan asidik pomza, yüksek oranda kalsiyum, demir ve magnezyum içeren bazik pomzaya göre daha açık ve beyaz renkli iken aynı zamanda yoğunluğu daha azdır [70].

Daha yüksek oranda silis ihtiva eden asidik magmanın viskozitesi, bazik magmaya göre daha yüksektir. Asidik magmanın katı halde bulunduğu sıcaklıkta, bazik magma sıvı haldedir. Artan basıncın etkisiyle, büyük patlamalar sonucunda magmada eriyen gazlar ve asidik malzeme bacadan dışarı püskürür. Ani basınç değişimi sonucunda oluşan ani genişlemeler, uçucu bileşenlerin ani bir şekilde ortamdan uzaklaşmasına neden olur. Geride kalan parçalar, atmosfere temas ettiği anda hızlı bir şekilde soğuyarak pomzayı oluştururlar. Volkanik faaliyetlerin ardından krater gölü oluşumu gözlenebilmektedir. Volkanik faaliyetlerin püskürme süresi, ara süreler, magmanın ihtiva ettiği erimiş gaz oranı, magmanın sahip olduğu ısı miktarı ve magmanın soğuma süresi pomza oluşumu üzerinde etkili olan faktörlerdir (Şekil 11) [71].



Şekil 1.11. Pomza oluşum süreci [71]

Düşme ile yığılma, akma ile yığılma ve fırlatma ile yığılma olmak üzere 3 farklı yolla pomza taşınma mekaniği sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırmanın yüksek oranda değişim düzeyine sahip olduğu düşme ile yığılmada, dar aralıklarda kalan tane büyüklükleri görülür.

Tepelerdeki ve düzlüklerdeki kalınlık düzeyleri oldukça düşük olan pomza oluşumlarının, tabaka kalınlıkları santimetre ya da milimetre cinsinden ifade edilmektedir. Fırlatma ile yığılma şeklinde oluşan pomzalar, kısmen düzgün ve birbiri içine geçmiş tabakalar arasına sızan bazik kayalardan oluşmuş ve patlama esnasında meydana gelen çarpmaların etkisiyle parçalanma ve sıkışma meydana gelmiştir. Akma ile yığılma şeklinde oluşan pomzalarda ise, tabakalarda ayrışma ve farklı boyutlarda oluşum neredeyse görülememektedir. Yabancı taş minerallerinin altta pomzanın üstte serbest halde bulunması bu oluşumun meydana geldiğinin açık bir kanıtıdır [63].

Pomza, inşaat sektöründe dolgu malzemesi ve ısı yalıtım malzemesi olarak tercih edilmesinin yanı sıra, diş macunlarında emici, tarım sektöründe katalizör taşıyıcı ve boya sektöründe dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

1.4.2. Pomzanın Kullanım Alanları

Bazik pomza günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip olmakla beraber en fazla inşaat sektöründe tercih edilmektedir. Pomza, tarım, tekstil, kimya, endüstri, teknoloji ve inşaat sektörü olmak üzere 5 ayrı sektörde kullanılmaktadır [72].

1.4.2.1. Pomzanın Tekstil Sektöründe Kullanımı

Türkiye ekonomisinde önemli pay sahibi olan tekstil sektörü, gün geçtikçe önemini daha da arttırmaktadır. Pomza, tekstil sektöründeki bazı alanlarda çok sık tercih edilen hammaddelerden biridir. Pomza kullanılarak kot taşlama işlemi, kot kumaşlarının ağartılması işlemi ve kumaş yumuşatma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Tekstil sektöründe kullanılan pomza, belli bir fiziko-kimyasal özelliğe sahip olmalıdır [72].

1.4.2.2. Pomzanın Tarım Sektöründe Kullanımı

Gelişmiş ülkelerde pomza, tarımda su kıtlığı yaşanan durumlarda kullanılan önemli yöntemlerden biridir. Suyu çekerek uzun süre muhafaza edebilen pomza, bu şekilde nemli bir ortam sağlayarak bitkilerin su ihtiyaçlarını karşılamada kısmi olarak çözüm sağlamaktadır. Bu durum pomzanın kuraklık durumlarında önleyici yöntem olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Günümüzde ihtiyaçlarını karşılayabilecek kadar su kaynağına sahip olmayan İsrail, Suudi Arabistan ve Kuveyt, su kaynaklarının altına belirli bir seviyeye kadar, belirli kalınlıkta pomza tabakası serilerek, bitkilerin ihtiyaç duydukları su toprak altından karşılanmakta ve bu şekilde suyun bitkinin doğrudan köklerine ulaşması sağlanırken, suyun buharlaşma ile azalması önlenmektedir [72].

1.4.2.3. Pomzanın Kimya Sektöründe Kullanımı

Günümüzde tarım ilaçları, kibrit sanayi, gübre sanayi, diş macunu, dişçilik, temizlik ve deterjan sanayi ve boya sanayinde pomza oldukça fazla tercih edilmektedir. Pomza taşıyıcı olarak tarım ilaçları ve kibrit sanayisinde, gübrenin topraklaşmasını önlemek amacıyla gübre

sanayisinde, dişlerin beyazlaştırılması ve parlatılması amacıyla diş macunlarında, yol çizgileri boyalarında ve bazı sektörlerde absorban madde olarak tercih edilmektedir [72] .

1.4.2.4. Pomzanın Endüstriyel ve Teknolojik Alanda Kullanımı

Pomza günümüzde birçok endüstriyel alanda sık kullanılan bir malzemedir. Kışın karayollarında meydana gelebilecek buzlanmaları önlemede, üstün yol tutuşuna sahip performans lastiklerinin üretiminde, sıcak iklime sahip bölgelerde bitüm oluşumunu önlemek amacıyla asfalt kaplamalarında, hafif ve ısı yalıtımı sağlayan dekoratif tavan malzemesi üretiminde, çiplerin ve elektronik devrelerin temizliğini sağlayan hassas temizlik ürünleri üretiminde pomza çok sık tercih edilmektedir. Bu alanların yanı sıra refrakter madde üretiminde, ısı ve ses yalıtımlı hafif sıva üretiminde, seramik malzemelerin sır tabakalarının üretiminde, su arıtma alanında ve biyoteknoloji alanında absorban madde üretimi çalışmalarında kullanıldığı bilinmektedir [72].

Pomzanın en yaygın kullanım alanını inşaat sektörü oluşturmaktadır. Özellikle ülkemizde üretilen pomzanın %80'lik kısmı hafif beton agregası olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Perlitin kullanıldığı alanların hemen hemen hepsinde pomza kullanılabilir. Pomzanın yoğunluğu, kum ve çakılın yoğunluğunun 1/3-2/3'ü kadar olduğundan dolayı pomza ile yapılan betonlar, kum ve çakıl kullanılarak üretilen betonlara göre daha hafiftir. Bu durum inşaat sektöründe zaman ve işçilik giderlerinin azalmasında etkili olmaktadır.

Zemin mekaniği dikkate alındığında inşaat demiri kullanımında %17 oranında azalma sağlar. Isı iletkenlik katsayısı yüksek olan pomza, normal betona göre yaklaşık 6 kat daha fazla ısı yalıtımı sağlar. Böylece ev ve kurum binalarında kullanılarak yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Elastiki yapıya sahip olması dolayısıyla deprem anında normal betona göre daha fazla dayanıklılık göstermekte ve don olaylarından etkilenmemektedir.

Konut yapımında kullanılan betonun hafif ya da yarı hafif olması enerji kazancı sağlamaktadır. Ayrıca bina yapımında hafif agregalı beton kullanımı ses yalıtımı da sağlayabilmektedir. Bina yapımlarında hafif beton kullanımı ekonomik kazancın yanı sıra aynı zamanda deprem bölgelerinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Deprem kuşağında yer alan bölgelerde inşa edilen bina yapımlarında hafif beton kullanımı ile depremin olası zararlarında azalma görülür.

Günümüzde inşaat teknolojisinde yüksek binaların yapılmasında yüksek mukavemete sahip emniyetli malzemeler tercih edilirken aynı zamanda bu malzemelerin hafif olması da

önem teşkil etmektedir. İnşaat sektöründe talep edilen bu malzemelerin üretiminde pomza kullanılarak üretilbileceği yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Sahip olduğu avantajlardan dolayı pomza inşaat sektöründe her geçen gün daha yoğun ilgi görmektedir [63].

1.5. Ağır Metaller ve Etkileri

Literatürde var olan çalışmalar incelendiğinde yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten büyük olan metaller ağır metaller olarak tanımlandığı görülmektedir. Kurşun, demir, bakır, nikel, cıva, çinko, kobalt, krom ve kadmiyum gibi yaklaşık 60 metal, genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfür gibi kararlı birleşikler halinde ya da silikatların bünyesinde yerkürede bulunurlar.

Dünyada ağır doğal döngüden ziyade daha çok beşeri unsurlar, ağır metallerin dünyada yayılmasına sebep olmaktadır. Kazalar da ağır metallerin yayılmasında önemli rol oynamaktadır. Atmosfere yılda ortalama 7600 ton kadmiyum, 3600 ton cıva, 18800 ton arsenik ve 332000 ton kurşun salınımı gerçekleşmektedir. Beşeri unsurların etkisiyle selenyum oranı 19 kat, kadmiyum oranı 8 kat, cıva, kurşun ve kalay oranı 6 kat, arsenik, nikel ve krom oranı 3 kat artmaktadır.

Endüstriyel faaliyetler, demir-çelik sanayi, çimento sanayi, termik santraller, cam sanayi, çöp ve atık işleme sanayi ağır metallerin salınım oranını arttıran önemli faktörlerin başında gelmektedir. Endüstriyel alanların yaymış oldukları ağır metal oranları, endüstri dalına göre farklılık göstermektedir (Çizelge 1.7).

Atmosfere yayılan ağır metaller, solunum yolu ile hayvan ve insanlar tarafından alınırken, bitkiler ve besin zincirinin diğer basamaklarında yer alan canlılar da toprağa karışan ağır metalleri alırlar. Ayrıca endüstriyel faaliyetler sonucunda içme sularına ağır metallerin karıştırılması ya da fabrika bacalarından çıkarak rüzgar ve diğer unsurlar ile canlılar üzerinde etkili olurlar [73].

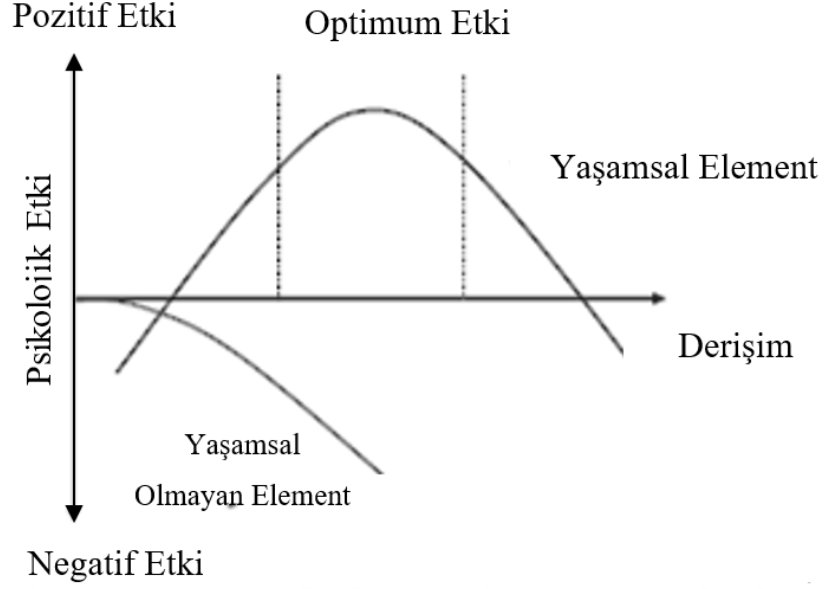
Ağır metaller, biyolojik etkilerine göre yaşamsal ağır metaller ve yaşamsal olmayan ağır metaller olmak üzere iki grupta incelenebilir. Canlı yapısında belirli bir oranda bulunan metaller yaşamsal metaller grubunda bulunurlar. Canlılar bu metalleri besinler yoluyla vücutlarına alarak biyolojik reaksiyonlarda kullanabilmektedirler. Örneğin demir elementi insanların ve hayvanların vücutlarında bulunarak kana kırmızı rengini veren hemoglobin ve vücut savunmasında rol oynayan lenfosit üretiminde rol oynamaktadır. İnsan vücudunda çok az miktarda bulunmaları durumunda bile psikolojik ve fizyolojik hastalıkların görülmesine neden olan ağır metaller yaşamsal olmayan metaller grubuna girmektedirler (Şekil 1.12).

Kükürtlü enzimlere bağlanabilen cıva yaşamsal olmayan metaller grubunda yer almaktadır. Organizmanın türü, metalin yaşamsal grupta ya da yaşamsal olmayan grupta yer alacağını belirlemektedir. Bitkilerde toksik etki gösteren nikel, hayvanlarda belli bir oranda bulunması gereken bir metaldir.

Çizelge 1.7. Ağır Metallerin Kullanıldıkları ve Atıldıkları Endüstriler [74]

Endüstri Adı	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Ti	Tl	V	Zn
Metal Alışımı	•		•	•	•	•			•		•	•	•	•		•			•
Bateri ve Pil Üretimi		•						•	•		•	•		•					•
Tarım	•							•	•							•	•		
Seramik ve Cam Üretimi	•			•							•	•		•			•		•
Kimya, İlaç, Dişçilik	•		•		•	•		•		•		•	•	•	•			•	•
Kaplama			•		•	•				•		•				•			
Elektronik Cihaz Üretimi		•						•					•						•
Gübre	•		•		•			•	•		•	•							
Fosil Yakıt Yakımı	•		•					•				•	•	•					•
Madencilik	•	•	•		•	•		•	•		•	•	•	•		•	•		•
Boya ve Pigment	•		•	•	•	•					•	•	•	•		•			•
Petrol Rafinasyonu	•			•	•	•					•	•							•
Makine						•	•					•							
Plastik Üretimi			•									•							
Kağıt Üretimi					•	•		•				•							
Tekstil	•				•	•													

Ağır metallerin etki düzeyi ve şekli, derişime bağılı olarak sistemlere göre değişiklik göstermektedir. Metal derişimi, bu organizmalarda önemli rol oynamaktadır. İçme suları ve yiyeceklerde bulunabilecek maksimum ağır metal derişim sınır değerleri yasal olarak belirlenmiş ve denetim altına alınmıştır.



Şekil 1.12. Ağır Metal Etkilerinin Derişimle Değişimi [73]

Ağır metaller Şekil 1.12'deki gösteriminin aksine derişimlerine göre canlı vücudunda etki göstermezler. Ağır metallerin derişimlerinin yanı sıra canlı türü ve metalin çözünürlük, kimyasal yapı, tepkimeye girme istekliliği, vücuda giriş şekli, çevrede bulunma durumu ve pH değeri gibi özellikleri de canlı bünyesinde oluşturdukları etkiler üzerinde rol oynamaktadır [73].

İnsan vücudunda ağır metallerin oluşturdukları etkiler ve etkili oldukları basamaklar şöyle sıralanabilir [75]:

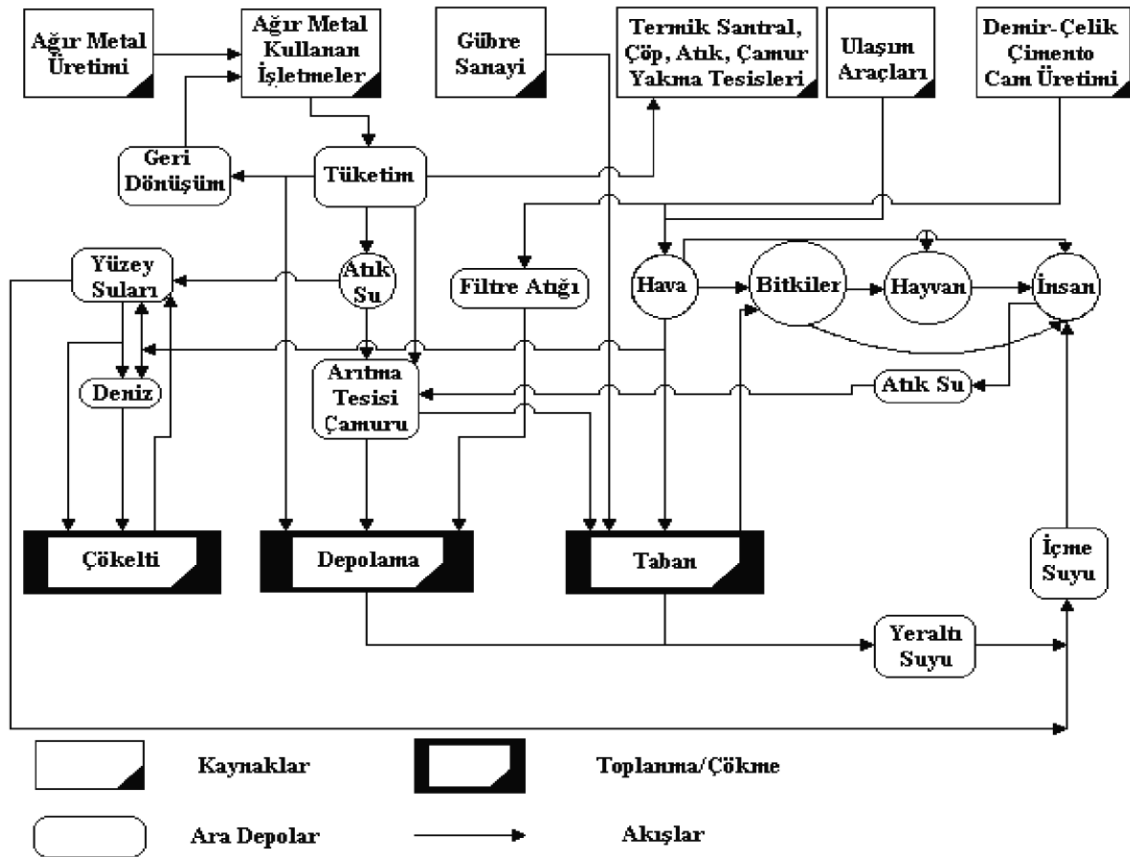
1. Kimyasal tepkimeler üzerinde etkili olanlar,
2. Fizyolojik ve taşıma sistemleri üzerinde etkili olanlar,
3. Genetik yapı ve kanserojen yapıları üzerinde etkili olanlar,
4. Alerjik etki gösterenler,
5. Spesifik etki gösterenler

1.5.1. Ağır Metallerin Yayılması

Yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten daha fazla olan metaller ağır metaller olarak tanımlanmaktadır. Ağır metallerin atmosfere yayılımını çok farklı kaynaklar tarafından gerçekleştirilmektedir. Beşeri faktörler, ağır metal salınımının en önemli sebebini oluşturmaktadır. Hızlı sanayileşme, fosil yakıt kullanımının artması, madencilik faaliyetleri, egzoz emisyonları, evsel atıklar ve endüstriyel faaliyetler sonucunda açığa çıkan ağır metaller, ciddi boyutlarda çevre sorunları

yaşanmasına neden olmaktadır [73]. Asit yağmurları, ağır metallerin yer altı ve yerüstü su kaynaklarına karışmasına neden olmaktadır. Ayrıca endüstriyel faaliyetler sonucunda açığa çıkan atıklar ve evsel atıkların su kaynaklarına karışması da ağır metallerin su kaynaklarına karışmasına sebebiyet vermektedir. Kömür ve metal madenciliği faaliyetleri, deri, metal kaplama ve cila faaliyetleri ve yıkama faaliyetleri sonucunda açığa çıkan atık sular ağır metallerin su kaynaklarına bulaşmasına neden olan endüstriyel faaliyetlerdir [75, 76]. Asit yağmurları vasıtasıyla toprağa ulaşan ağır metaller, çözünerek toprağa karışır ve yeraltı ve yer üstü su kaynaklarına karışarak su kirliliğine yol açar. Ağır metaller, su kaynaklarının etkisiyle seyrelirler ve katı bileşikler olan karbonat, sülfat ve sülfüre dönüşürler. Katı bileşik haline dönüşen ağır metaller su tabanına çökerler ve belirli bölgelerde birikirler. Sonuç olarak bu bölgede adsorpsiyon kapasitesi yetersiz olan sediment tabakasının etkisiyle ağır metal birikimi hızlı bir şekilde devam eder.

Çimento üretimi, termik santraller, çöp ve atık dönüştürme tesisleri, demir-çelik sanayi ve cam sanayi ağır metallerin atmosfere salınmasındaki en önemli faktörlerin başında gelir [73]. Atmosfere yayılan ağır metallerin, endüstriyel faaliyet koluna göre sınıflandırıldığı Şekil 1.13'te şematik olarak gösterilmiştir [73].



Şekil 1.13. Atmosfere yayılan ağır metallerin şematik olarak gösterilmesi [75]

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Haralampous ve arkadaşları [76] bazı bölgelerinde kırıklar olan dizel partikül filtrelerinin zararlı gazları filtre edebilme düzeyindeki farklılıkları incelemişlerdir. Bir boyutlu olarak dizel partikül filtresinin matematik modelini oluşturdukları çalışmalarında, geliştirdikleri modelde akış analizler yapmışlardır. Dizel partikül filtrelerinde kırık olan bölgelerin gazların filtre edilmesini olumsuz yönde etkilediği ve basınç kaybını azalttığı araştırma sonucunda tespit edilmiştir.

Huang'ın [77] dizel partikül filtrelerinin emisyon değerlerini azaltma özelliklerini ve kararsız çevrimde dizel partikül filtrelerinin kendini temizlemesini (rejenerasyon) incelediği çalışmada dizel partikül filtresinde biriken isleri dağınık is emisyonları ve toplu is emisyonları olmak üzere iki gruba ayırmıştır. Dağınık biriken islerin dizel partikül filtresi tarafından daha fazla tutulduğu araştırma sonucunda tespit edilmiştir. Dizel partikül filtrelerinde gazların ilerlediği kanaldaki sıcaklık değişimleri, isin kalınlığı, geçirgenliği, dizel partikül filtrelerinin duvar kalınlığı ve duvar geçirgenliği gibi beş önemli faktörün dizel partikül filtrelerinde basınç kaybına neden olduğunu belirtmektedir. Dizel partikül filtrelerinde toplanmış halde biriken islerin temizlenmesi için dışarıdan enerjiye ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir. Dizel partikül filtrelerinde temizleme işleminin verimli gerçekleşebilmesinin yüksek hızlarda motor sıcaklığının 710⁰K olması ve 2 dakika boyunca belirtilen şartların devamlılığının sağlanmasının gerekliliğini çalışmada belirtmiştir.

Masoudi ve arkadaşları [78] farklı kesitlerdeki malzemelerin bir araya getirilerek oluşturulduğu partikül filtresindeki basınç kaybının matematiksel modellemesini yaptıkları çalışmalarında, dizel partikül filtrelerinin imal edilmesi için farklı boyutlardaki parçaların bir araya getirilmesinin daha uygun olduğunu, tek parça halinde dizel partikül filtresi üretiminin zor olduğunu belirtmişlerdir. Farklı boyutlardaki parçalar kullanılarak arzu edilen boyutlarda ve ekonomik olarak daha uygun miktarlarda dizel partikül filtresi üretiminin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında parçaların bir araya getirilmesiyle oluşturulan dizel partikül filtrelerine ait basınç kaybına ait matematik modelini geliştirmişlerdir.

Konstandopoulos ve arkadaşları [79], sürekli temizleme sistemlerine sahip olan emisyon kontrol sistemleri için akış analizleri yaptıkları araştırmalarında, bu tip emisyon kontrol sistemlerinin oksidasyon katalizörü ve partikül filtrelerinden oluştuğunu belirtmişlerdir. İçten yanmalı motorlarda yanma olayı sonucunda açığa çıkan azotoksitler, oksidasyon katalizöründe azotdioksit (NO₂) gazına dönüştürülürler. Partikül içerisinde biriken is, azotdioksit gazı ile

tepkimeye girerek yanmaktadırlar. Oksidasyon katalizörü ile partikül filtresi içerisinde sürekli gerçekleşen reaksiyonlar nedeniyle rejenerasyon işlemi sürekli devam eder. Bu durum dizel partikül filtresi içerisinde is birikmesi önlenir ve geri basınç kaybı artmaz. Sülfür oranı düşük yakıtın kullanılması sistemin verimli çalışmasını sağlayacağı çalışmada belirtilmiştir. Dizel partikül filtresinin tasarımı, sürekli temizleme sisteminin verimli çalışması üzerinde etkili olmaktadır. Dizel partikül filtrelerinin kanallarının son kısmında bulunan gözeneklere sahip malzemenin filtreleme özelliğine olan etkisi daha önceki çalışmalarında araştırılmıştır. Çalışma sonucunda filtrelerde meydana gelen basınç kaybının nümerik ve CFD sonuçlarında %3'lük hata payı olduğu belirlenmiştir. Geliştirdikleri deney düzeneğinde partikül filtrelerinin akış testlerini yapmışlardır. Partikül filtresinin is biriktirme kapasitesi ile geri basınç kaybı arasındaki ilişkiyi belirleyen matematiksel formülü araştırma sonucunda geliştirmişlerdir.

Lavicka ve Kovarik [80], filtrelerde meydana gelen is birikmelerinin geri basınç kayıpları üzerindeki etkilerini inceledikleri araştırmalarında, temiz filtre, merkezinde is biriken ve is birikmeyen filtre ve daha yoğun is birikimi meydana gelen bölgelerde is biriktirilen filtreler kullanarak nümerik çözümler gerçekleştirmişlerdir. Araştırmalarında Fluent adı verilen sonlu elemanlar yazılımını kullanmışlardır. Araştırmada partikül filtrelerinde is birikiminin, egzoz gazının hızını azalttığı ve bu sebepten dolayı filtreleme verimliliğini düşürdüğü sonucuna ulaşılmıştır.

Stratakis ve arkadaşları [81] DPF'lerdeki basınç kayıplarını ölçmeye çalıştıkları araştırmalarında, DPF içerisinde biriken isin yoğunluğunu ve geçirgenliğini ölçmüşlerdir. Böylece dizel partikül filtresi içerisinde biriken ve yarım temizleme işlemine maruz kalmış islerin partikül filtrelerinde basınç kaybına olan etkilerini tespit etmeye çalışmışlardır. Biriken is miktarı ile geçirgenlik ve yoğunluk değerlerinin çarpımının doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Geçirgenlik ve yoğunluk çarpımının $3,5 \times 10^{-12}$ - $1,15 \times 10^{-11}$ arasında farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmanın bu bölümünde çalışmada kullanılan malzemeler, araştırmanın metodu ve deney aşamalarından söz edilmiştir.

Çalışmanın asıl amacı perlit ve pomzadan üretilen filtrelerin gerek özel sektör açısından gerekse kullanıcılar açısından hem ekonomik hem de dayanıklılık ve uzun ömürlülük açısından değerlendirilmesidir. Perlit ve pomza taşının özelliği gereği hafif, kullanışlı, sıcaklığa dayanıklı, rezervinin kolay bulunabilirliği ve ekonomik açıdan birçok konuda avantaj sağlaması perlit ve pomzanın marka dizel partikül filtrelerinde kullanılabilirliğini arttıracakı düşünülmektedir. Ülkemizde son yıllarda artan motorlu araç ve taşıt sayısına bağlı olarak araç egzozlarından dışarı atılan zararlı emisyon gazları ciddi şekilde çevreyi kirletmekte ve zarar vermektedir. Egzoz emisyon gazları hem insan sağlığı açısından hem de iş güvenliği açısından ciddi problemler açığa çıkarmaktadır. Bu çalışma ile açığa çıkan bu zararlı gazların 2005 model Ford Focus marka aracın konvertörü içerisinde geliştirilmiş belirli boyutlardaki perlit ve belirli işlemlerden geçen pomza taşlarının kalıp haline getirilerek egzozlara yerleştirilmesi ile egzozlardan çıkan zararlı gazları minimum seviye indirilmesi amaçlanırken, iş güvenliği açısından da solunan gaz ve dumanın oluşturduğu meslek hastalıklarını önlemek de araştırmanın bir diğer amacını oluşturmaktadır. Bu çalışmanın günümüzde çevrenin korunması ve iş güvenliği açısından belirli ölçüde yapılan çalışmalara katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Perlit

Araştırma kapsamında üretilen 3 numaralı konvertörde geliştirilmiş perlit kullanılmıştır. Yüksek sıcaklıkta geliştirilmiş perlit taşlarının birbirine bağlayıcılığı açısından partikül boyutlarına göre epoksi vb. malzemeler kullanılarak perlit preslenerek kalıplar haline getirilmiştir. Bunun yanında pomza taşı içinde gerekli geçirgenliğini sağlayıcı işlemler uygulanarak gaz emme durumları ilgili denemelerde bulunulmuştur.



Şekil 3.1. Düşük sıcaklıkta genleştirilmiş perlit



Şekil 3.2. Yüksek sıcaklıkta genleştirilmiş perlit

3.1.2. Pomza

Farklı boyutlarda ve derinliklerde birçok gözeneğe sahip olan pomza, hafif, yüksek izolasyon ve filtreleme özelliğine sahip bir kayadır. Araştırma kapsamında kullanılan pomza özel bir firmadan satın alma yoluyla temin edilmiştir. Geçirgenliğini sağlayıcı işlemler uygulanan pomza taşları filtre içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Pomza taşı

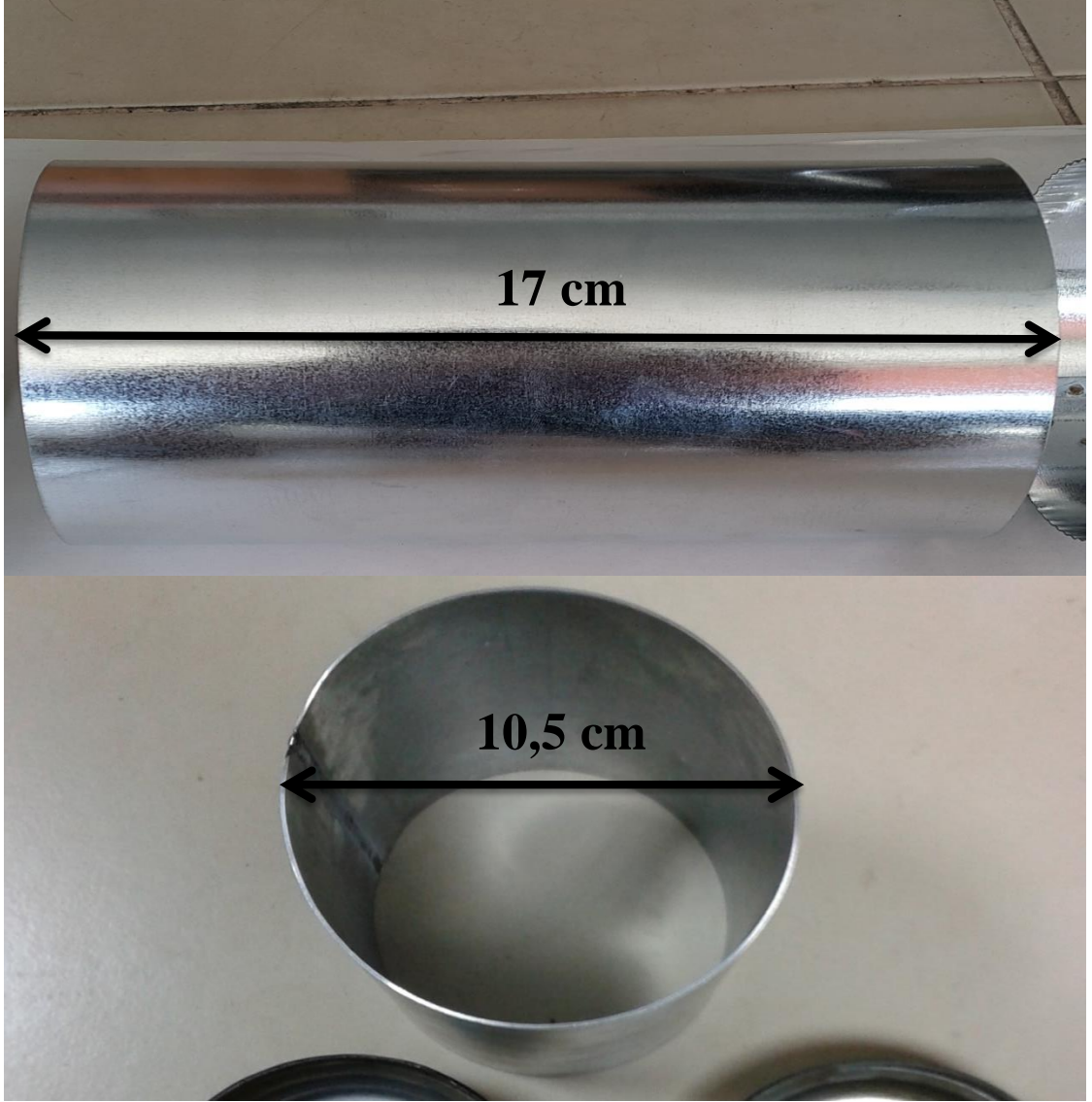
3.2. Yöntem

Katalitik konvertör yapımında kullanılmak üzere sac levhalar kullanılmıştır. Plaka halindeki sac levhalar MVD marka hidrolik giyotin kullanılarak istenilen ebatlarda kesilmiştir.

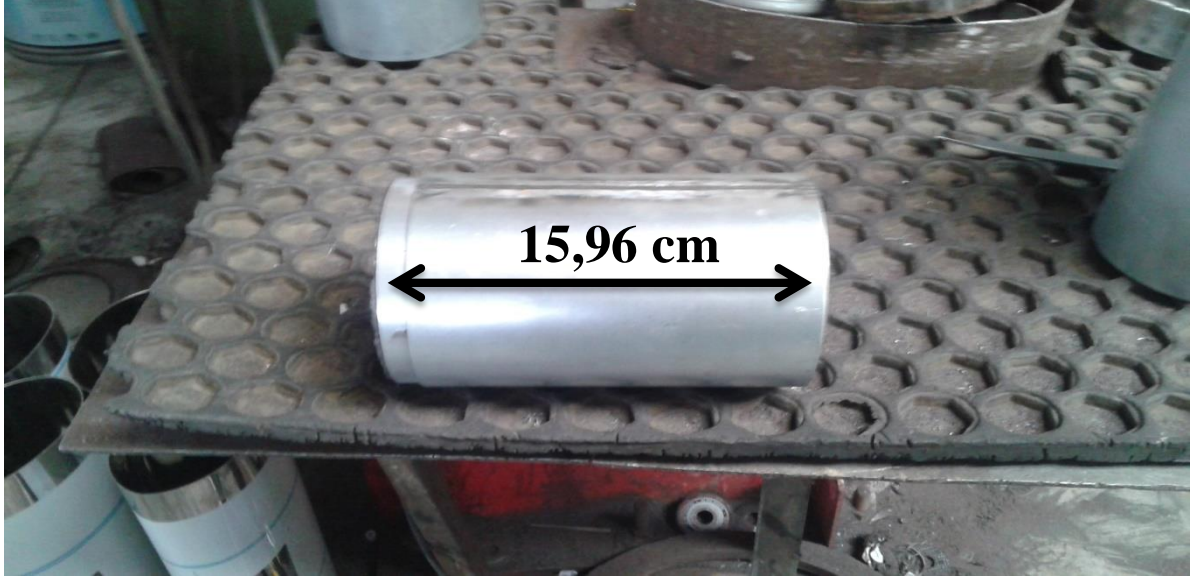


Şekil 3.4. MVD marka hidrolik giyotin makas

Uygun ebatlarda kesimi tamamlanan 12 mm kalınlığındaki sac levhalar konvertör dış kılıfı, konvertör iç kılıfı, ızgara ve kapakların yapımında kullanılmıştır. Öncelikle filtre malzemesinin içerisine konulacağı 17 cm uzunluk ve 10,5 cm çapındaki konvertör iç kılıfından 3 adet hazırlanmıştır.

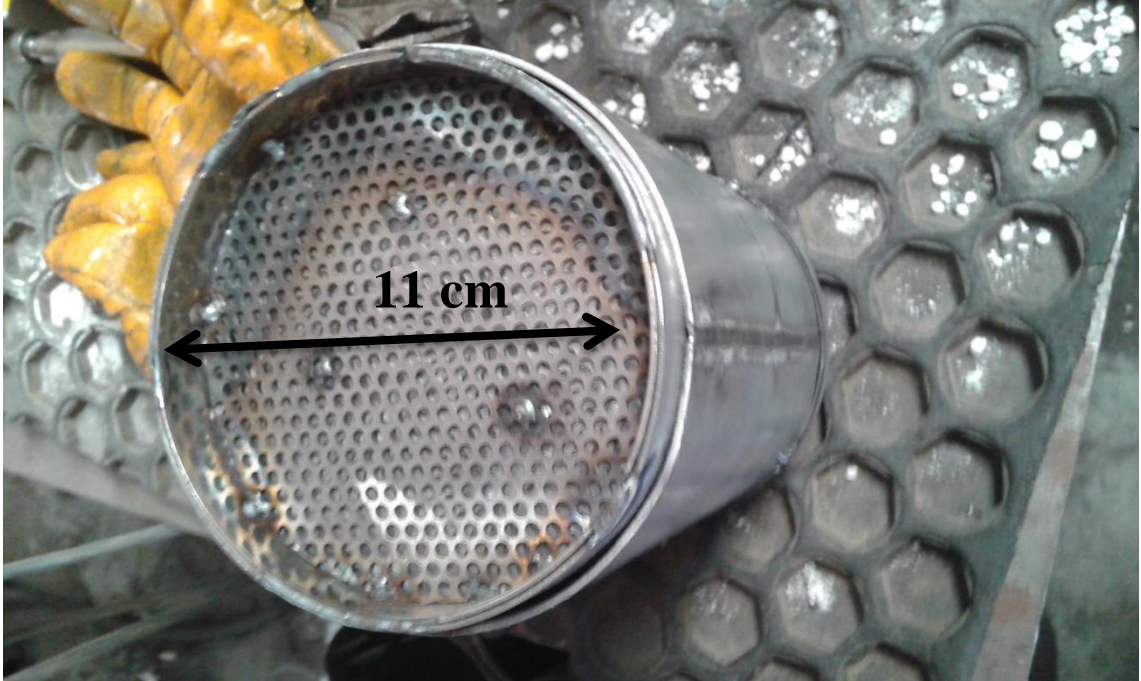


Şekil 3.5. Konvertör iç kılıfı ebatları



Şekil 3.6. Konvertör dış kılıfı

Konvertör iç kılıfının bir ucu 3mm delikli ve 11 cm çaplı ızgara ile bir ucu kaynak ile birleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Delikli ızgara

Konvertörün 3 mm delikli ızgara ile kapatılan ucu, konvertör kılıfı yapımında kullanılan sac kullanılarak imal edilen kapak kapatılarak kaynak ile birleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Konvertör uç kapağı

Bir ucuna ızgara ve kapak montajı yapılan konvertörlerden birinci konvertörün içerisinde pomza taşı, ikinci konvertörün içerisine genişletilmiş perlit-pomza karışımı ve üçüncü konvertörün içerisine perlit ilave edilerek diğer uçlarına da 3 mm delikli ızgara montajı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. İçerisine perlit ve pomza taşı doldurulan 2 numaralı konvertör



Şekil 3.10. İçerisine perlit, pomza ve perlit-pomza karışımı konulan konvertörlerin ızgara ile kapatılması

İki ucu 3mm delikli ızgaralar ile kapatılan konvertörlerin iki ucuna 10,6 cm çapındaki kapaklar kaynak kullanılarak birleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Filtre malzemesi doldurulan konvertörün iki ucunun kapakla kapatılması

İki ucu kapaklarla kapatılan konvertörlerin egzozla bağlantısını yapmak için kapak uçlarına 5 cm boyunda 3 cm çapında bağlantı boruları kaynak yöntemiyle eklenmiştir.



Şekil 3.12. Uçlarına bağlantı boruları eklenen konvertörler

Yapımı tamamlanan konvertörler siyah renge boyanarak sistem montajına uygun hale getirilmiştir.



Şekil 3.13. Boyama işlemi sonrası konvertörler

Perlit, pomza ve perlit-pomza karışımı kullanılarak hazırlanan konvertörlerin emisyon değerleri üzerine olan etkilerini ölçmek amacıyla dizel motor ünitesine montajı yapılmıştır.



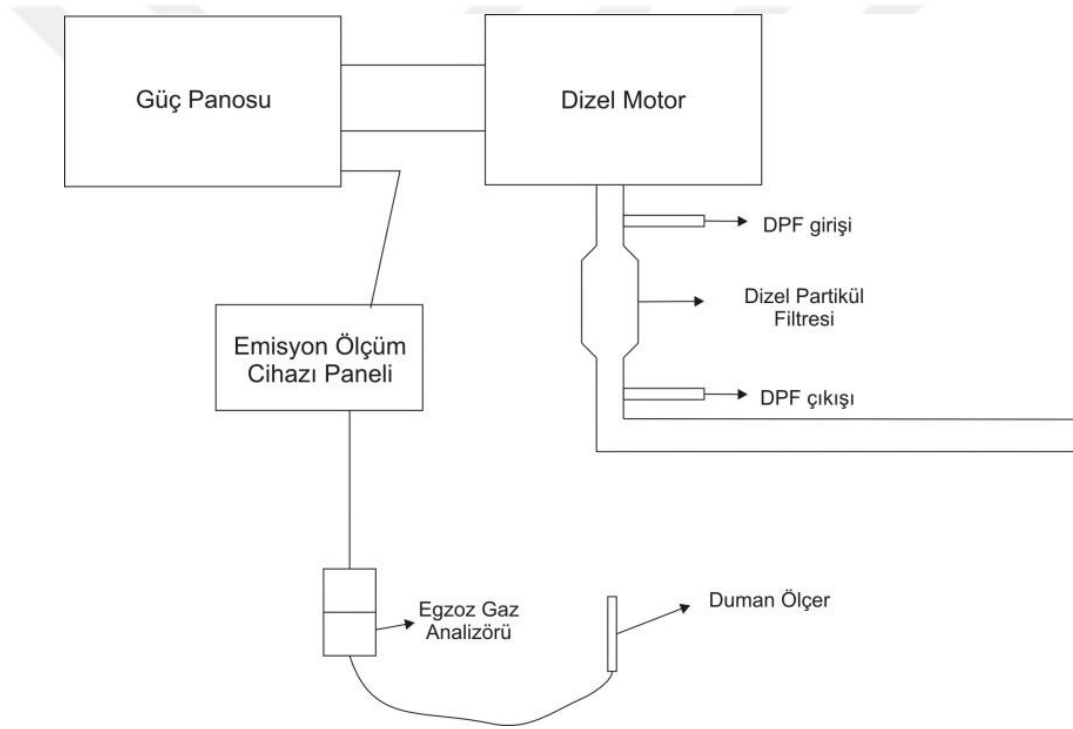
Şekil 3.14. Hazırlanan konvertörlerin dizel motor ünitesine bağlanması

3.3. Dizel Motor Deney Seti

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan 2 silindirli ve V tipi dizel motora sahip jeneratör, 230/400 V alternatör ve çalıştırma ve kontrol ekipmanları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Akso APD 12EM marka jeneratöre ait teknik veriler Çizelge 7’de verilmiştir. İş emisyon ölçümlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği’nde bulunan MRU Air Fair Optrans 1600 marka garaj tipi analiz cihazı kullanılmıştır (Fotoğraf 15). Araştırmada emisyon ölçümüne başlanmadan önce yapılan her bir test için ilgili konvertör kullanılarak motor kararlı hale gelinceye kadar bir süre çalıştırılmıştır. Motor kararlı çalışma şartlarına ulaştığında her bir konvertör ile 3000 dev/dk sabit hızda 1 kW, 2kW ve 3kW güç çıkışlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma esnasında ortamın nem ve sıcaklık değerleri dijital cihazlar ile ölçülüp kontrol altına alınmıştır.

Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Marka ve Model	APD-12EM
Maksimum Standby Güç	3000 dev/dk'da 13,2 kW [18 HP]
Soğutma Sistemi	Su soğutmalı
Hava Emme Sistemi	Doğal emişli
Çap x strok (mm)	80 x 79
Silindir sayısı	2 Silindirli, V Tipi
Püskürtme sistemi	Direkt
Sıkıştırma oranı	18:1



Şekil 3.15. Deney düzeneğinin şematik görünümü



Şekil 3.16. MRU Air Fair Optrans 1600 is probu

Egzoz emisyon ölçümlerinde ve duman koyuluğunu (islilik) ölçmek amacıyla MRU Air Fair Optrans 1600 marka gaz ölçüm cihazı kullanılmış olup cihaz hassasiyeti ile ilgili bilgiler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. MRU Air Fair Optrans 1600 gaz analiz cihazına ait teknik değerler

Emisyon Gazı	K (l/m)	N (%)	Hassasiyet
Duman Koyuluğu (Islilik)	0-1	%0-99,9	%0,01

Araştırmamızda farklı filtre malzemesi kullanılarak üretilen dizel partikül filtrelerinin etkilerini gözlemlemek amacıyla duman yoğunluğu (islilik) ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

3.4. Deneysel Parametreler

Deneyde kullanılan konvertörler içerisine konulan perlit ve pomza miktarları Çizelge 3.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneyde kullanılan malzemeler ve karışım oranları

Konvertör Numarası	Kullanılan Malzeme	Kullanılan Miktar (% Hacim)
1 nolu konvertör	Pomza	%100
2 nolu konverötr	Perlit + Pomza	%50 + %50
3 nolu konvertör	Perlit	%100

4. BULGULAR

Araştırmanın bu bölümünde filtre malzemesi olarak perlit kullanılan pomza taşı kullanılarak oluşturulan 1 numaralı konvertörün, geliştirilmiş perlit-pomza taşı karışımı kullanılarak oluşturulan 2 numaralı konvertörün ve geliştirilmiş perlit kullanılarak oluşturulan 3 numaralı konvertörün, sabit 3000 dev/dk'da 1 kW, 2kW ve 3 kW olmak üzere farklı güç kademelerinde motorun kararlı çalışma şartlarına ulaşmasından sonra 30 sn beklenerek yapılan testlerde ışık absorpsiyon katsayısı (K) ve duman koyuluğu (islilik) oranları (N) hesaplanmış ve grafiklerle sunulmuştur.

4.1. Pomza İle Yapılan Konvertöre Ait Duman Koyuluğu (İslilik) Miktarının Karşılaştırılması

Pomza taşı kullanılarak oluşturulan 1 numaralı konvertörün is ölçümü Şekil 4.1'deki düzenek kullanılarak tespit edilmiştir.

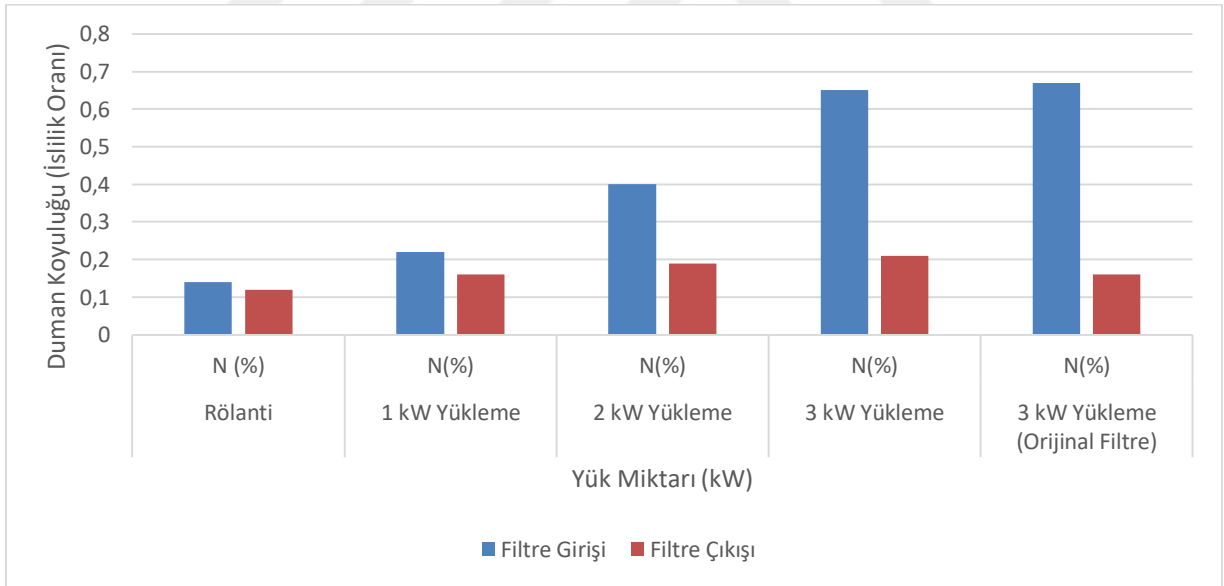


Şekil 4.1. Pomza ile yapılan konvertörün DPF girişinde ölçüm yapma

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen ışık absorpsiyon katsayısı (K) ve duman koyuluğu (islilik) oranları (N) değerleri Şekil 4.2 ve Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Pomza ile yapılan konvertörün farklı yükler altındaki duman koyuluğu (islilik) oranı

Dizel Motor Yük Miktarı	Ölçüm Değerleri	Filtre Girişi	Filtre Çıkışı
Rölanti	K (l/m):	0,032	0,037
	N (%):	0,14	0,12
1 kW Yükleme	K (l/m):	0,037	0,025
	N (%):	0,22	0,16
2 kW Yükleme	K (l/m):	0,043	0,046
	N (%):	0,40	0,19
3 kW Yükleme	K (l/m):	0,058	0,051
	N (%):	0,65	0,21
APD-12EM Jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre orijinal konvertör ölçüm sonuçları (3 kW Yükleme)	K (l/m):	0,061	0,039
	N (%):	0,67	0,16



Şekil 4.2. Pomza ile yapılan konvertöre ait DPF giriş ve çıkışlarında ölçülen duman koyuluğu (islilik) oranı

Şekil 4.2’de verilen grafikte sabit devir ve farklı yük miktarlarında ölçülen duman koyuluğu (islilik) oranları görülmektedir. Pomza ile yapılan konvertörde motorun rölanti durumunda duman koyuluk (islilik) oranının partikül filtresi girişinde daha az olduğu görülürken, motor yük miktarı arttıkça pomza taşı kullanılarak oluşturulan konvertörde duman koyuluk (islilik)

oranında ciddi azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Motorun 1 kW'lık yük altında %15, 2 kW'lık yük altında %27 ve 3 kW'lık yük altında oluşturduğu egzoz gazının ıslilik oranının %68 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Pomza taşı kullanılarak oluşturulan konvertörün motor yük oranı arttıkça duman koyuluk (ıslilik) oranının azaldığı yapılan araştırma sonucunda tespit edildiği söylenebilir. APD-12EM Jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre orijinal konvertörünün 3kW'lık yük altında oluşturduğu egzoz gazının ıslilik oranının yaklaşık %77 oranında düşüş olduğu araştırma sonucunda tespit edilmiştir.

4.2. Perlit + Pomza Kullanılarak Yapılan Konvertöre Ait Duman Koyuluğu (İslilik) Miktarının Karşılaştırılması

Genleştirilmiş perlit-pomza taşı kullanılarak oluşturulan konvertörün 3000 dev/dk sabit devirde 1 kW, 2 kW ve 3 kW yükler altında, motorun kararlı çalışma şartlarına ulaşmasından sonra 30 sn beklenecek duman koyuluğu (ıslilik) oranları ölçülmüştür (Şekil 4.3).

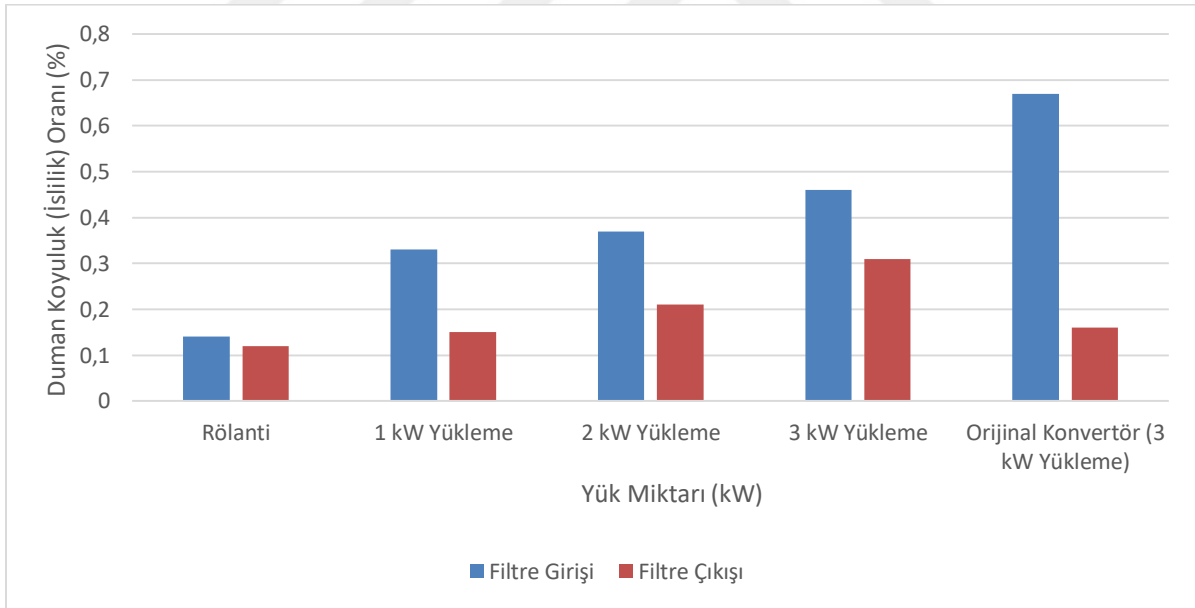


Şekil 4.3. (2) nolu konvertörün DPF girişinde ölçüm yapma

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen ışık absorpsiyon katsayısı (K) ve duman koyuluğu (ıslilik) oranları (N) değerleri Şekil 4.4 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Perlit + pomza kullanılarak yapılan konvertörün farklı yükler altındaki duman koyuluğu (islilik) oranı

Dizel Motor Yük Miktarı	Ölçüm Değerleri	Filtre Girişi	Filtre Çıkışı
Rölanti	K (l/m):	0,032	0,028
	N (%):	0,14	0,12
1 kW Yükleme	K (l/m):	0,075	0,039
	N (%):	0,33	0,15
2 kW Yükleme	K (l/m):	0,082	0,049
	N (%):	0,37	0,21
3 kW Yükleme	K (l/m):	0,134	0,063
	N (%):	0,46	0,31
APD-12EM Jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre orijinal konvertör ölçüm sonuçları (3 kW Yükleme)	K ((l/m)	0,061	0,039
	N(%)	0,67	0,16



Şekil 4.4. Perlit + pomza kullanılarak yapılan konvertöre ait DPF giriş ve çıkışlarında ölçülen duman koyuluğu (islilik) oranı

Şekil 4.4'te verilen grafikte sabit devir ve farklı yük miktarlarında ölçülen duman koyuluğu (islilik) oranları görülmektedir. Motorun rölanti durumunda ve motor yük miktarı arttıkça genişleştirilmiş perlit-pomza taşı kullanılarak oluşturulan konvertörde duman koyuluk (islilik) oranında ciddi oranda azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Perlit + pomza kullanılarak

yapılan dizel partikül filtresi kullanıldığında, motorun 1 kW'lık, 2 kW'lık ve 3 kW'lık yükler altında oluşturduğu egzoz gazının ıslilik oranının %15-35 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Genleştirilmiş perlit-pomza taşı kullanılarak oluşturulan Perlit + pomza kullanılarak yapılan konvertörün motor yük oranı arttıkça duman koyuluk (ıslilik) oranının azaldığı yapılan araştırma sonucunda tespit edildiği söylenebilir. APD-12EM Jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre orijinal konvertörünün 3kW'lık yük altında oluşturduğu egzoz gazının ıslilik oranının yaklaşık %77 oranında düşüş olduğu ve bu değerin pomza + perlit kullanılarak yapılan filtreye göre daha yüksek bir değer olduğu araştırma sonucunda tespit edilmiştir.

4.3. Genleştirilmiş Perlit İle Yapılan Konvertöre Ait Duman Koyuluğu (İslilik) Miktarının Karşılaştırılması

Genleştirilmiş perlit kullanılarak oluşturulan 3 numaralı konvertörün 3000 dev/dk sabit devirde 1 kW, 2 kW ve 3 kW yükler altında, motorun kararlı çalışma şartlarına ulaşmasından sonra 30 sn beklenecek duman koyuluğu (ıslilik) oranları ölçülmüştür (Şekil 4.5).

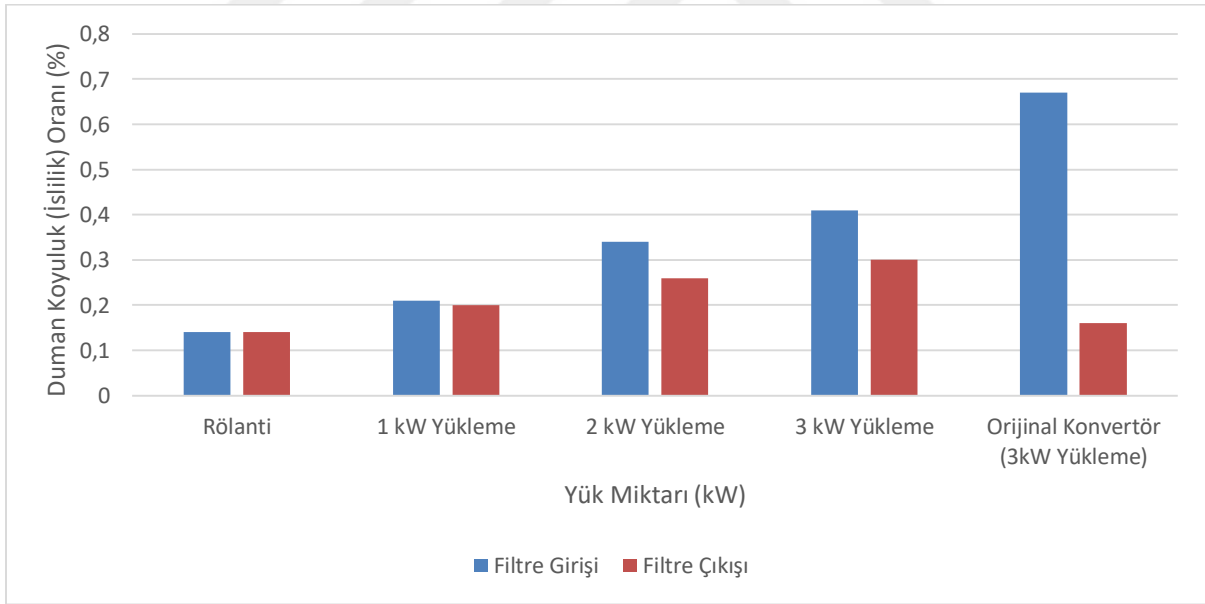


Şekil 4.5. Genleştirilmiş perlit ile yapılan konvertörün DPF girişinde ölçüm yapma

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen ışık absorpsiyon katsayısı (K) ve duman koyuluğu (ıslilik) oranları (N) değerleri Şekil 4.6 ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Genleştirilmiş perlit ile yapılan konvertörün farklı yükler altındaki duman koyuluğu (islilik) oranı

Dizel Motor Yük Miktarı	Ölçüm Değerleri	Filtre Girişi	Filtre Çıkışı
Rölanti	K (l/m):	0,032	0,025
	N (%):	0,14	0,14
1 kW Yükleme	K (l/m):	0,049	0,063
	N (%):	0,21	0,20
2 kW Yükleme	K (l/m):	0,075	0,063
	N (%):	0,34	0,26
3 kW Yükleme	K (l/m):	0,090	0,051
	N (%):	0,41	0,30
APD-12EM Jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre orijinal konvertör ölçüm sonuçları (3 kW Yükleme)	K (l/m)	0,061	0,039
	N (%)	0,67	0,16



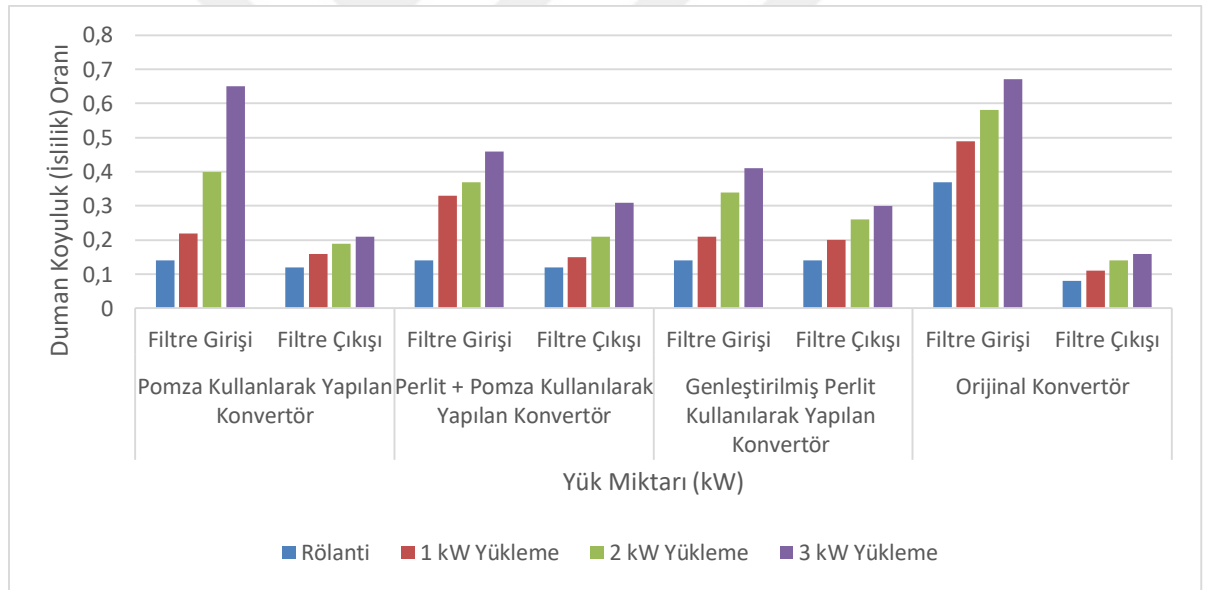
Şekil 4.6. Genleştirilmiş perlit ile yapılan konvertöre ait DPF giriş ve çıkışlarında ölçülen duman koyuluğu (islilik) oranı

Şekil 4.6'da verilen grafikte sabit devir ve farklı yük miktarlarında ölçülen duman koyuluğu (islilik) oranları görülmektedir. Genleştirilmiş perlit ile yapılan konvertörde motorun rölanti durumunda duman koyuluk (islilik) oranının partikül filtresi girişinde ve çıkışında aynı olduğu, motor yük miktarı arttıkça genleştirilmiş perlit kullanılarak oluşturulan

konvertörde duman koyuluk (islilik) oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Motorun 3 kW'lık yük altında oluşturduğu egzoz gazının islilik oranının %50 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Genleştirilmiş perlit kullanılarak oluşturulan 3 nolu konvertörün motor yük oranı arttıkça duman koyuluk (islilik) oranının azaldığı yapılan araştırma sonucunda tespit edildiği söylenebilir. Motor yük miktarı arttıkça duman koyuluk (islilik) oranının azalmasının sebebi egzoz sıcaklığının artması olduğu söylenebilir. 2005 yılı üretimi Ford model araç orijinal konvertörünün 3kW'lık yük altında oluşturduğu egzoz gazının islilik oranının yaklaşık %77 oranında düşüş olduğu ve bu değer genleştirilmiş perlit ile yapılan filtreye göre daha yüksek bir değer olduğu araştırma sonucunda tespit edilmiştir.

4.4. Dizel Partikül Filtrelerinin Duman Koyuluk (İslilik) Oranları Üzerindeki Etkileri

Şekil 4.7'de verilen grafikte dizel partikül filtrelerinde kullanılan malzemeler için sabit devir ve farklı yükler kullanılarak duman koyuluk (islilik) oranları değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Filtre malzemelerinin yüklere göre duman koyuluk (islilik) oranlarına etkisi

Şekil 4.7'de de görüldüğü üzere motor rölantide çalışırken pomza taşı kullanılan pomza kullanılarak yapılan konvertör ile genleştirilmiş perlit-pomza taşı karışımı kullanılarak yapılan konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının arttığı görülürken, genleştirilmiş perlit kullanılan 3 nolu konvertörde oranın değişmediği görülmektedir. 2005 yılı üretimi Ford model araç orijinal konvertöründe ise duman koyuluk (islilik) oranının yaklaşık %78'lik bir oranda azaldığı görülmektedir.

1 kW'lık yük değerinde duman koyuluk (islilik) oranında pomza taşı kullanılarak yapılan konvertörde yaklaşık %5'lik bir azalma gözlenirken genleştirilmiş perlit-pomza taşı

kullanılarak yapılan konvertörde %24'lük bir azalma tespit edilmiştir. Genleştirilmiş perlit kullanılarak yapılan konvertörde 1 kW'lık yük değerinde duman koyuluk (islilik) oranında yaklaşık %27'lik bir azalma meydana geldiği görülmektedir. APD-12EM Jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre orijinal konvertöründe ise duman koyuluk (islilik) oranında %77,5'lik bir azalma gerçekleştiği tespit edilmiştir.

2 kW'lık yük değerinde duman koyuluk (islilik) oranında en fazla azalma orijinal konvertörde görülürken en az oranın genleştirilmiş perlit kullanılan 3 nolu konvertörde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

3 kW'lık yük değerinde duman koyuluk (islilik) oranında en fazla azalma orijinal konvertörde görülürken en az oranın genleştirilmiş perlit-pomza taşı kullanılarak yapılan konvertörde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Duman koyuluk (islilik) oranının düşmesinde en önemli faktörlerden biri egzoz sıcaklık değeridir. DPF girişlerinde ölçülen duman koyuluk (islilik) oranlarının motor yük miktarıyla doğru orantılı olarak arttığı araştırma sonucunda tespit edilmiştir. Dizel partikül filtrelerinde duman koyuluk (islilik) oranındaki en fazla azalmanın yüksek yük değerlerinde olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeninin motor yükü miktarının, egzoz sıcaklık değerleri üzerindeki artırıcı etkisinden dolayı olduğu söylenebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada pomza taşı, genişletilmiş perlit-pomza taşı ve genişletilmiş perlit kullanılarak oluşturulan 3 farklı dizel partikül filtresi hazırlanarak dizel motorunda kullanılmış ve farklı yük değerlerinde duman koyuluğu (islilik) değerleri üzerine olan etkileri incelenmiştir.

Araştırmada yük miktarı ile duman koyuluk (islilik) oranının ters orantılı olduğu yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Bu durumun sebebinin yük miktarının artmasının egzoz sıcaklığını arttırması olduğu söylenebilir. Egzoz sıcaklık düzeyinin artması yakıtın yanma verimini artırarak duman koyuluk (islilik) oranını azaltmaktadır. Motor rölantide çalışırken pomza taşı kullanılarak oluşturulan 1 nolu konvertör ile genişletilmiş perlit-pomza taşı kullanılarak oluşturulan 2 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranı azalırken, genişletilmiş perlit kullanılan 3 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının değişmediği ve orijinal konvertörde de duman koyuluk (islilik) oranının azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum genişletilmiş perlitin düşük egzoz sıcaklıklarında daha iyi filtreleme özelliğine sahip olduğunu göstermektedir.

1 kW'lık yük değerinde duman koyuluk (islilik) oranının pomza taşı kullanılarak yapılan 1 numaralı konvertör ile genişletilmiş perlit-pomza taşı kullanılarak yapılan 2 nolu konvertörde %50-70 oranında azaldığı görülürken, perlit kullanılarak yapılan 3 nolu konvertörde bu oranın sabit kaldığı tespit edilmiştir. Orijinal konvertörde ise duman koyuluk (islilik) oranında bu azalmanın %77,5'lik oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum orijinal konvertörün duman koyuluğu (islilik) oranını azaltmada üretilen konvertörlere oranla daha etkili olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

2 kW'lık yük değerinde en fazla orijinal konvertörde olmak üzere tüm konvertörlerde duman koyuluk (islilik) oranının azaldığı araştırma sonucunda tespit edilmiştir. Bu bulguya göre artan sıcaklık değerlerinin konvertörlerde kullanılan malzemelerin filtreleme özelliğini arttırdığı söylenebilir.

3 kW'lık yük değerinde en fazla orijinal konvertörde olmak üzere tüm konvertörlerde duman koyuluk (islilik) oranının azaldığı araştırma sonucunda tespit edilmiştir. Bu bulgu pomza taşının filtreleme özelliğinin sıcaklık değeriyle daha fazla değiştiğini göstermektedir. Genleştirilmiş perlitin pomza taşına oranla filtreleme özelliğinin daha az olduğu ve sıcaklık değerlerinden daha az etkilendiği araştırma sonucunda tespit edilmiştir.

Dizel partikül filtrelerinde genişletilmiş perlite oranla, pomza taşı kullanımının duman koyuluk (islilik) oranını daha fazla azalttığı ve sıcaklık değerleriyle doğru orantılı

olarak filtreleme özelliğinin arttığı söylenebilir. Ancak geliştirilen konvertörlerde elde edilen duman koyuluk (islilik) oranındaki azalma, orijinal konvertöre oranla daha düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bu durum daha farklı partikül emici maddeler kullanılarak farklı konvertörlerin üretilmesi ve bu çalışmaların daha da geliştirilmesi sonucunu ortaya koymaktadır.

Farklı malzemeler kullanılarak oluşturulan dizel partikül filtrelerinin duman koyuluk (islilik) oranı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan bu araştırma sonucunda, pomza taşının filtreleme özelliğinin genişletilmiş perlite oranla daha yüksek olduğu, sıcaklık değerleriyle doğru orantılı olarak filtreleme özelliğinin değiştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Perlit, pomza ve perli-pomza kullanılarak üretilen üç partikül filtresinin kullanıldığı çalışmada şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Motor rölantide çalışırken;

1. İçerisinde pomza taşı bulunan 1 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının azaldığı tespit edilmiştir.
2. İçerisinde perlit-pomza karışımı bulunan 2 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının değişmediği tespit edilmiştir.
3. İçerisinde perlit bulunan 3 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının azaldığı tespit edilmiştir.
4. Orijinal konvertörde duman koyuluk (islilik) oranındanki azalmanın en yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

1 kW'lık yük değerinde;

1. İçerisinde pomza taşı bulunan 1 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının %5 oranında azaldığı tespit edilmiştir.
2. İçerisinde perlit-pomza karışımı bulunan 2 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının %24 düzeyinde azaldığı tespit edilmiştir.
3. İçerisinde perlit bulunan 3 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının yaklaşık %27 düzeyinde azaldığı tespit edilmiştir.
4. APD-12EM jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre orijinal konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının yaklaşık %77 düzeyinde azaldığı tespit edilmiştir.

2 kW'lık yük değerinde;

1. İçerisinde pomza taşı bulunan 1 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

2. İçerisinde perlit-pomza karışımı bulunan 2 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının en yüksek düzeyde azaldığı tespit edilmiştir.
3. İçerisinde perlit bulunan 3 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.
4. APD-12EM jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre orijinal konvertörde duman koyuluk (islilik) oranında en yüksek düzeyde (%75,5) azalmanın meydana geldiği araştırma sonucunda tespit edilmiştir.

3 kW'lık yük değerinde:

1. İçerisinde pomza taşı bulunan 1 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranının üretilen konvertörler içerisinde en yüksek düzeyde azaldığı tespit edilmiştir.
2. İçerisinde perlit-pomza karışımı bulunan 2 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.
3. İçerisinde perlit bulunan 3 nolu konvertörde duman koyuluk (islilik) oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.
4. APD-12EM jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre orijinal konvertörde duman koyuluk (islilik) oranındaki azalmanın tüm konvertörler içerisinde en yüksek düzeyde olduğu araştırma sonucunda tespit edilmiştir.

Filtreleme özelliğine sahip olan farklı malzemelerin dizel partikül filtrelerinde kullanılması çevre kirliliğinin azaltılmasında önemli rol oynayabilir.

Araştırmada ham perlit ile bir konvertör yapılarak ham perlitin duman koyuluk (islilik) oranı üzerindeki etkisi araştırılabilir.

Bu filtreler başka yakıtlarla denenip ölçüm emisyonları üzerine araştırılabilir.

Farklı filtre tasarımları ile araştırmalar sürdürülebilir.

İçten yanmalı motorun motor ayarları (hakit/hava oranı, ateşleme avansı, püskürtme basıncı vb) değiştirilerek partikül filtreler araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ayhan V, 2009. Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun NOx ve İs Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Doktora Tezi, Sakarya.
- [2] Soruşbay C, 2015. Egzoz Gazları Emisyonu Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makine Mühendisliği, İstanbul.
- [3] Keskin A, Sağıroğlu S, 2010. Dizel Motorlarından Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Kontrol Yöntemleri. Mühendis ve Makina, Cilt 51 (606).
- [4] Keskin A, Sağıroğlu S, 2009. Dizel Motorlarından Partikül Madde Emisyon Kontrolü ve Gelişmeler. 5. Uluslararası Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
- [5] Johnson, TV, 2006. Diesel Emission Control In Review, SAE 2006-01-0030.
- [6] Anonim, İnternet adresi: <https://www.dieselnets.com/standards/eu/hd.php> (Erişim Tarihi: 01.05.2016).
- [7] Anonim, İnternet adresi: <https://www.dieselnets.com/standards/eu/nonroad.php>, (Erişim Tarihi: 01.05.2016).
- [8] Anonim, İnternet adresi: <http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/yonetmelik2011.pdf>, (Erişim Tarihi: 03.06.2016).
- [9] Anonim, İnternet adresi: <https://www.dieselnets.com/standards/tr/nonroad.php>, (Erişim Tarihi: 15.05.2016).
- [10] İcingür Y, 2003. Dizel Motorları ve Yakıt Enjeksiyon Sistemleri Ders Notları. Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara.
- [11] Anonim, İnternet adresi: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf, (Erişim Tarihi: 16.07.2016).

- [12] Yıldız E, 2012. Dizel Motorlarda Azot Oksit Oluşumun Teorik ve Deneysel İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [13] Koltsakis GC, 1997. Stamatelos, A. M. Catalytic Automotive Exhaust Aftertreatment. Progress in Energy and Combustion Science, 23.1: 1-39.
- [14] Dinler N, Yücel, N. Karbüratörlü bir motora üç yollu katalitik konvertör uygulaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19.1, 2004.
- [15] Russell A, Epling W.S., 2011. Diesel Oxidation Catalysts. Catalysis Reviews, 53.4: 337-423.
- [16] Stein HJ, 1996. Diesel Oxidation Catalysts For Commercial Vehicle Engines: Strategies On Their Application For Controlling Particulate Emissions. Applied Catalysis B: Environmental, 10.1: 69-82.
- [17] Majewski WA, 2001. Diesel Particulate Filters. DieselNet.< [https://www. dieselnet. com/tech/dpf. Php](https://www.dieselnet.com/tech/dpf.Php).
- [18] Özkan Y, 2016. Farklı Özellikteki Duvar Akışlı Dizel Partikül Filtrelerinin Basınç Kaybına Etkilerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yük Lisans Tezi, Sakarya.
- [19] Haşimoğlu C, İçingür Y. ve Öğüt H. 2002. Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkulasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi. Turkish J. Eng. Env. Sci., 26: 127-135.
- [20] Mcdonald JF, Purcell D.L., Mcclue B.T., Kittelson D.B., 1995. Emissions Characteristics Of Soy Methyl Ester Fuels in An IDI Compression İgnition Engine (No. 950400). SAE Technical Paper.
- [21] Parlak A, Ayhan V, 2007. Effects Of Using Piston With Thermal Barrier Layer in Spark Ignition Engine On Performance At Wot And Cold Start Hc Emission At İdle, Journal of Energy Institute, Vol. 80, No.4.

- [22] Erdumanlı P, Sekmen Y, Çınar C, 2001. Buji İle Ateşlemeli Değişken Sıkıştırma Oranlı Motorların Egzoz Emisyonları Açısından İncelenmesi, Selçuk-Teknik Online Dergisi / Issn 1302- 6178, Volume 2, Number: 1, Konya.
- [23] Karimi ER., Jane AH., 2004. A Combustion System Investigation To Achieve Low Emissions On a Heavy Duty Diesel Engine, Imech, MEP, pp: 143-149, London.
- [24] Meriçboyu A, Beker ÜG, Küçükbayrak S, 2014. Kömür ve Çevre İlişkileri, Enerji, Çevre ve Hukuku Ders Notları, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir.
- [25] EPA, 1991. Sourcebook, NOX Control Technology Data.
- [26] Ullmann TL, 1989. Investigation Of The Effects Of Fuel Composition On Heavy-Duty Diesel Engine Emissions. SAE Transactions, 98.4: 833-851.
- [27] Ushakov S, 2012. Particulate Matter Emission Characteristics From Diesel Engines Operating On Conventional And Alternative Marine Fuels. Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Doctoral Theses.
- [28] Lee R, Pedley J, Hobbs C, 1998. Fuel Quality Impact On Heavy Duty Diesel Emissions:-A Literature Review. SAE Technical Paper, 982649.
- [29] Villinger J, Federer W, Praun S, 2002. Continuous Pre And Post Catalyst Hydrocarbon And Nitrogen Compounds Monitoring Of Various Denox Reactions By Twin Chemical Ionization Mass Spectrometry. SAE Technical Paper, 2002-01-1679.
- [30] Hill SH, Systma SJ, 1991. A Systems Approach To Oil Consumption. SAE Technical Paper, 910743.
- [31] Anonim, www.cdc.gov/niosh/mining/pubs/pdfs/ic9462.pdf, (12.01.2009).
- [32] Anonim, www.dieselnet.com/tginfo/abstracts.html, (12.01.2009).

- [33] Gandhi HS, Graham G, 2003. Automotive exhaust catalysis. *Journal of Catalysis*, 216.1: 433-442.
- [34] Seven İ, 2017. Bir Dizel Motorlu Jeneratörün Egzoz Emisyonları Üzerinde Farklı Dizel Yakıtların Etkisi. Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Batman.
- [35] Anonim, İnternet adresi: <http://www.aalcar.com/library/converter.htm>, (Erişim Tarihi: 16.05.2016)
- [36] Mariqo MM, 2002. The Effects of The Catalytic Converter And Fuel Sulfur Level On Motor Vehicle Particulate Matter Emissions: Light Duty Diesel Vehicles. *Environmental Science & Technology*, 36.2: 283-289.
- [37] Harris SJ, Mariqo MM, 2001. Signature Size Distributions For Diesel And Gasoline Engine Exhaust Particulate Matter. *Journal of Aerosol Science*, 32.6: 749-764.
- [38] Konstandopoulos AG, Johnson JH, 1989. Wall-Flow Diesel Particulate Filters and Their Pressure Drop And Collection Efficiency. SAE Technical Paper, 890405.
- [39] Anonim, İnternet adresi: <http://www.partikelfilter-fakten.de/en/startpage/nebenstromfilter.html>, (Erişim Tarihi: 23.02.2016).
- [40] Anonim, İnternet adresi: https://www.dieseln.net/tech/dpf_wall-flow.php, (Erişim Tarihi: 10.07.2016).
- [41] Alkemade UG, Schumann B, 2006. Engines and exhaust after treatment systems for future automotive applications, *Solid State Ionics*, 177: 2291–2296.
- [42] Krishna K, Bueno-Lo'pez and etc., 2007. Potential rare earth modified CeO₂ catalysts for soot oxidation I. Characterisation and catalytic activity with O₂, *Applied Catalysis B: Environmental*, 75: 189–200.
- [43] Anonim, İnternet adresi: <http://www.jmdpf.com/diesel-exhaust-filter-system-CRT-NRMM-johnson-matthey>, (Erişim Tarihi: 09.08.2016).

- [44] York AP, 2007. Modeling of The Catalysed Continuously Regenerating Diesel Particulate Filter (CCR-DPF) System: Model Development And Passive Regeneration Studies. SAE Technical Paper, 2007-01-0043.
- [45] Gorsmann C, 2005. Catalytic coatings for active and passive diesel particulate filter regeneration. Monatshefte für Chemie/Chemical Monthly, 136.1: 91-105, 2005.
- [46] Anonim, İnternet adresi: <http://www.jmdpf.com/Diesel-exhaust-catalysed-filter-CSF-system-johnson-matthey>, (Erişim Tarihi: 01.05.2016).
- [47] Campenon T, 2004. Improvement And Simplification Of Dpf System Using A Ceria-Based Fuel-Borne Catalyst For Diesel Particulate Filter Regeneration İn Serial Applications. SAE Technical Paper, 2004-01-0071.
- [48] Singh P, An Experimental Study of Active Regeneration of An Advanced Catalysed Particulate Filter by Diesel Fuel Injection Upstream of An Oxidation Catalyst. SAE Technical Paper, 2006-01-0879, 2006.
- [49] Anonim, <http://www.eminox.com/products/crt-how-it-works.shtml>, (12.01.2009)
- [50] NYSERDA 2007. Clean Diesel Techn.:Non-road FieldDemonstration Program, Interim Report.
- [51] Psarianos DL, 2002. Development of a system for the measurement of soot maldistribution and pressuredrop characteristics in DPFs, Postgraduate specialization thesis, Unv.of Thessaly.
- [52] Anonim, http://sgb.csb.gov.tr/mevzuat/dosyalar/r_20131202100642187_1bac78d2-35fb-4d99-b72f-d5440d59c789.pdf, (12.01.2009).
- [53] Trautwein W, 2003. Adblue As A Reducing Agent For The Decrease Of NOx Emissions From Diesel Engines Of Commercial Vehicles. German Society for Petroleum and Coal Science and Technology.

- [54] Hesser M, Lüders H, Henning R, 2005. SCR Technology For NO_x Reduction: Series Experience and State Of Development. Proceedings of The Diesel Engine Emission Reduction Conference.
- [55] Anonim, İnternet adresi: https://www.dieselnet.com/tech/cat_scr_mobile_urea_dosing.php, (Erişim Tarihi: 17.09.2016).
- [56] Majewski WA, Khair MK, 2006. Diesel Emissions and Their Control. Society of Automotive Engineers.
- [57] Gieshoff J, 2000. Improved SCR Systems For Heavy Duty Applications. SAE Technical Paper, 2000-01-0189.
- [58] Anonim, İnternet adresi: <http://www.hybridcars.com/technologies-greener-gasoline-diesel-and-hybrid-delphi-53674/>, (Erişim Tarihi: 20.05.2016).
- [59] Ström H, Lundström A, Andersson B, 2009. Choice of urea-spray models in CFD simulations of urea-SCR systems. Chemical Engineering Journal, 150.1: 69-82.
- [60] Jeong Y, 2001. The trend of exhaust emission standardand DPF trap technology for diesel powered vehicles,Busan Engine Int. Symp.,December 13-14, Busan, Korea.
- [61] Çanakçı M, Özkesen AN, 2004. Dizel motorlarıyardımcı ekipmanlarındaki gelişmeler, Mühendis veMakine,c.45,s.530, 37-42 s.
- [62] Anonim, <http://www.eminox.com/products/crt-how-it-works.shtml> (12.01.2009).
- [63] Yanık S, 2007. Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- [64] İlhan S, Nurbaş M, Ekmekçi S, Özdağ H, 1997. Pomzanın Biyoteknolojide Adsorbant Olarak Kullanımı, I. Isparta Pomza Sempozyumu, 26-28 Haziran 1997, 39-46.

- [65] Kabak H, 2008. Kullanılan Bazı Tıbbi İlaçların Canlı Aktif Çamur Biyokütlesi Tarafından Adsorplanma Özelliğinin İncelenmesi (Doktora Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- [66] Sarıışık A, Tozaçan B, Davraz M, Uğur İ, Çankıran O, 1998. Pomza Teknolojisi, S.D.Ü. Müh. Fak.-İsbaş, Isparta.
- [67] Bardakçı B, Çiçek E, 2005. Isparta Pomzasının Radyoaktif Atıkların Adsorblanmasında Kullanımı. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 15-17 Eylül 2005, Isparta, 335-338.
- [68] Çevikbaş A, İlgün F, 1997. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 26 – 28 Haziran 1997, Isparta, 13-18.
- [69] Gündüz L, Sarıışık A, Tozaçan B, Davraz M, Uğur İ, Çankıran O., 1998. Pomza Teknolojisi (Pomza Karakterizasyonu), Cilt 1, Isparta.
- [70] Aksay EK, 2005. İzmir-Menderes Yöresi Pomza Cevherinin Kullanımına Yönelik Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [71] Rittmann AL, 1976, Volcanoes, Orbis Publishing, London.
- [72] Reyhanoğlu M, 1988. Pomza ve Kullanım Alanları (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [73] Kahvecioğlu Ö, Kartal G., Güven A., Timur S., 2003. Metallerin Çevresel Etkileri. Tmmob Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, 136: 47 – 53.
- [74] Siegel FR, 2002. Environmental Geochemistry of Potential Toxic Metals. Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- [75] Alacabey İ, 2014. Doğal ve Aktive Edilmiş Van Gölü Sediment (Dip Çamuru) Örneklerinin Bazı Ağır Metallerle Adsorpsiyonunun İzoterm ve Termodinamik

Analizi (Doktora Tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Van.

- [76] Haralampous OA, 2015. Mastellos, D. A Multi Channel Mathematical Model For Partially Failed Diesel Particulate Filters. 8th GRACM International Congress on Computational Mechanics, Yunanistan.
- [77] Huang D, 2011. Modeling Of Diesel Particulate Filter Filtration and Regeneration For Transient Driving Schedules. Michigan Teknoloji Üniversitesi, Doktora Tezi, ABD.
- [78] Masoudi M, 2005. Pressure Drop of Segmented Diesel Particulate Filters. SAE Technical Paper, 01-0971.
- [79] Konstandopolous AG, Kostoglou M, Skaperdas E, Papaioannou E, 2000. Fundamental Studies of Diesel Particulate Filters: Transient Loading, Regeneration and Aging. SAE paper, 2000-01:1016.
- [80] Lavicka DJ, Kovarik P, 2010. Numerical Simulation With Particle Deposition On Channel Walls In The DPF Filter. Experimental Fluid Mechanics, 344-353.
- [81] Stratakis GA, Psarianos DL, Stamatelos AM, 2002. Experimental Investigation Of The Pressure Drop In Porous Ceramic Diesel Particulate Filters. Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 216.9: 773-784.

ÖZGEÇMİŞ

01.05.1988 tarihinde Adana’da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Adana’da okudu. 2009 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünde başladığı lisans öğrenimini 2013 yılında tamamladı. Akabinde 2013 yılında başladığı Sosyal Bilimler Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalında Tezsiz Yüksek Lisans eğitimini 2014 yılında tamamladı. 2014 yılında Tunceli Üniversitesi’nde Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde fark derslerini vererek 2015 yılında Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2017 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda “Hızlı Tren Hatlarındaki Rayların Aşınma Davranışlarının Mikroyapısal Araştırılması” konulu yüksek lisans tezi ile tezli yüksek lisans programından mezun oldu. Şu an özel sektörde İş Güvenliği Şefi olarak görev yapmaktadır.

Erkan YÜKSEL