

DİZEL PARTİKÜL FİLTRELERİNDE REJENERASYON YÖNTEMLERİ

Ahmet KESKİN

*Yrd. Doç. Dr., Abant İzzet Baysal Üniversitesi,
Bolu MYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma
Teknolojileri Bölümü, Bolu
keskin_a@ibu.edu.tr, ahmkeskin@gmail.com*

ÖZET

Motorlu taşıtların hava kirliliğinde önemli bir payı bulunmaktadır. Bu ise emisyon kontrol teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu hâle getirmektedir. Dizel motorlarının yüksek verimi, düşük kullanım maliyetleri, yüksek dayanım ve güvenilirlikleri onları ağır hizmet araç pazarında lider duruma getirmiştir. Dizel motorlarında yanma sonucu oluşan egzoz gazındaki kirleticilerin en önemlileri partikül madde (PM), azotoksitler (NO_x), hidrokarbonlar (HC) ve karbonmonoksittir (CO). Dizel motorlu taşıt emisyonlarının azaltılması son zamanlardaki dizel motor kullanımının artmasıyla daha kritik bir konu haline gelmektedir. Bu ise motor teknolojilerinin geliştirilmesi, yakıtlar ve yanma sonrası cihaz kullanımıyla ilgili araştırmaları artırmaktadır. Bunlardan biri de dizel partikül filtreleridir (DPF). Dizel partikül filtreleri PM'nin azaltılmasında teknik olarak en uygun çözümlerden biridir. Dizel partikül filtresi dizel motor egzoz gazlarındaki partikül madde emisyonlarını gidermek için tasarlanmış bir cihazdır. DPF tarafından biriktirilen kurum fazla yakıt harcanmaması, motor ve filtrenin zarar görmemesi için uzaklaştırılması gerekir. Kurumun uzaklaştırılması rejenerasyon olarak ifade edilen oldukça kompleks bir işlemdir. Bu çalışmada dizel partikül filtreleri ve dizel partikül filtrelerinin rejenerasyon yöntemleri incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Dizel emisyon kontrolü, dizel partikül filtresi, rejenerasyon

Regeneration Methods in Diesel Particulate Filters

ABSTRACT

Motor vehicles have a great contribution to air pollution, which make the emission control technologies compulsory to be developed. The high efficiency of diesel engines, their low operating costs, high durability and reliability have provided them with a leadership role in the heavy-duty vehicle market. The most important pollutants formed at the exhaust gases of diesel engines are particulate matters (PM), nitrogen oxides (NO_x), hydrocarbons (HC), and carbon monoxides (CO). The control of diesel vehicles' exhaust emission has become more critical because of the spreading use of diesel engines. This encourages the researches on engine technologies, fuels, and the use of post combustion devices, an example of which is particulate filters. Diesel particle filters (DPFs) are one of the most technically feasible solutions to reduce PM. A diesel particulate filter is a device designed to remove diesel particulate matter emissions from the exhaust gas of a diesel engine. The soot collected by DPFs needs to be removed to avoid excessive fuel penalty and damage to the engine and the filter. The removal of the soot, termed "regeneration," is a rather complex process. In this study, diesel particulate filters, and regeneration techniques of diesel particulate filters are investigated.

Keywords : Diesel emission control, diesel particulate filter, regeneration sensors

Geliş tarihi : 08.02.2011
Kabul tarihi : 20.04.2011

GİRİŞ

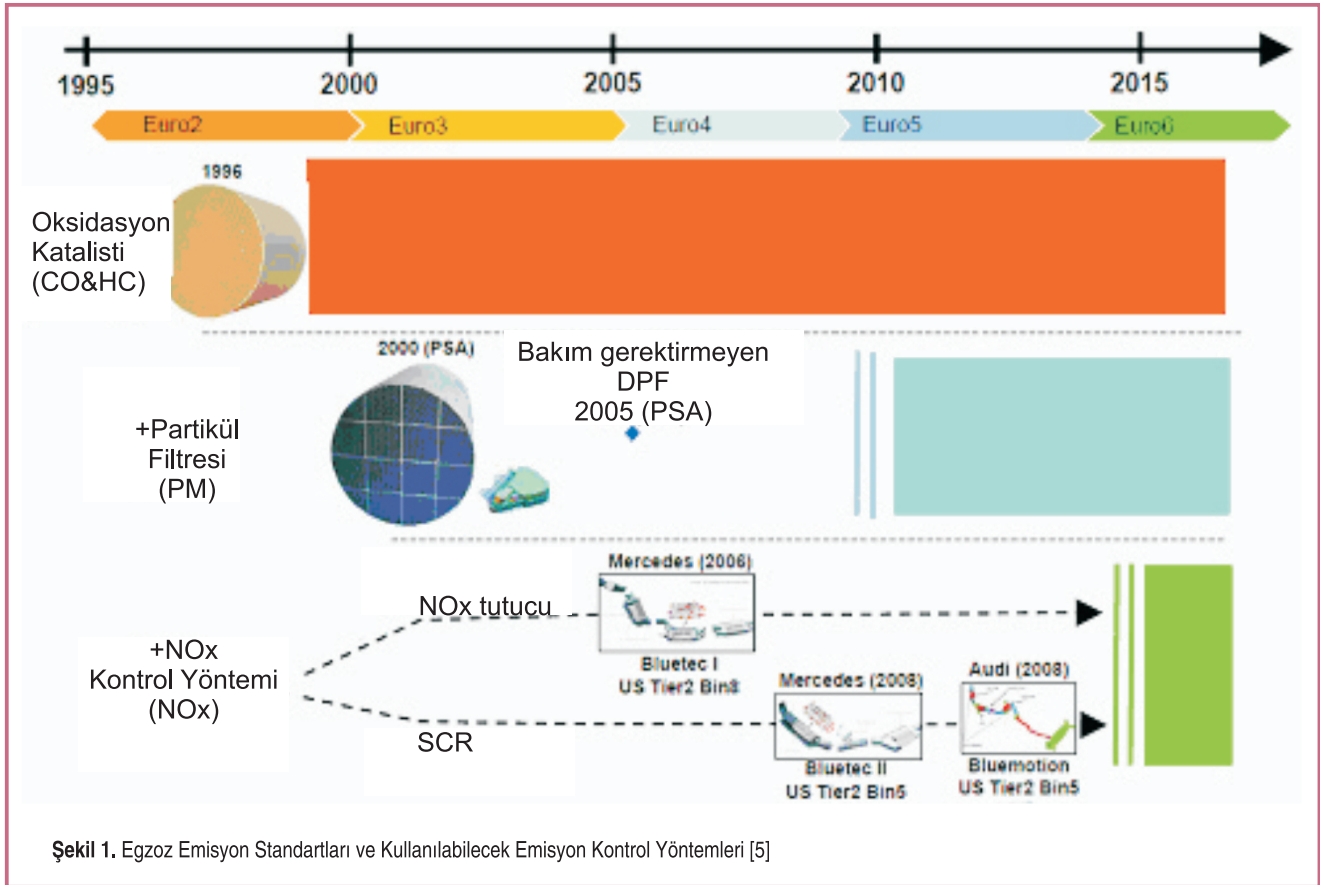
Motorlu taşıtların hava kirliliğinde önemli bir payı bulunmaktadır. Bu ise emisyon kontrol teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Dizel motorlarının yüksek verimi, düşük kullanım maliyetleri, yüksek dayanım ve güvenilirlikleri onları ağır hizmet araç pazarında lider duruma getirmiştir. Son zamanlarda özellikle yakıt fiyatlarının yüksekliğinden dolayı dizel motorlarının hafif hizmet araç pazarındaki payı da giderek artmaktadır. Önümüzdeki yıllarda özellikle Asya ve Avrupa'da satışların önemli ölçüde artacağı beklenmektedir. Dizel motor pazarının bu büyüme trendi çevreyle ilgili etkilerin dikkatli bir biçimde değerlendirilmesini gerektirmektedir [1]. Dizel motorlarında yanma sonucu oluşan egzoz gazındaki kirleticilerin en önemlileri partikül madde (PM), azotoksitler (NO_x), hidrokarbonlar (HC) ve karbonmonoksit (CO) [2]. Dizel motorlar fakir karışımla çalıştılarından dizel motorlu araçlar benzin motorlu araçlardan daha az CO ve yanmamış HC çıkarırlar. Fakat PM ve NO_x emisyonları hâlâ yüksektir [3].

Emisyonların azaltılması konusunda başlıca uygulamalar; motor tasarımında iyileştirmeler, yakıt ön işlemleri, yanma işleminin daha iyi ayarlanıp daha basitleştirilmesi, yakıt formülünün modifikasyonu, alkoller ve esterler gibi fosil

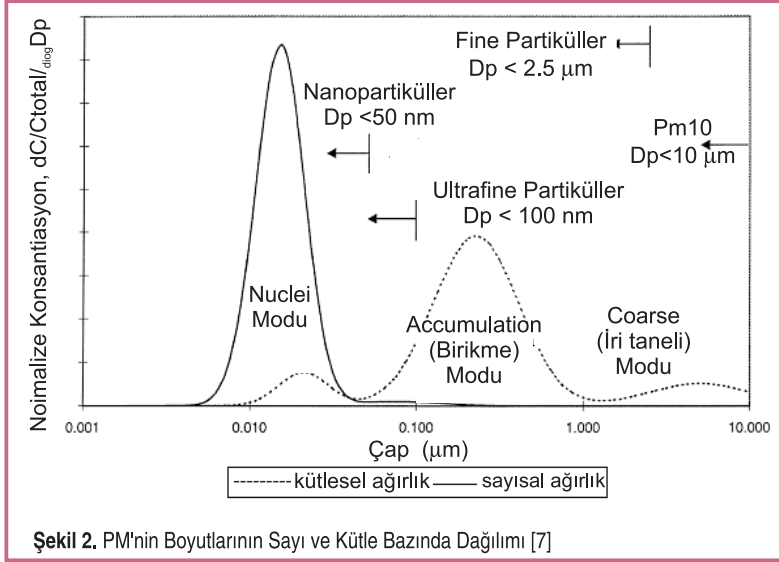
olmayan alternatif yakıt kullanımı ve yanma sonrası cihaz kullanımı şeklinde belirtilebilir [4]. Sadece motorlarda yapılacak düzenlemelerle PM ve NO_x emisyonları yasal düzenlemelerdeki değerlerine düşürülemeyeceği için, dizel egzoz emisyonlarının eş zamanlı olarak düşürülmesi için yanma sonrasında kullanılmak üzere cihazlar geliştirilmektedir [3]. Şekil 1'de egzoz emisyon standartları ve kullanılabilir emisyon kontrol yöntemleri gösterilmiştir.

Dizel motor emisyonları oldukça kompleks karışımlardır. Dizel egzoz kompozisyonu; motor tipi ve kullanım şartları, yakıt, yağlama yağı ve emisyon kontrol sistemi kullanılıp kullanılmadığına bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir. Dizel emisyonları büyük oranda gaz ve partikül fazları arasında dağılmış olan organik ve inorganik bileşiklerden oluşmaktadır. Bunlar; CO , CO_2 , NO , NO_2 , N_2O , NH_3 , uçucu organik bileşikler ve su buharı, HC, polinükleer aromatik hidrokarbonlar (PAH), karboksil bileşikler, organik asitler, halojenli organik bileşikler, kükürtdioksit ve dioksinlerdir [6]. Dizel egzoz partikülleri başlıca toplanmış katı karbonlu malzeme ve kül ve uçucu organik ve kükürt bileşiklerinden oluşur [7]. PM'nin sağlık etkileri, iklim değişikliği, ekolojik etkiler ve görünürlük gibi potansiyel çevresel etkileri yaygın bir şekilde tartışılmaktadır [8].

Motorların çevreye daha az atık bırakması yönünde



Şekil 1. Egzoz Emisyon Standartları ve Kullanılabilir Emisyon Kontrol Yöntemleri [5]



Avrupa'daki ilk adım 1993 yılında Euro 1 standardının yürürlüğe girmesiyle atılmıştır. Bugün ise Avrupalı ticari araç üreticileri, taşıtlarını Ekim 2008'de yürürlüğe giren Euro 5 normlarına uygun üretmek zorundadırlar. Türk idari otoriteleri normları Avrupa'daki gelişmelere göre düzenlemektedirler. Yüksek normlu motorların istenilen biçimde ve verimde çalışması için yakıt ve yağ üretiminde de uygunluk sağlaması gerekmektedir [9].

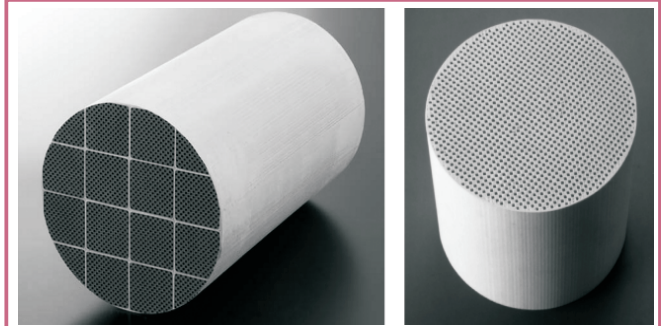
PM ile ilgili emisyon düzenlemelerinde partikül maddelerin kütlesi esas alınmaktadır. Bu gerçek PM emisyonlarının gösteriminde yanılığa yol açabilir. Küçük ve büyük partiküllerin, partikül kütlesi ve partikül sayılarına katkısı Şekil 2'de görülmektedir. Partikül kütlesinde en önemli yeri tutan birikme (accumulation) modunu oluşturan daha büyük partiküllerin sayıları diğerlerine oranla daha küçük iken çekirdeklenme (nuclei) modunu oluşturan çok küçük partiküllerin en çok sayıda olduğu açıktır; fakat toplam kütleye katkısı azdır [10]. Günümüzde partikül maddelerle ilgili araştırmalar; ince tozların etkisinin, etkili bir şekilde nasıl azaltılabileceği ve büyük şehirlerdeki sağlık risklerinin nasıl önlenebileceği hakkındadır. İnce toz diğer kaynaklardan ve filtre edilmemiş dizel motor egzozundan üretilen çapı 10 mikrondan küçük olan çok küçük parçacıklardır. Mikro partiküller sağlık riski oluşturduğu için Avrupa Birliği tarafından şehir bölgelerinde her metreküp havada maksimum 50 mikrograma kadar izin verilmiştir [11]. Bu çalışmada dizel partikül filtreleri ve dizel partikül filtrelerinin rejenerasyon yöntemleri incelenecektir.

DİZEL PARTİKÜL FİLTRELERİ VE DİZEL FİLTRE SİSTEMLERİ

Dizel partikül filtreleri, PM'nin azaltılmasında teknik olarak en uygun çözümlerden biridir [12]. Dizel partikül filtresi egzoz gazlarının sistem boyunca geçişine izin verirken katı ve

sıvı partikül madde emisyonlarını biriktirmek için tasarlanıp egzozu yerleştirilmektedir [13]. Genellikle bir yanma sonrası PM kontrol sistemi, dizel egzozundaki PM veya isisi tutabilen gözenekli metal veya seramik bir filtreden oluşur. Filtreden düşük bir basınç azalması ve yüksek is tutma kapasitesine sahip olması istenir [14]. Günümüzde ticarileşmiş dizel partikül filtreleri silikon karpit, kordierit veya metalden yapılmaktadır (Şekil 3 ve 4).

Bu çeşitli filtrelerin biriktirme verimleri kütleli olarak %30-90 arasında değişmektedir, ancak çoğu dizel partikül filtreleri son derece ince partikül sayıları olarak ifade edildiğinde % 99'un üstünde başarı sağlamaktadırlar [13]. Dizel partikül filtreleri difüzyon çöküntü, eylemsiz çöküntü veya akışı engelleme gibi, derin yatak filtreleme mekanizmaları ve yüzey mekanizmalarının kombinasyonu



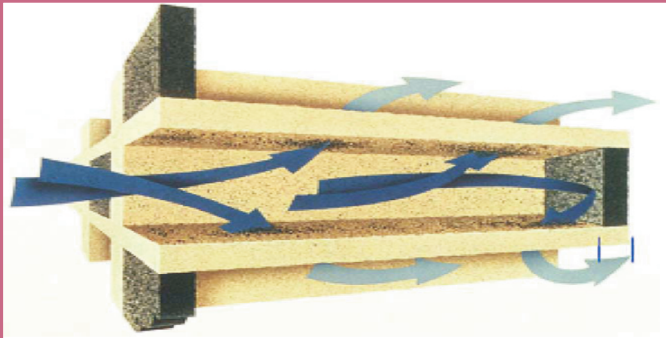
Şekil 3. Silikon Karpit (solda) ve Kordierit (sağda) DPF'leri [15].



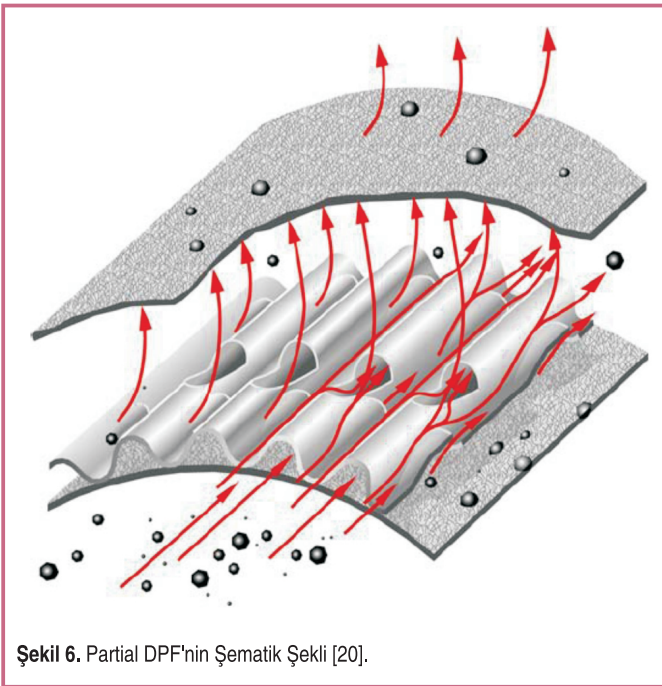
Şekil 4. Bosch Tarafından Yapılmış Bir Sinterlenmiş Metal DPF [16].

partikül madde emisyonlarını tutar. Biriken partiküller sürekli veya periyodik termal rejenerasyon aracılığıyla filtreden uzaklaştırılır. Dizel partikül filtreleri PM emisyonunun katı kısımları üzerinde çok etkilidir; fakat katı olmayan kısımlarında etkisiz olabilir. Wall-flow monolitler (tek parça filtreler) en popüler dizel filtre tasarımıdır. Filtre olarak görev yapan gözenekli duvarlar boyunca gaz akışını zorlamak için kanal sonları alternatif olarak tıkanmış olan akış boyunca katalist desteklerden oluşur. Şekil 5'te bir seramik wall-flow filtrenin şematik şekli görülmektedir.

Bir diğer filtre çeşidi ise partial filtrelerdir (Şekil 6). Bu



Şekil 5. Wall-flow DPF'nin Şematik Şekli [17]



Şekil 6. Partial DPF'nin Şematik Şekli [20].

- 1. sistem : Yakıt katkılı tip



- 2. sistem : Oksidasyon katalisti ve katalistli filtre



- 3. sistem : Sadece katalistli filtre (oksidasyon katalistiyle entegre edilmiş)



Şekil 7. Dizel Motorlu Otomobillerde Partikül Filtre Sistemleri [17].

fitrelerin filtreleme verimleri % 50-85 arasındadır. Geri basınç değerleri ise bir DPF'den daha az, bir katalitik konvertörden daha fazladır [18]. Dizel filtre sistemleri filtre malzemeleriyle rejenerasyon yöntemlerinin kombinasyonu ile tasarlanmaktadır. Sistem tasarımında başa çıkılması gereken en önemli mesele yeterli rejenerasyonun sağlanması ve dayanıklılıktır [19].

Dizel motorlu otomobillerde üç filtre sistemi kullanılmaktadır. Birinci sistemde kısmi olarak yanmış yakıtı yüksek sıcaklıklarda yakmak için, filtreden önce bir oksidasyon katalisti ve PM yanma sıcaklığını düşürmek için bir yakıt katkısı kullanılmaktadır. İkinci sistemde oksidasyon katalisti yine kullanılırken yakıt katkısı kullanılmamaktadır. PM'nin yanmasını hızlandırmak için filtre katalistli yapılmaktadır. Üçüncü sistemde gerekli katalist fonksiyonlarının hepsi bir filtrede birleştirilmiştir (Şekil. 7) [17].

DİZEL PARTİKÜL FİLTRELERİNİN REJENERASYONU

DPF'de birikmiş olan isin fazla yakıt harcanmaması, motor ve filtrenin zarar görmemesi için uzaklaştırılması gerekir. İsin uzaklaştırılması rejenerasyon olarak ifade edilen oldukça kompleks bir işlemdir. Rejenerasyonun filtreye zarar vermeden yapılabilmesi için çoğu işlem parametresi uyşmalıdır. Ana parametreler egzoz gaz sıcaklığı, egzoz gaz geri basıncı, egzozda kalan oksijen miktarı, hacimsel akış oranı vb. leridir. Bir DPF'sinde sıcaklık gerekli is ateşleme sıcaklığının üzerine çıkarsa dizel partikül maddeleri yanar ve geri basınç düşer [21]. Rejenerasyon prensipleri esas alındığında filtreleme sistemleri aktif ve pasif olmak üzere sınıflandırılabilir [19].

Pasif Rejenerasyon

Pasif rejenerasyonda is bir katalitik reaksiyonla yakılır. Bu amaçla katalitik olarak aktif demir ve seryum içeren dizel yakıt katkıları is partiküllerinin alevlenme sıcaklığını normal egzoz gaz sıcaklığına düşürür [22]. Diğer pasif rejenerasyon yöntemleri katalitik kaplı filtreler, sürekli rejenerasyon ve sürekli katalitik rejenerasyon yöntemleridir. Pasif rejenerasyonda tutulan PM'nin yanması aracın normal kullanımı esnasında gerçekleşir. Yani, ne araç kullanıcısı ne de araç motor yönetim sistemi DPF rejenerasyonunu başlatmak için bir şey yapmak zorunda değildir [10].

Fuel borne katalist (Fuel Borne Catalyst/FBC)

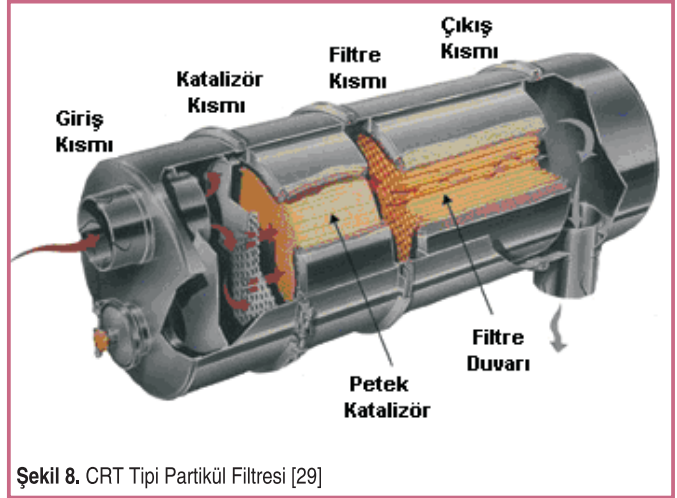
Fuel borne katalistler yakıtta ilave edilmektedir. Yanma işlemi boyunca PM ile karışmış olan FBC partikül filtresinde tutulur. FBC isin yanma sıcaklığını düşürür. FBC filtrenin PM depolama kapasitesini azaltan külün artmasına neden olur. Şimdiki FBC uygulamaları filtreden külün uzaklaştırılması için servis gerektirir. Bununla birlikte gelecekteki uygulamalar servis gerektirmeyecektir. FBC'nin kullanımı is partikülüyle katalisti birleştirir ve temas noktası sayısını artırır. Bu yüzden is oksidasyon sıcaklığı 600°C'den 400°C'ye düşer. FBC'leri veya NO₂'yi bir oksidant olarak kullanan ticari teknolojiler otomobil motorlarında kullanılmaktadır [23]. Katalist dakikada ppm mertebesindeki miktarlarda ya doğrudan yakıt tankına veya silindire yakıt püskürtülmeden önce karıştırılarak katalist-yakıt karışımı silindire gönderilir [24]. FBC'nin dozajlama sistemiyle ilgili gelişmeler devam etmektedir.

Katalistli DPF'leri

Katalistli DPF'leri katalitik bir maddeyle kaplanmış seramik bir filtreden ibarettir. Katalitik madde genellikle değerli metal olarak platin içerir. Katalitik kaplama isin yanma sıcaklığını düşürür. Fakat FBC'deki kadar düşüremez. Değerli metal içerdikleri için fiyatları artmaktadır. FBC'nin aksine filtrede depolanmış kül için bakım gerektirmezler; sadece bir FBC'den daha düşük miktarlarda yağlama yağından kaynaklanan kül oluşmaktadır [25]. Katalistli sistemler Daimler-Chrysler, BMW, VW, Opel ve Fiat tarafından şu anda kullanılmaktadır. Sadece yağlama yağından kaynaklanan külün filtrede kaldığı katalistli partikül filtreleri emisyon kontrol sistemi için servis ömrü ve geri basınç açısından önemli faydalar sağlamaktadır [26]. Katalist esaslı DPF'ler dünyanın çeşitli bölgelerinde eski otobüsler ve ağır hizmet taşıtlarında iyileştirme uygulamalarında oldukça başarılıdır. Platin grubu metal içeren herhangi bir katalist/DPF kombinasyonu sülfat partiküllerinin oluşumunu gelecek yasal sınırlamalardaki değerlerde tutmak için 10 ppm'den daha düşük kükürlü dizel yakıtı kullanmalıdır [4].

Sürekli ve Katalitik Sürekli Rejenerasyonlar (The Continuously-Regenerating-Trap (CRT) ve Catalytic Continuously-Regenerating-Trap (CCRT))

Bu sistem Johnson Matthey firması tarafından patenti alınmış bir sistem olup dünyada en yaygın olarak kullanılan DPF sistemidir. Bir yüksek aktiviteli platin oksidasyon katalisti yanında çok ince seramik wall-flow filtreden ibaret olan iki odadan oluşmuştur (Şekil 8). Kirli egzoz gazı ilk odaya girdiğinde gazı katalist boyunca düzenli bir şekilde dağıtan dağıtıcı plakaya çarpar. Platin oksidasyon katalisti CO ve HC'ü, CO₂ ve H₂O'ya oksitleyerek neredeyse tamamen onları egzoz gazından temizler. NO'ların bazılarını da NO₂'ye oksitler. Bu CRT filtre tarafından birikmiş isin uzaklaştırılması için çok önemlidir. İkinci odadaki wall-flow filtre egzoz gazındaki partikül maddeyi yakalar. Bu yakalanan is egzoz gazından uzaklaşan NO₂ tarafından sürekli olarak oksitlenir. CRT sistemi PM, HC ve CO'leri % 90'ın üzerinde



Şekil 8. CRT Tipi Partikül Filtresi [29]

azaltan çok iyi bir performans gösterir. NO_x azalması garanti edilmezken tipik olarak azalma % 5-10 arasındadır [27]. CRT başarılı bir pasif operasyon için 275 °C'den yüksek egzoz gaz sıcaklığı, yakıtta 50 ppm'den az kükürt içeriği ve 20'den fazla NO_x/PM oranı gibi uygulama şartları gerektirir [28]. Eğer bu şartlar karşılanamazsa yerine bir CCRT sistem düşünülebilir. CRT sistemin diğer pasif sistemlerden daha geniş şartlarda fonksiyonunu yerine getirebilmesi onun başarısının temelidir. CRT'nin avantajı düşük egzoz gazı sıcaklıklarındaki uygulamalarda açıkça görülmekte olup; bu avantaj CCRT sistemde daha da artırılabilir [26]. Bu sistemler DPF'de yağlama yağındaki katkılardan (Ca, Zn ve P gibi) kaynaklanan ve filtrede yakılamayan küllerin artmasından dolayı 100,000-200,000 km aralıklarında bakım gerektirir [10]. Sistemin en büyük sakıncası ön oksitleyicinin kükürte karşı hassas olmasıdır. Sistemin bir diğer zayıf noktası da sistemin NO_x'un varlığına bağımlı olmasıdır [1].

CCRT sistemi katalitik kaplı DPF'nin kullanıldığı bir CRT sistemdir. Oksidasyon katalisti CO ve HC'leri giderir ve egzoz gazlarındaki NO'ların bazılarını NO₂'ye oksitler. Filtredeki is NO₂ ile reaksiyona girer. Reaksiyonda üretilen NO'nun bir kısmı tekrar NO₂'ye okside olur. NO₂ kalan herhangi bir partikülle reaksiyona girerek partikülü egzoz gazından uzaklaştırır [30]. CCRT sistemi bir CRT sistemin bütün avantajlarını sağlar; fakat CRT sisteme göre çok daha düşük egzoz sıcaklıklarında da kullanılabilir. Sistem US EPA tarafından kullanım süresinin % 40'ı için 210°C'nin üzerindeki sıcaklıklara sahip uygulamalar için onaylanmıştır. Bir standart CRT sistemi için yetersiz NO_x: PM oranına sahip motorlarla da kullanılabilir [31].

Aktif Rejenerasyon

Pasif DPF teknolojilerinin uygulaması egzoz gaz sıcaklığıyla sınırlanır. Çoğu dizel motor uygulamalarında sıcaklıklar pasif rejenerasyonu sürekli devam ettirmek için yeterli değildir [32]. Bunun için tutulan isin sıcaklığını oksitlemenin başlayacağı sıcaklık değerine kadar (550-600 °C) artırmak bu problemin çözümünde kullanılan yöntemlerden biridir. Bu

yönteme aktif rejenerasyon sistemi denmektedir [33]. Böyle durumlarda aktif rejenerasyonu periyodik olarak başlatmak için dışarıdan enerji sağlanabilir [32]. Bu sistemler rejenerasyon için gerekli sıcaklığa ulaşmak için gerekli enerjiden dolayı yüksek yakıt ekonomisine sebep olabilir [33]. Aktif rejenerasyon hızlı bir prosestir. Onu kontrol etmek için kompleks proses kontrolü ve bazı motor yönetim kontrolü gerekmektedir. Aktif DPF'ler rejenerasyon için kullanılan enerji tipine göre elektrikli, yakıt brülörlü ve mikro dalgalı, kontrol metoduna göre ise otomatik ve manuel destekli olarak sınıflandırılabilir [34].

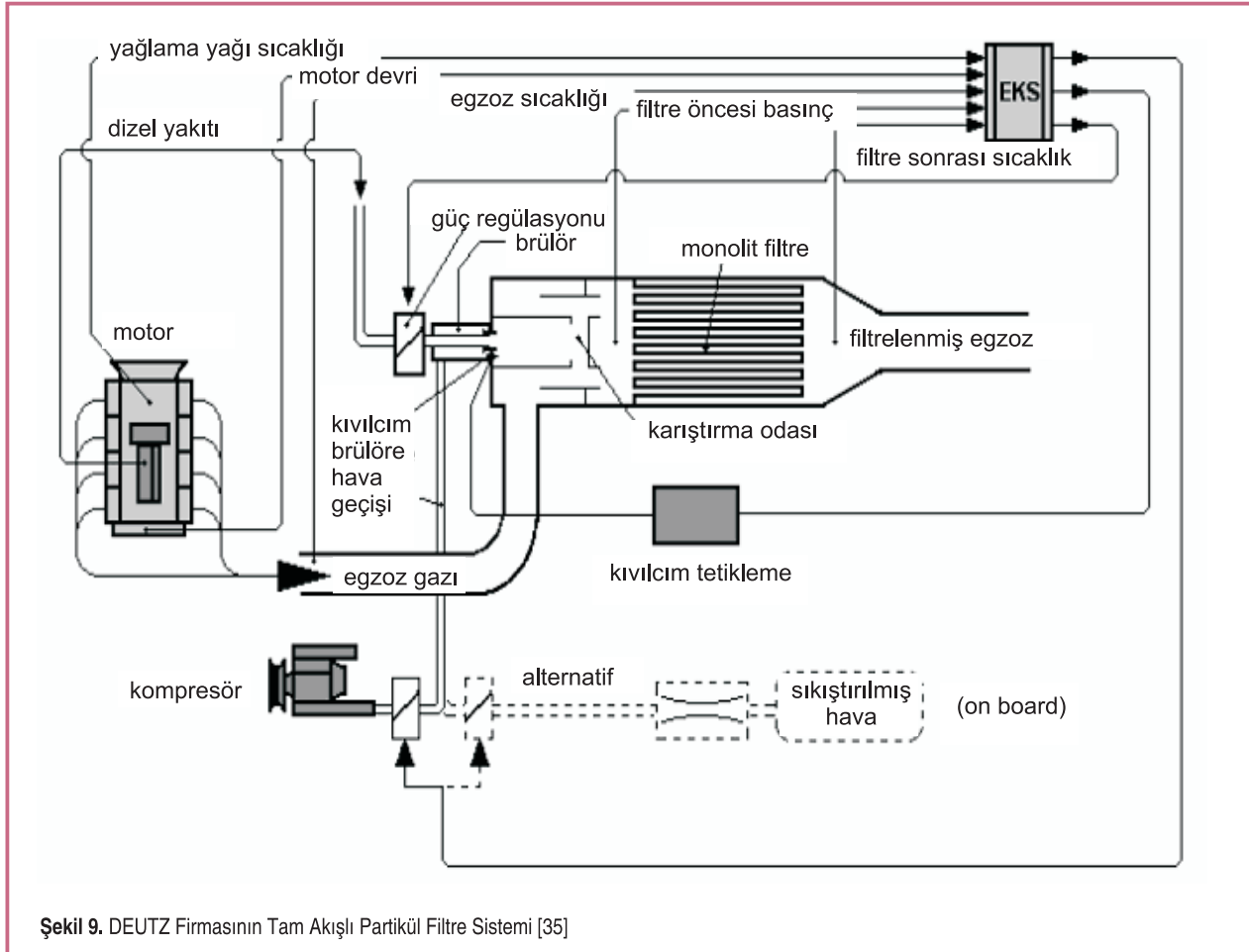
Motordan Enerji Sağlayarak Yakma

Alışılmış yöntemler gecikmiş püskürtme, son püskürtme, kelebek (kısmı valfi) ve egzoz gazı resirkülasyonudur. Bunlar çoğu uygulamalarda özellikle rejenerasyonu teşvik etmek ve sürdürmek için uygun katalistlerle kombine edildiğinde yaklaşık 200 °C egzoz sıcaklığına kadar bir artış sağlarlar. Bu çalışma biçimleri yakıt tüketimini artırır, ancak bu etki azdır. Çünkü rejenerasyon süresinin normal kullanım süresine oranı oldukça küçüktür. Rejenerasyon için toplam kullanım süresinin % 1-3'ü gereklidir. Bununla birlikte bu yöntemler sadece partikül filtreli, elektronik enjeksiyonlu yeni motorlar için uygundur [35].

Yakıt Yakarak Filtre Rejenerasyonu

Dizel yakıtı filtre rejenerasyonu için uygun bir enerji kaynağıdır. Bazı sistemlerde egzoz gazına yakıt püskürtülür ve filtrenin önüne yerleştirilen ısıtıcı katalist üzerinde yakılır. Bir diğer sistemde bir dizel yakıtlı brülörün yanma alevi sayesinde egzoz gaz sıcaklığı artırılır. Termal dengede bir rejenerasyon sağlamak için her iki sistemde kompleks rejenerasyon stratejisi gerektirir [19]. Bir yakıt brülörü, egzoz gaz sıcaklığını yakalanan isin oksidasyon yoluyla rejenerasyonunu sağlayabilecek dereceye artırmak için kullanılabilir [36]. Bu sistem filtrenin önünde bir yakıt brülörü içerir. Filtre işlemlerinde brülöre dizel yakıtı gönderilir ve ateşlenir. Yakıtın yanmasıyla üretilen ısı filtrede istenilen sıcaklık artışı sağlar. Bazı yakıtlı brülör sistemleri motorun herhangi bir kullanım şartında rejenerasyon işlemini yapacak biçimde dizayn edilmişlerdir. Diğerleri motorun boşta, düşük hızlarda çalışmasını veya rejenerasyon için motorun tamamen durdurulmasını gerektirir.

Sistemlerin kullandığı brülörün farklılığına göre filtre sistemleri, full flow (tam akışlı) ve tek nokta brülör sistemleri olmak üzere 2'ye ayrılabilir. Tam akışlı sistemler otomatiktir. Çalışmaları araç operatörü tarafından görünmez.



Şekil 9. DEUTZ Firmasının Tam Akışlı Partikül Filtre Sistemi [35]

Rejenerasyon aracın düzenli kullanımı sırasında gerçekleştirilir. Avrupa'da ticari olarak bulunmasına rağmen yüksek karmaşıklık ve sistem maliyeti yüzünden kullanımları sınırlıdır. Yakıt brülörlü filtre rejenerasyonu yakıt ekonomisini belli bir miktar kötüleştirmektedir. Bu kötüleşme filtre sistemi, araç ve kullanım şartlarına bağlıdır. Deutz tarafından kullanılan ful flow sistemin (Şekil 9) brülörle rejenerasyon yüzünden fazla yakıt harcaması % 1-2'dir. Tek nokta brülör sistemlerinde rejenerasyon süresince makine park edilmek ve motor boşta çalışmak zorundadır. Bu yöntemde rejenerasyon daha basit olabilir ve rejenerasyon için yakıt ihtiyacı, ilave bakım harcaması (rejenerasyon operatör tarafından başlatılmak zorundadır) ve makinanın çalışmama süresi daha düşüktür. Günümüzde tek noktalı sistemler Avrupa'da kullanılmaktadır (HUSS marka). Bu sistemlerde rejenerasyon için küçük bir hava akımı sağlayan bir blowerin olması rejenerasyon için kullanılan yakıt miktarını azaltmaktadır [32].

Elektrikli Rejenerasyonlu Filtreler

Dizel partikül filtrelerinin elektrikle rejenerasyonu on-board veya çeşitli off-board biçimleriyle yapılabilir. Araç güç kaynağına bağlı elektrikli bir ısıtıcı vasıtasıyla yapılan on-board rejenerasyon araç, elektrik sistemi üzerinde önemli bir ek yük oluşturur. Kısmi akış düzeni veya sıcak havayla rejenerasyonda enerji verimi daha fazladır. Dışarıdan bir güç kaynağına bağlanabilen veya off-board rejenerasyon için araçtan sökülebilen filtre sistemleri geliştirilmektedir [19].

Donaldson firması şehir otobüsleri için elektrikli rejenerasyonlu ileri seramik filtre sistemlerini geliştirmektedir. Bu sistem sadece ağır hizmet taşıtlar için uygundur. % 85'e kadar PM verimi elde edilmiş ve fazla yakıt tüketimi % 3,5 olarak beklenmektedir [37]. On-board rejenerasyon sistemlerinde filtre elemanı ve rejenerasyon donanımından (bir elektrikli ısıtıcı ve genellikle rejenerasyon havasını sağlamak için bir blower) oluşur ve araç üzerinde yerleştirilir. Filtrenin nominal kapasitesinde isle yüklendiği ve rejenere edilmesi gerektiği sürücü tarafından basınç düşüm monitöründe görülür. Rejenerasyonu gerçekleştirmek için operatör aracı bir güç çıkışı yakınına park edip, DPF sistemini güce bağlamalı ve rejenerasyonu başlatmalıdır. Rejenerasyon genellikle aracın kullanımına ve filtre kapasitesine bağlı olarak günde bir defa veya birkaç günde bir defa yapılır. Rejenerasyon süresi filtre sistemine bağlı olarak 15 dakikadan bir saate kadar sürebilir. Off-board rejenerasyon sistemleri iki bileşen içerir. Araç üzerinde bağlı filtre ünitesi ve genellikle bakım atölyesinde bulunan elektrikli rejenerasyon ünitesidir. Filtre isle yüklendiğinde araçtan sökülmeli ve rejenerasyon ünitesinde rejenere edilmelidir. HUSS, UNICAT, ECS ve DCL firmaları tarafından farklı sistemler yapılmıştır. Elektrikli rejenerasyon filtreleri zamanında rejenere edilmelidir. Eğer araç operatörü filtrenin

isle aşırı yüklenmesine izin verirse rejenerasyon sırasında ünite zarar görebilir [32].

Mikrodalga Rejenerasyonlu Filtreler

Dizel partikül filtrelerinin rejenerasyonu için dizel isi mikrodalganın absorpsiyon özelliği sayesinde ısıtılabilir. Bu metot mikrodalgaları geçiren filtre altlık malzemesiyle kullanıldığında partiküllerin seçici olarak ısıtılmasını sağlar. Filtre malzemesinin mikrodalga gücünü adsorplaması durumunda mikrodalga isin ve filtrenin ısıtılmasında kullanılabilir [19]. Testlerde % 80-95 PM azalma verimi başarılmaktadır [38]. Esas geliştirme çalışmaları dayanıklılık ve ağır hizmet uygulamalarının maliyetini azaltma üzerine yoğunlaşmaktadır [36].

Mikro dalga ısıtmanın başlıca avantajı filtre hacmi boyunca birikmiş dizel partikülleri içinde doğrudan enerjinin yoğunlaşmasıdır. Bu filtrelerin problemlerinden biri işlem üzerinde memnun edici bir kontrol elde edilmesiyle ilgilidir. Düzensiz rejenerasyon düzeni gösterme eğilimindedirler veya fazla egzotermal ısı yayımı altlıkta zarara yol açmaktadır. Bazı çalışmalarda ise mikro dalga kaçağıyla karşılaşılmıştır. Mikro dalga enerji kaçakları dışarıdaki elektronik devrelerde parazite ve enerji veriminde azalmaya sebep olabilmektedir [36]. Testlerde % 80-95 PM azalma verimi başarılmaktadır [38]. Esas geliştirme çalışmaları dayanıklılık ve ağır hizmet uygulamalarının maliyetini azaltma üzerine yoğunlaşmaktadır [36].

SONUÇ

Dizel motorlarından kaynaklanan kirleticilerden biri de partikül maddelerdir. Partikül maddelerle ilgili emisyon düzenlemeleri de giderek sıkılaşmaktadır. Partikül maddelerin kontrolünde partikül maddelerin boyutu da önem kazanmıştır. Günümüzde partikül maddelerle ilgili araştırmalar, ince tozların etkisinin etkili bir şekilde nasıl azaltılabileceği ve büyük şehirlerdeki sağlık risklerinin nasıl önlenebileceği hakkındadır. Partikül maddelerin azaltılması için kullanılan emisyon kontrol yöntemlerinden biri de dizel partikül filtreleridir. Dizel partikül filtresi dizel motor egzoz gazlarındaki partikül madde emisyonlarını gidermek için tasarlanmış bir cihazdır. Dizel partikül filtreleriyle ilgili çalışmaların bir bölümü de rejenerasyon yöntemleri üzerinedir. DPF tarafından biriktirilen kurum; fazla yakıt harcanmaması, motor ve filtrenin zarar görmemesi için uzaklaştırılması gerekir. Kurumun uzaklaştırılması rejenerasyon olarak ifade edilen oldukça kompleks bir işlemdir. Rejenerasyonun filtreye zarar vermeden yapılabilmesi için çoğu işlem parametresi uyusmalıdır. Ana parametreler egzoz gaz sıcaklığı, egzoz gaz geri basıncı, egzozda kalan oksijen miktarı, hacimsel akış oranı gibi parametrelerdir. Rejenerasyon uygulamaları aktif, pasif ya da her ikisinin birlikte kullanımı şeklindedir.

KAYNAKÇA

1. **Fino, D., Specchia, V.** 2008. "Open Issues in Oxidative Catalysis for Diesel Particulate Abatement," *Powder Technology*, 180, 1-2, p. 64-73.
2. **Şahin, R., Erman, C.** 2006. "Emissions Reduction Techniques for Non-road Diesel Engines," 3rd Automotive Tech. Congress, Bursa.
3. **Jian Liu, J., Zhao Z., Xu, C., Duan, A.** 2008. "Simultaneous Removal of NOx and Diesel Soot Over Nanometer Ln-Na-Cu-O Perovskite-like Complex Oxide Catalyst," *Applied Catalysis B: Environmental*, 78, p. 61-72.
4. AECC Response to EC for 2008 HDD NOx Review. 2011.
5. http://www.oeamtc.at/netautor/download/document/club/Vortrag_Exp_PSA.pdf. Son erişim tarihi : 10.06.2010.
6. **Stratakis, G.A.** 2004. "Experimental Investigation of Catalytic Soot Oxidation and Pressure Drop Characteristics in Wall-flow Diesel Particulate Filters," PhD Thesis, University of Thessaly.
7. **Kittelson, D.B.** 1998. "Engines and Nanoparticles: A Review," *J. Aerosol Sci.*, 29, 5-6, p. 575-588.
8. http://www.man-mn.com/datapool/mediapool/103/Euro4_5_engIIAA06.pdf. Son erişim tarihi : 12.01.2009.
9. "Daha Çevreci ve Temiz Motorlar İçin Euro 4-5'e Geçişte EGR mi? SCR mi?," 2006. *Taşıyanlar*, 6, s. 42-47.
10. **Walker, A.P.** 2004. "Controlling Particulate Emissions from Diesel Vehicles," *Topics in Catalysis*, 28, 1-4, p. 165-170.
11. <http://www.sae.org/ohmag/techinnovations/10-2007/11-15-7-6.pdf>. Son erişim tarihi: 08.02.2011.
12. **Ntziachristosa, L., Samarasa, Z., Zervasb, E. Dorlheb, P.** 2005. "Effects of a Catalysed and an Additized Particle Filter on The Emissions of a Diesel Passenger Car Operating on Low Sulphur Fuels," *Atmospheric Environment*, 39, p. 4925-4936.
13. **King, R.T.** 2007. "Design of a SCR System to Reduce NOx Emissions of the 2003 West Virginia University FutureTruck," MSc. Thesis, West Virginia Un., Morgantown.
14. **Pyzik, A.J., Todd, C.S., Han, C.** 2008. "Formation Mechanism and Microstructure Development in Acicular Mullite Ceramics Fabricated by Controlled Decomposition of Fluorotopaz," *Journal of the European Ceramic Society*, 28, 2, p. 383-391.
15. **Adler, J.** 2005. "Ceramic Diesel Particulate Filters," *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, 2, 6, p. 429-439.
16. <http://www.epa.gov/otaq/reg/hd2007/420r04004.pdf>. Son erişim tarihi:08.02.2011.
17. **Twigg, M. V.** 2006. "Roles of Catalytic Oxidation in Control of Vehicle Exhaust Emissions", *Catalysis Today*, 117, p. 407-418.
18. http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_particulate_filter. Son erişim tarihi: 08.02.2011.
19. <http://www.dieselnets.com/tginfo/abstracts.html>. Son erişim tarihi: 08.02.2011.
20. **Jacobs, T., Chatterjee, S.** 2006. Conway, R., and etc., "Development of Partial Filter Technology for HDD Retrofit," SAE 2006-01-0213.
21. <http://www.cdc.gov/niosh/mining/pubs/pdfs/ic9462.pdf>. Son erişim tarihi: 08.02.2011.
22. **Alkemade, U.G., Schumann, B.** 2006. "Engines and Exhaust After Treatment Systems for Future Automotive Applications," *Solid State Ionics*, 177, p. 2291-2296.
23. **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, 3-4, p. 189-200.
24. *Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles*, 2007, MECA, Washington.
25. **Gense, N.L.J., Jackson, N., Samaras, Z.** Euro 5 Tech. and Costs for LDVs, 2005, TNO Report.
26. <http://ect.jmcatalysts.com/technologies-diesel-crt.htm>. Son erişim tarihi: 12.01.2009.
27. <http://www.eminox.com/products/crt-how-it-works.shtml>. Son erişim tarihi: 08.02.2011.
28. **Jeong, Y.** 2001. "The Trend of Exhaust Emission Standard and DPF Trap Technology for Diesel Powered Vehicles," *Busan Engine Int. Symp.*, Busan, Korea.
29. **Çanakçı, M., Özkesen, A.N.** 2004. "Dizel Motorları Yardımcı Ekipmanlarındaki Gelişmeler," *Mühendis ve Makina Dergisi*, 45, 530, s. 37-42.
30. <http://www.eminox.com/products/crt-how-it-works.shtml>. Son erişim tarihi: 08.02.2011.
31. <http://ect.jmcatalysts.com/technologies-diesel-ccrt.htm>. Son erişim tarihi: 12.01.2009.
32. NYSERDA Clean Diesel Techn.: Non-road Field Demonstration Program, 2007, Interim Report.
33. **Psarianos, D. L.** 2002. "Development of a System for The Measurement of Soot Maldistribution and Pressure Drop Characteristics in DPFs," Postgraduate specialization thesis, Univ. of Thessaly.
34. **Görsmann, C.** 2007. "Catalytic Coatings for Regeneration," Haus der Technik Congress: DPF Retrofit of Diesel Engines, Munich.
35. http://www.akpf.org/pub/2003_particle_traps.pdf. Son erişim tarihi: 12.01.2009.
36. *Emission Control Technology for HD Vehicles*, 2002, Final report v.1, MIRA and etc.
37. **Johnson, T. V.** 2000. "Diesel Emission Control in Review," SAE 2000-01-0184.
38. **Nixdorf, R.D., Green, Jr., J.B., Story, J.M., Wagner, R.M.** 2001. "Microwave-regenerated Diesel Exhaust Particulate Filter", SAE 2001-01-0903.