
Araştırma Makalesi / Research Article

Emisyon Kontrol Uygulamalarında Saf Pomza Taşı Kullanabilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması

Niyazi Yılmaz ÇOLAK¹, Doğan ŞİMŞEK^{1*}

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis

Özet

Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorda egzoz emisyonlarına katalizör olarak saf pomza taşının kullanılabilirliği ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motor tam gaz konumunda, değişik motor yüklerinde teste tabi tutulmuştur. Yapılan çalışma ile atmosferi kirleten ve sera gazı etkisi gösteren emisyonları filtre etmede pomza madeninin etkisi araştırılmış olup sonuçlar grafik olarak verilmiştir. Dizel motordan kaynaklanan zararlı gaz emisyonlarındaki değişim izlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda standart katalizör kullanıldığında HC, CO, NO_x ve is emisyonlarında sırası ile %49, %48, %49 ve %26 oranında bir azalma olduğu, katalizör olarak pomza kullanımında ise, %19, %6, %2-3 ve %12-44 oranında bir azalma olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde pomza madeni oksitleyici ve NO_x indirgeyici özelliğe sahip metal ve soy metaller ile desteklenmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Pomza, Emisyon, Dizel Motor, Katalizör.

Experimental Investigation of the Using Pure Pumice Stone In Emission Control Applications

Abstract

In this study, the usability of pumice stone as catalyst for the exhaust emissions of a single cylinder diesel engine, and its effects on the exhaust emissions are investigated experimentally. The engine is tested under fully open throttle and various engine load conditions. In this study, the performance of pumice material in filtering the pollutant and greenhouse gas emissions is investigated and the results are presented graphically. Change in the harmful gas emissions exhausted from the diesel engine is observed. While 49%, 48%, 49% and 26% reductions in HC, CO, NO_x and soot emissions are achieved by using standard catalyst, using pumice material provided reductions in these emissions as 19%, 6%, 2-3%, 12-44% respectively. Results showed that better results can be obtained by supporting pumice material by oxidizing and NO_x reductive metals and noble metals.

Keywords: Pumice, Emission, Diesel Engine, Catalyst.

1. Giriş

Uzun yıllardır çevre bilincinin gelişmesi ile hava kirliliğinin azaltılması önem kazanmaktadır. Hava kirliliğinin başlıca sebepleri endüstri gazları, konut ısıtmaları sonucu oluşan gazlar, termik santraller ve motorlu taşıt emisyonlarıdır. Hava kirleticileri arasında motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları kirleticilerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır [1]. Motorlu taşıtlar çevreyi; egzoz emisyonu, yakıt, yağ buharı, kursun bileşikleri, asbest ve lastik tozları, aşınma, paslanma ve korozyon sonucu oluşan gaz, sıvı ve katı atıklarla kirletmektedir. Bu kirleticilerin en etkin zararlı ve yoğun olanları egzoz gazında bulunan CO, HC, NO_x ve PM (is, duman vb.) emisyonlarıdır. Bunlardan NO_x ile PM emisyonları daha çok dizel motorlarından kaynaklanmaktadır [2]. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticilerin özellikleri ve yoğunlukları motor tipine, motor ayarına, kullanım tarzına, yakıt bileşimine ve atmosferik şartlara bağlı olarak değişmektedir [3]. Toplu taşımacılıkta ve ağır yük taşıtlarında

*Sorumlu yazar: dsimsek@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 29/01/2017 Kabul Tarihi: 14/06/2017

genellikle dizel motorlar kullanılmaktadır. Bu sebeple dizel motorlarından kaynaklanan emisyonların azaltılması önem kazanmaktadır [4].

Doğrudan ve dolaylı yoldan insan sağlığını ve çevreyi tehdit eden emisyonların kontrolü kaçınılmaz bir hal almaktadır. Gelişmiş ülkelerde motorlu taşıt emisyonlarına sınırlamalar getirilmiş ve bu bağlamda birçok standart geliştirilmiştir. Geliştirilen standartlar emisyonların maksimum değerlerini sınırlamış olup, bu değerlerin aşılması durumunda bir takım yaptırım unsurları içermektedir. Bu sebepten dolayı araştırmacılar içten yanmalı motorlarda egzoz emisyonlarının azaltılması konusunda birçok çalışma yapmaktadır. Yapılan bu çalışmalar doğrultusunda benzinli ve dizel motorlarda emisyon kontrol sistemleri geliştirilmiş olup, emisyonlara karşı bir takım önlemler alınmıştır [5]. Motorlu taşıtlarda egzoz emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak alınan önlemler üç kısımda toplanabilir:

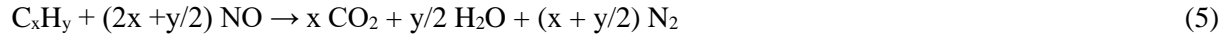
1. Motor öncesinde alınan önlemler; yakıt bileşiminin iyileştirilmesi, alternatif yakıt kullanımı;
2. Motorda alınan önlemler; motorda yapısal olarak alınan önlemler;
3. Motor sonrasında alınan önlemler; egzoz gazındaki zararlı emisyonların azaltılmasına yönelik alınan önlemler [6].

Motor sonrasında hava kirliliğini azaltmaya yönelik önlem olarak kullanılan teknikler; egzoz gazı resirkülasyonu (EGR), termal reaktörler, oksidasyon katizörleri, üç yollu katalitik konvertörler (TWC) ve dizel motorlarında partikül tutuculardır [7]. Katalizörler, kendisi değişime uğramaksızın bir kimyasal reaksiyonun hız ve oranını değiştiren elemanlardır. Termodinamik olarak mümkün olan herhangi bir reaksiyonun hızı, düşük oranda bileşenlerin sıcaklığına bağlıdır. Reaksiyon hızları genellikle yüksek sıcaklıklarda artmaktadır. Katalizörler motor egzozunda oldukça yavaş ilerleyen reaksiyonları hızlandırarak emisyonların kontrol edilebilmesini sağlar [8]. Üç yollu katalitik konvertörde CO ve HC oksidasyonu ile CO₂ ve H₂O, NO_x'in indirgenmesi ile N₂ oluşumunda birçok sayıda reaksiyon olmakla beraber bunların başlıcaları aşağıda belirtilen 7 farklı reaksiyon ile gösterilmektedir [6]. Şekil 1'de katalitik konvertörde gerçekleşen reaksiyonlar gösterilmiştir.

Oksidasyon reaksiyonları:



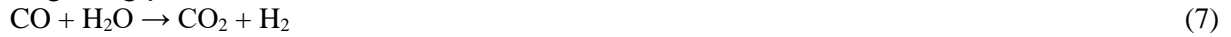
NO_x indirgenmesi:



Buhar Reforming (Steam Reforming):



Su gaz değişimi:



Şekil 1. Üç yollu konvertörlerde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar

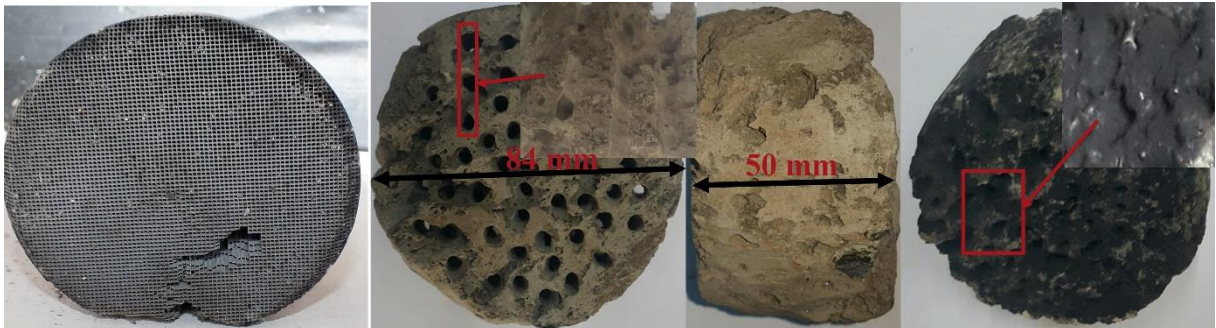
Katalizörler çeşitli bileşiklerden oluşmaktadır. Yaygın olarak Al₂O₃ gibi gözenekli oksitler diğer değerli metallere yataklık yapması için geniş yüzey alanı sağlamaktadır. Buna ek olarak Al₂O₃ katalizörün yüksek termal stabilitesini de artırır. Oluşturulan petek yapı malzemenin yüzeyindeki kayıpları önlemek için baryum oksitlerden oluşan lantan malzemenin üstünde bir katman olarak

bulunmaktadır. Ayrıca asit metal dağılımının stabilize olması ve oksijen depolanması, buhar reformasyon reaksiyonlarını hızlandırmak için yükseltici olarak CeO₂ ilave edilir. Geçtiğimiz son çeyrek yıllarda ZrO₂ nin CeO₂ ye ilave edilmesi oksijen depolanmasını ve elde edilen katalizörün ısıl direncini önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir. Katalizörde elde edilen bu yapı son katmanı olarak Pd (Paladyum), Pt (Platin) ve Rh (Rodyum) gibi değerli metaller aktif katalizör partikülleri olarak en üst katmanı oluşturmaktadır. Bu değerli metaller standart bir katalizörde 2-5.5 gr civarında bulunmaktadır [9,10,11]. Pomza, açık renkli, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli, silisli volkanik bir kayadır. Bir başka deyişle pomza, yoğun boşluk bulunan volkanik camsı bir taştır [12]. Ortalama ergime noktası 1343 °C'dir. 760 °C'nin altında herhangi bir hacim değişikliğine uğramaz. Bu sıcaklıkta dış yüzeydeki lifler buruşur ve çekilir. 480 °C ile 650 °C aralığındaki alevlerde pomza yapısal bozulma ve parçalanmaya uğramaz. Kayacın içerdiği SiO₂ oranı, kayaca abrasif (aşındırıcı) özellik kazandırmaktadır. Bu yüzden çeliği bile rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilir. Al₂O₃ bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır [13]. İçeriğindeki Na₂O ve K₂O tekstil sanayiinde reaksiyon özellikleri veren bileşimler olarak bilinmektedir [14]. Pomza; gözenekli yapısı, kristal suyu ihtiva etmemesi ve hiç bir işlem görmeden doğal olarak kullanılabilmesi pomza taşına oldukça fazla avantaj kazandırmaktadır. Pomza taşının doğal hafifliği diğer yabancı maddelerden arındırma işleminde çok büyük kolaylık sağlamaktadır. İlaç ve boya sanayi, içme suyu, muhtelif gıda suları, muhtelif yağların, glikoz ve fruktozun filtre edilmesinde kullanılmaktadır. Filtrelemede yaygın olarak kullanılan pomza, oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçüğe kadar sayısız gözenek içerir [15,16]. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir [17,18].

Ülkemizde yaklaşık olarak rezervi 2,6 milyar m³ pomza madeni bulunmaktadır [19,20]. Pomza madeni yatakları yoğunlukla Doğu Anadolu bölgesinde Tatvan Bitlis sınırları içinde bulunmaktadır. Bu çalışma da, Bitlis ili sınırları içerisinde rezerv miktarı yüksek olan pomza madeninin katalitik konvertör katalizörü olarak kullanılmasının dizel motorlu araçlardan kaynaklanan egzoz kirleticilerinin önlenmesinde kullanılması durumunda azaltıcı etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Pomzanın kullanılmasında yapısındaki oksitli bileşiklerin fazla olması ısı direnci ve ses yalıtım özelliğinden faydalanılması amaçlanmıştır. Ayrıca pomza madeni rezervlerinin her sektörde olduğu gibi otomotiv sektöründe de etkin olarak kullanılabilirliğinin olması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada, belirli bir düzen ile yerleştirilen pomza taşları içerisinde egzoz gazlarının geçişini sağlamak için sitem tasarlanmış ve deney düzeneğine ilave edilmiştir. Egzoz gazlarının ısı ve sıcaklığını ve ayrıca olası art yanmalar sonucu egzoz çıkışında oluşabilecek alevin doğrudan pomza taşlarına teması durumunda taşa oluşabilecek hasarın engellenmesi amacıyla, egzoz çıkışına alev sönmüleyici ilave edilmiştir. Oksidasyon katalizörü olarak kullanılacak pomza taşı ve standart katalist Şekil 2' de verilmiştir.



Standart katalist

Katalist olarak kullanılan pomza taşı

Test sonrası pomza taşı

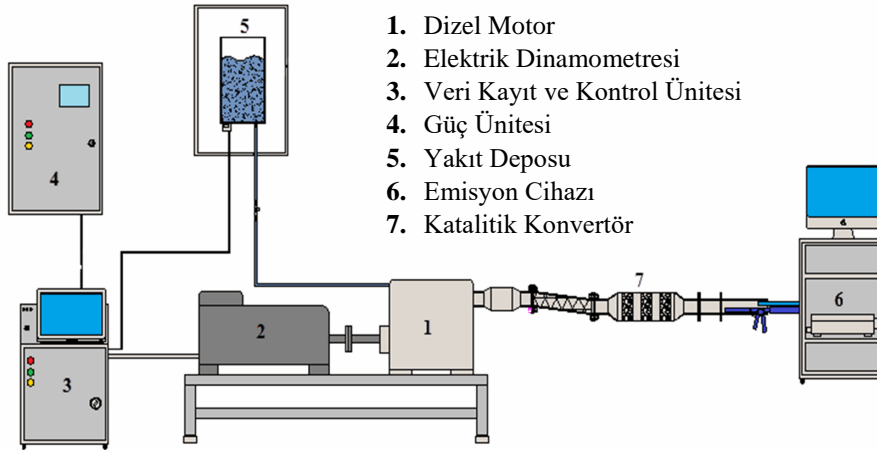
Şekil 2. Testler esnasında kullanılan standart katalist ve pomza taşlarının görünümü

Pomza taşının doğal olarak yapısında bulunan kılcal kanallarla bu sayede daha fazla yüzey alanı oluşturulmak hedeflenmiştir. Oksidasyon katalizörü olarak kullanılan saf pomza taşının genel kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir [20].

Tablo 1. Pomza'nın Genel Kimyasal Bileşimi

Bileşen	İçerik (%)	Bileşen	İçerik (%)
SiO	60-75	Na ₂ O+K ₂ O	7-8
Al ₂ O ₂	13-15	TiO ₂	Eser
Fe ₂ O ₃	1-3	SO	Eser
CaO	1-2	Cl	Eser
MgO	1-2		

Motor testleri Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü Laboratuvarında yapılmıştır. Motor test standı Şekil 2’de görülmektedir. Test sisteminde 26 kW, 80 Nm tork ve max 5000 rpm hızında elektrikli dinamometre kullanılmaktadır. Test sisteminde yakıt tüketimi, motor momenti ve motor gücü verileri anlık olarak, kullanılan arayüz programı ile dijital olarak kaydedilmiştir. Testler tek silindirli dört zamanlı, sıkıştırma ile ateşlemeli motorda tam gaz konumunda altı farklı motor yükünde test edilmiştir. Tablo 2’de kullanılan motorun özellikleri verilmiştir. Egzoz emisyonları Mobydic marka gaz analiz cihazı kullanılarak kayıt altına alınmıştır. Kullanılan cihazın ölçüm aralıkları Tablo 3’de verilmiştir. Kullanılan yakıt deneylere başlanmadan önce yeterli miktarda piyasadan temin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aynı şartlarda piyasadan temin edilen ve günümüzdeki araçlarda kullanılan katalitik konvertörde bulunan katalizör ile grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Tablo 2. Test motoru özellikleri

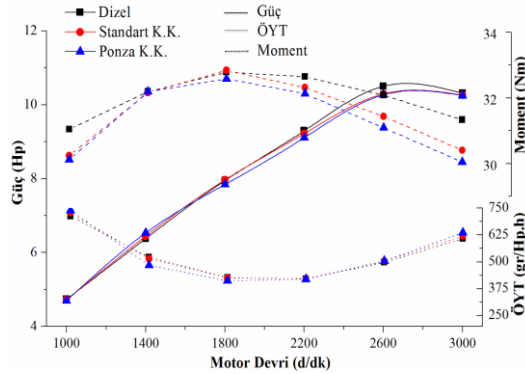
Motor Tipi	ANTOR 3 LD 510
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı x Strok	85 x 90 mm
Silindir Hacmi	510 cm ³
Sıkıştırma Oranı	17:01
Maksimum Motor Devri	3200 d/dk
Maksimum Motor Gücü	12 Hp
Maksimum Motor Momenti	3,5 kg.m 1800 d/dk

Tablo 3. Emisyon cihazı özellikleri

MOBYDIC 5000 GAZ ANALİZ CİHAZI	
CO % Vol	0 – 10
CO ₂ % Vol	0 – 20
HC ppm Vol	0 – 20000
O ₂ % Vol	0 – 21
NO _x ppm	0 – 5000
Lambda	0 – 5
N %	0 – 100
K l/m	0 – 20
Partikül mg/m ³	0 – 1000

3. Bulgular ve Tartışma

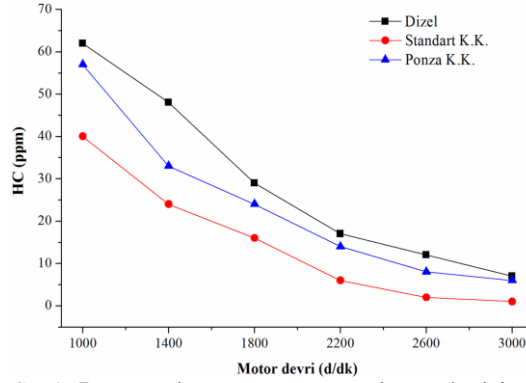
Şekil 4’de motor hızına göre motor performans eğrileri değişimi görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde standart katalizör kullanımı ile pomza kullanımı arasında motor gücünde az bir miktar değişim olduğu görülmektedir. Motor gücü motor devri ve momentine bağlı olarak değişen bir büyüklüktür. Bu durum motor momentindeki azalma ile ilişkilidir. Yüksek motor devirlerinde silindir içerisine alınan hava miktarı ve silindir içerisinde kalan yanmış gaz miktarı etkilemektedir. Katalitik konvektör kullanımında egzoz gazları katalizör içerisinden geçtiği için bu durum motora artı bir yük getirmektedir. Bu durum motor momentinde ve gücünde az da olsa bir miktar azalmaya, özgül yakıt tüketiminde (ÖYT) ise artışa sebep olmaktadır. Motor momentindeki bu azalma maksimum motor devrinde standart katalizör kullanımında %3 pomza kullanımında ise yaklaşık %4 olarak tespit edilmiştir. Motor gücünde ise standart katalizör kullanılmasında maksimum %1 pomza kullanımında ise maksimum %4 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Motor gücünün azalması özgül yakıt tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Bu artışın standart katalizör kullanımında yaklaşık %1, pomza kullanımında ise yaklaşık %3 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Motor hızına göre motor performans değişimi

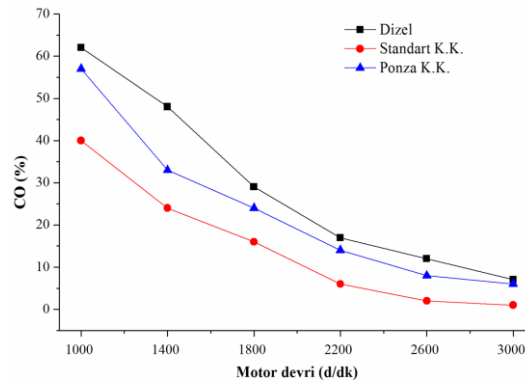
Şekil 5’de değişen motor hızına göre HC emisyonlarının değişimi verilmiştir. Silindir içerisine püskürtülen yakıt yanma sonlandığında yeterli oksijen bulamadığı için egzoz gazları içerisinde HC oluşturur [21]. Şekil 5 incelendiğinde motor yüküne bağlı olarak HC emisyonlarının arttığı görülmektedir. Maksimum HC emisyonu 1000 d/dk motor hızında katalizör kullanılmadan alınan ölçümde 62 ppm olarak kaydedilmiştir. Aynı motor devrinde standart katalizör kullanımında 40 ppm, katalizör yerine pomza kullanımında ise 57 ppm olarak elde edilmiştir. Bütün motor devirlerinde ve aynı şartlarda katalizör olarak pomza kullanımında HC emisyonlarında katalizör kullanılmadan elde edilen HC emisyonlarına göre azalma olduğu görülmektedir. Bütün motor devirlerinde elde edilen değerlerin ortalaması alındığında standart katalizör kullanımında %49,15 oranında bir azalma ve aynı şartlarda pomza kullanımında ise %19 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Bu azalma (1) ve (2) numaralı denklemlerle açıklanabilir. Egzoz gazları içerisindeki HC’ların oksidasyon filtresi içerisinde oksijenle tepkimeye girerek (1 numaralı denklem) oksitlenmesi sonucu CO₂ ve H₂O’ya dönüşmektedir [6].

1 numaralı denklemin ürünü olan H₂O kullanılarak HC'ler CO ve H₂ (2 numaralı denklem) gazlarına dönüştürülmektedir.



Şekil 5. Motor hızına göre HC emisyon değişimi

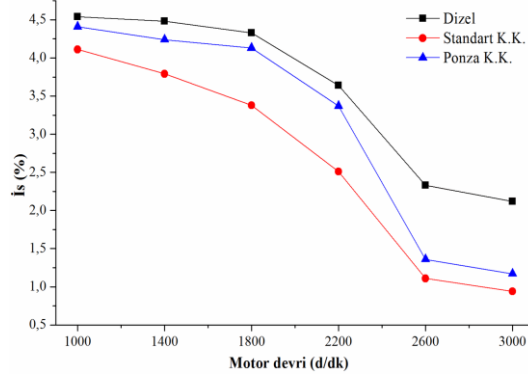
Şekil 6'da motor hızına göre CO emisyonu değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde CO değişimi motor devrinin artmasıyla azaldığı görülmektedir. Maksimum CO emisyonu 1000 d/dk katalizörsüz olarak 2,71, standart katalizör kullanımında 1,71 ve katalizör olarak pomza kullanımında ise 2,6 olarak ölçülmüştür. CO emisyonundaki bu azalma; (3), (4) ve (5) nolu reaksiyon denklemlerinin gerçekleşmesi ile sağlanabilir [6]. Bilindiği üzere dizel motorlarda (hava fazlalık katsayısı) HFK>1 şeklindedir. Bu durumda silindir içerisinde yanma reaksiyonuna katılmayan fazladan hava bulunmaktadır. Silindirde yanma reaksiyonuna girmeyen oksijen ve NO_x indirgenmesi sırasında açığa çıkan oksijen, katalizörde CO ile reaksiyona girerek CO₂ oluşturmaktadır [22]. Pomza taşı oksitleyici olarak kullanılması durumunda 3 ve 4 numaralı reaksiyon denkleminin gerçekleştiği yani pomza taşının yapısındaki oksitli bileşikler reaksiyonda daha etkili olmuştur. CO emisyonu oksitlenmesinde kullanılan reaksiyonlarda 5 numaralı reaksiyon etkisinin fazla olmadığı söylenebilir. 5 numaralı reaksiyon denkleminde NO_x gazlarının indirgenmesiyle elde edilen NO kullanılmaktadır. Nitekim katalizör olarak pomza kullanılması durumunda NO_x emisyonlarının indirgenme reaksiyonunda tepkime oluşturan platin, paladyum gibi değerli metallerin bulunmaması bu reaksiyonun gerçekleşmemesini doğrudan etkilemektedir.



Şekil 6. Motor hızına göre CO emisyon değişimi

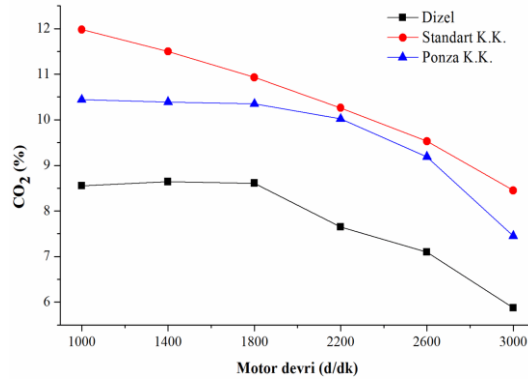
Şekil 7'de motor hızına göre is emisyonu değişimi verilmiştir. Dizel motorlardan kaynaklı olan is emisyonunun büyük bir kısmı karbon parçacıkları diğer kısmı ise hidrokarbonlardan oluşmaktadır [23]. Şekil incelendiğinde artan motor devriyle is emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Ayrıca yüksek motor devirlerinde (2600 d/dk ve 3000 d/dk) katalizör olarak pomza kullanımında ise dönüşüm veriminin arttığı görülmektedir. Maksimum is emisyonu maksimum motor yükünde katalizör kullanılmaması durumunda elde edilmiştir. Bu motor devrinde (1000 d/dk) katalizörsüz 4,54 standart katalizör kullanımında 4,11 ve pomza kullanımında ise 4,41 olarak kaydedilmiştir. İs emisyonundaki maksimum azalma 2600 d/dk ve 3000 d/dk motor devirlerinde olduğu görülmüştür. Bu dönüşüm veriminin değişimi sıcaklıkla ve gaz kompozisyonu ile ilgilendirilebilir. Yanma sonu sıcaklığı 1400 °C'nin altına düştüğünde silindir içerisindeki is oksitlenmesi etkisini kaybetmektedir [4]. Motor

yükünün azalmasıyla egzoz gaz sıcaklığının artması oluşan egzoz gazı içerisindeki is konsantrasyonunu azaltmakta ve sıcaklığın artması ile is emisyonu içerisindeki karbonların katalizör oksitlenmesi de artmaktadır.



Şekil 7. Motor hızına göre is emisyon değişimi

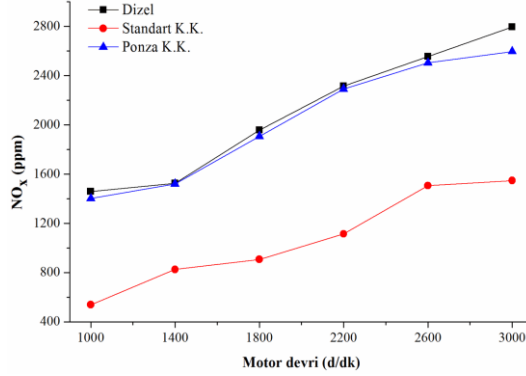
Şekil 8’de motor hızına göre CO₂ emisyonu değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde artan motor devriyle CO₂ emisyonun azaldığı görülmektedir. Ancak katalizör olarak pomza kullanımında katalizörsüz elde edilen sonuçlara göre CO₂ emisyonlarında artış olduğu ve standart katalizör kullanımı ile bu artışın maksimum seviyelere çıktığı görülmektedir. Katalizör olarak pomza kullanımında CO₂ emisyonlarındaki artış standart katalizör kullanıldığında elde edilen CO₂ emisyonlarına yakın seviyelere ulaştığı görülmektedir. Bütün motor devirlerindeki elde edilen verilerin ortalaması alındığında, CO₂ emisyonunun katalizör kullanılmaması durumunda % 7,73, standart katalizör kullanımında % 10,44 ve katalizör olarak pomza kullanımında ise % 9,64 olduğu görülmektedir. CO₂ emisyonu değişimi egzoz gazları konsantrasyonunda katalitik konvertörde reaksiyonların gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 8. Motor hızına göre CO₂ emisyon değişimi

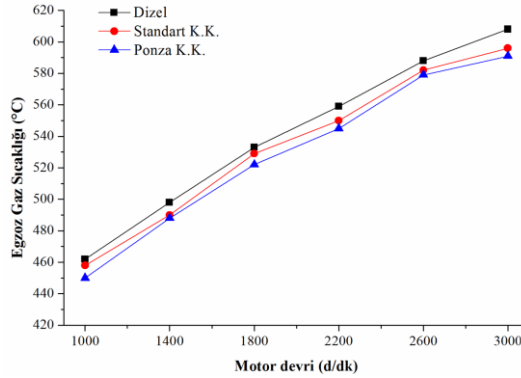
Şekil 9’da NO_x emisyonu değişimi verilmiştir. NO dizel motorlarda NO_x’ un ana bileşenidir. Azotun yüksek sıcaklıkta ve zengin oksijen miktarı ile reaksiyonunun bir ürünüdür. İki önemli NO oluşum mekanizması vardır. Bunlardan birincisi ısıl NO, ikincisi zengin NO oluşumdur. Bu mekanizmalardan ikincisi zengin yakıtlı sistemlerde yaygın olarak oluşmaktadır. Dizel motorlar fakir karışımla çalışan (HFK>1) motorlar olduğu için, önemli bir NO kaynağı değildir [21]. Şekil 8 incelendiğinde motor devrinin artması ile NO_x emisyonlarında artma olduğu görülmektedir. Maksimum motor devrinde, maksimum NO_x emisyonu katalizör kullanılmaması durumunda 2795 ppm standart katalizör kullanılması durumunda 1548 ppm ve pomza kullanımında ise 2596 ppm olarak kaydedilmiştir. Ancak günümüzde araçlarda kullanılan katalizörler üç tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakalardan en önemlisi ve NO_x emisyonlarının indirgenmesi için üçüncü tabaka olan soy metaller (platin, paladyum, rodyum vb.) oluşturmaktadır [24]. NO_x emisyonu standart katalizör kullanılması durumunda 2600 d/dk ya kadar olan motor devirlerinde artış yönünde olduğu 2600 d/dk motor devrinden sonraki motor devrinde ise daha sabit olduğu görülmektedir. Ayrıca katalizör olarak pomza kullanımında 2600 d/dk motor devrinden sonraki motor devirlerinde grafik eğrisinin sabit olarak arttığı görülmektedir. Dinler vd. [7] yapıları çalışmada katalitik konvertör kullanımında orta motor yüklerinde

NO_x emisyonlarına herhangi bir etkisinin olmadığı, artan motor yükü ile NO_x emisyonları üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.



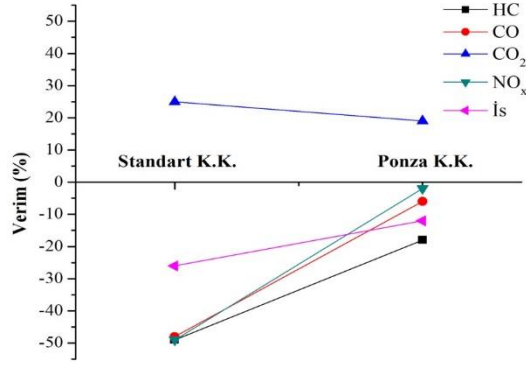
Şekil 9. Motor hızına göre NO_x emisyon değişimi

Şekil 10'da motor hızına göre egzoz gaz sıcaklığı değişimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere motor yükünün azalması ile artan motor devri aynı zamanda egzoz gaz sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Katalitik konvertör kullanımında egzoz sıcaklığının belirli oranda azaldığı görülmektedir. Ayrıca standart katalizör kullanılması durumunda 2600 d/dk motor devrine kadar NO_x emisyonu belirli oranlarda artmakta ve bu devirden sonraki motor devrinde ise artışın daha sabit olduğu görülmektedir. Bu durum egzoz gaz sıcaklığı ile ilişkilendirilmektedir. Katalitik konvertör içerisinde reaksiyonların gerçekleşmesi sıcaklığa ve egzoz gazları kompozisyona bağlı olarak değişmektedir. Nitekim yapılan birçok çalışmada egzoz gazları içerisindeki oksidasyon ve indirgenme reaksiyon hızları sıcaklıkla değiştiği belirtilmektedir [7,11,22].



Şekil 10. Motor hızına göre egzoz gaz sıcaklığı değişimi

Şekil 11'de egzoz gazı dönüşüm verimleri verilmiştir. Standart katalizör kullanılması durumunda HC, CO ve NO_x emisyonlarda yaklaşık %50 oranında dönüşüm verimi olduğu görülmektedir. Standart katalizör kullanılması durumunda CO₂ emisyonu dönüşümünün de yaklaşık %25 civarında olduğu bununla birlikte pomza kullanımında ise CO₂ emisyonu dönüşüm verimi yaklaşık olarak %20 civarında olduğu tespit edilmiştir. CO₂ emisyonunun pomza kullanımında standart katalizör kullanımına yakın bir dönüşüm verimi sağlanmasının sebebi NO_x emisyonu indirgenmesinde; (6) ve (7) nolu reaksiyon denklemlerinin gerçekleşmesi ile sağlanabilir [6]. Reaksiyon denklemlerinde (6) numaralı denklemde CO₂ gazının kullanılmasından dolayı standart katalizörde bu CO₂ emisyon gazının daha az salınmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 11. Egzoz Gazı Dönüşüm Verimi

4. Sonuç ve Öneriler

İşlenmemiş pomza madeninin katalitik konvertör katalizörü olarak kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Pomza madeni katalitik konvertör katalizörü olarak kullanımının yaklaşık olarak HC ve CO emisyonlarında sırası ile maksimum %19 ve %6 oranında bir dönüşüm verimi olduğu görülmüştür.
- Pomza madeninin katalizör olarak kullanımı durumunda is emisyonlarında ise bu dönüşüm verimi %12 olduğu görülmüştür. Ancak motor devrinin artması ile bu verimin değiştiği ve yaklaşık %44'lere kadar çıktı görülmektedir. Ayrıca pomza madeninin gözenekli yapısı ile partikül filtresi görevi de görmektedir.
- NO_x emisyonlarında ise pomza madeni kullanımında dönüşüm veriminin %2-3 oranında olduğu görülmektedir. Bu durum olumsuz olarak nitelendirilebilir. Pomza madeni katalizör olarak değerlendirilmesi durumunda bazı soy metaller ile desteklenmesi NO_x emisyonunun indirgenmesinde de etkili olacağı söylenebilir.
- Bölgede bulunan bu madenin farklı sektörlerde değerlendirildiği gibi otomotiv sektöründe de değerlendirilmesi hem ülkemize hem de bölgemize artı bir katma değer olacaktır.
- Sonuçlarda ayrıca motor egzoz ses düzeyinde işitsel olarak bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu özellikle şehir içi araç kullanımında oluşan gürültü kirliliğinin de azaltılması amacıyla da kullanılabilir.
- Pomza madeninin büyük parça olarak kullanılması haricinde farklı boyutlarda granüler olarak kullanımı ile hem büyük parçalı kullanımında ihtiyaç duyulan delik delme işlemine de gerek kalmayabilir, hem de katalizör olarak kullanımında yüzey alanı artırılarak daha verimli sonuçlar elde edilebilir.
- Pomza madeni değişik oksitleyici elementler ile desteklenerek verim artırmaya yönelik yenilikler araştırılabilir.
- NO_x emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalarda pomza madeni farklı yöntemlerle Paladyum, Rodyum ve Platin gibi soy metallerle desteklenerek NO_x emisyonları üzerine etkisi araştırılabilir.
- Pomza iri toz halinde farklı metal ve oksitleyici elementlerle desteklenerek farklı geometrilere sahip katalizör üretimi ve dönüşüm verimi araştırılabilir.

Kaynaklar

1. Alkaya B., Yıldırım M.A. 2000. Taşıt Kaynaklı Kirliticilerin Azaltılma Yöntemleri, Ekoloji Çevre Dergisi, 9 (34): 15-20.
2. Işıksoluğu M.A. 1997. Dizel Motorlu Taşıtların Egzoz Gazındaki Duman Koyuluğu ve Ölçümünde Karşılaşılan Sorunlar, Mühendis ve Makine Dergisi, 453 (7): 21-25.

3. Çakıroğlu M. 1996. Motorlu Taşıt Trafikinde Egzoz Emisyonları, I. Ulusal Ulaşım Sempozyumu, İstanbul.
4. Haşimoğlu C., İçingür Y., Ögüt H. 2002. Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Re sirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi, Tübitak Dergisi, 26: 127-135.
5. Kelen F. 2014. Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19 (1-2): 80-87.
6. Kutlar A., Ergeneman M., Arslan H., Mutlu M. 1998. *Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler*. Birsan Yayınevi, İstanbul.
7. Dinler N., Yücel N. 2003. Karbüratörlü Bir Motora Üç Yollu Katalitik Konvertör Uygulanması, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18 (1): 57-70.
8. Gökmen M.S. 2014. Yanma - Emisyon Modellerinin İncelenmesi ve Diesel Motorlarda SCR Sistemleri. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
9. Ertl G., Knözinger H., et al. 1997. *Handbook of Heterogeneous Catalysis*. Wiley-VCH, Weinheim.
10. Kaspar J., Fornasieo P., Hickey N. 2003. Automotive Catalytic Converters: Current Status and Some Perspective, *Catalysis Today*, 77: 419-449.
11. Lassi U., Polvinen R., Suhonen S., Kallinen K., Savimaki A., Harkönen M. et al. 2004. Effect of Ageing Atmosphere on the Deactivation of Pd/Rh Automotive Exhaust Gas Catalysts: Catalytic Activity and XPS Studies, *Applied Catalysis A: General*, 263: 241-248.
12. Brito A., Garcia F., Alvarez C., Arvelo R., Fierro J.L.G., Diaz C., 2004. High Surface Area Support/Catalyst Derived from Natural Pumice, Study of Pretreatment Variables, *Ind. Eng. Chem. Res.* 43 (7): 1659-1664.
13. Farizoglu B., Nuhoglu A., Yildiz E., Keskinler B., 2003. The Performance of Pumice as a Filter Bed Material under Rapid Filtration Conditions, *Filtr. Sep.* 40 (3): 41-46.
14. Özkan Ş.G., Tuncer G. 2001. Pomza Madencilğine Genel Bir Bakış, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, pp200-207, İzmir, Türkiye.
15. Aruna S.T., Roy S., Sharma A., Savitha G., Grips V.W. 2014. Cost-effective Ear and Oxidation Resistant Electrodeposited Ni-pumice Coating, *Surface and Coatings Technology*, 251: 201-209.
16. Gungor N., Tombul M., 1997. The Usage of Pumice and the Effect of Legislation on Pumice Mining, First Isparta Pumice Symposium, pp85-90, Isparta, Turkey.
17. Wesley L.D., 2001. Determination of Specific Gravity and Void Ratio of Pumice Materials, *Geotech. Test. J.* 24 (4): 418-422.
18. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
19. Gunduz L., Sariisik A., Tozacan B., Davraz M., Ugur I., Cankiran O., 1998. *Pumice Technology*, vol. 1. S (in Turkish).
20. Köse H., Pamukçu Ç., Yalçın N., Seçer T. 1997. Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
21. Baskar A., Senthilkumar A. 2016. Effects of Oxygen Enriched Combustion on Pollution and Performance Characteristics of a Diesel Engine, *Engineering Science and Technology, An International Journal*, 19 (1): 438-443.
22. Özsezen A.N., Eyidoğan M., Türkcan A., Alptekin E., Şanlı A., Çanakcı M., Kılıçaslan İ. 2009. Binek Tipi Bir Taşıtta Katalitik Konvertör Veriminin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Electronic Journal of Vehicle Technologies*, 1 (1): 1-7.

23. Keskin A., Sağıroğlu S. 2010. Dizel Motorlarından Kaynaklanan Egzoz Emisyonları Ve Kontrol Yöntemleri, Mühendis ve Makina, 51 (606): 1-8.
24. Aydođan B. 2008. Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NO_x Emisyonlarının ve NO_x Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi. PAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliđi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 81s, Denizli.