

Malatya İlindeki Atık Plastiklerin Dizel Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi

Rasim BEHÇET^{1*}, Ali EROĞLU¹

ÖZET: Bu çalışmada, Malatya ilindeki atık plastiklerin geri dönüşümünün sağlanması ve geri dönüşümü yapılan atık plastiklerin sıvılaştırılarak bir dizel motorda yakıt olarak test edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaca yönelik olarak geri dönüşümü yapılan atık plastiklerin sıvılaştırılması için yöntem olarak piroliz proses tekniği kullanılmıştır. Bununla beraber, atık plastik kaynaklı piroliz sıvısı elde edebilmek için hammadde olarak da Malatya ilinde atık hale gelen farklı tür plastik şişe ve kapakları ile atık enjektörler kullanılmıştır. Piroliz yöntemi ile atık plastiklerden elde edilen piroliz sıvısı, hacimsel olarak %20 oranında standart dizel yakıtı (SDY) ile karıştırılarak APY20 olarak isimlendirilen karışım yakıt elde edilmiştir. SDY ve APY20 yakıtları, su ile soğutmalı ve tek silindirli bir dizel motorda test edilerek yakıtların motor performans ve emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda SDY'e göre APY20 karışım yakıtın motor momenti ve motor gücü değerlerinde azalma gerçekleşirken özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise artış görülmüştür. Ayrıca, karışım yakıtın CO, HC ve CO₂ emisyon değerleri dizel yakıtı göre artarken NO_x emisyon değerlerinde azalma görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Malatya, atık plastik, dizel motor, yakıt üretimi

Evaluation As Diesel Engine Fuel Of Waste Plastics In Malatya

ABSTRACT: In this study, it is aimed to recycle the waste plastics in Malatya province and to test the recycled waste plastics as fuel in a diesel engine by liquefying them. For this purpose, pyrolysis process technique has been used as a method to liquefy recycled waste plastics. In addition, different types of plastic bottles and caps and waste injectors were used as raw materials in Malatya to obtain waste plastic sourced pyrolysis liquid. The pyrolysis liquid obtained from waste plastics by the pyrolysis method was mixed with 20% by volume of standard diesel fuel (SDF), and a mixed fuel named APY20 was obtained. SDF and APY20 fuels were tested in a water-cooled single-cylinder diesel engine, and the engine performance and emission values of the fuels were compared. As a result of the experiments, while the engine torque and engine power values of the APY20 mixed fuel decreased, the specific fuel consumption values increased according to the SDF. In addition, while CO, HC and CO₂ emission values of the blended fuel increased compared to diesel fuel, a decrease was observed in NO_x emission values.

Keywords: Malatya, waste plastic, diesel engine, fuel production

¹Rasim BEHÇET (Orcid ID: 0000-0002-6897-3066), İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

²Ali EROĞLU (Orcid ID: 0000-0002-4819-6351), İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Rasim BEHÇET, e-mail: rbehcet23@gmail.com rasim.behcet@inonu.edu.tr

Bu çalışma Ali EROĞLU'nun Yüksek Lisans Tezinde üretilmiştir.

GİRİŞ

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte enerji ihtiyacı her geçen gün biraz daha artmaktadır. Nüfus artışına paralel olarak fosil kökenli yakıtla çalışan taşıt sayısı da artmaktadır. Artan taşıt kullanımı, fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin azalması ve tükenme endişesi, yakıt fiyatlarının artması ve dizel motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının olumsuz etkilerinden dolayı yeni ve yenilenebilir alternatif yakıtlar gündeme gelmiş ve bu yakıtların önemi gün geçtikçe artmaktadır. Motorlu taşıtlarda yakıt olarak değerlendirilebilecek alternatif yakıtlardan biri de atık plastik kaynaklı yakıtlardır. Saksı, kova, kavanoz, leğen, boru, pencere malzemesi, paketleme, oyuncak, halı ve mobilya gibi birçok alanda kullanılabilen plastiklerin geçmişi 1860'lı yıllara dayanmaktadır. 1868 yılında Amerikalı John W. Hyatt tarafından, selüloz nitratin kafur ile karıştırılmasından elde edilen plastikten düğme, tarak ve bilardo topları üretilmiş olup günümüzde de plastiklerin ucuz, hafif, dayanıklı, ve kolayca kırılmaz gibi özellikleri dikkate alınarak ambalajlama ve paketleme başta olmak üzere oyuncak yapımı, ev eşyası imalatı, şişe vb. gibi birçok malzemenin üretiminde hammadde olarak kullanılabilmektedir. Her yıl dünyada yaklaşık olarak 100 milyon ton plastik ürünü kullanılarak atık hale gelmektedir. Günümüzde Türkiye, plastik pazarının 10 milyon tonu aşan üretim miktarı ile dünyada yedinci ve Avrupa'da ise ikinci sırada bulunmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de atık hale gelen plastikler çevreyi kirletip uygun olmayan görüntüler oluşturmaktadır. Çevreyi uygun olmayan görüntülerden kurtarmanın yöntemlerinden biri de atık plastiklerin geri dönüşümü sağlanarak zararsız hale getirip onları yeniden değerlendirmektir. Son zamanlarda, farklı tür atıkların (atık bitkisel yağlar, atık hayvansal yağlar, atık lastikler vb.) hem çevre ve insan üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak hem de yeniden değerlendirmek araştırmacıların en çok üzerinde durduğu konulardan olmuştur. Bunların başında ise atık kaynaklı yakıtlar gelmektedir. Son zamanlarda farklı tür atıklar (atık kıyartma yağları, atık motor yağları, atık bitkisel ve hayvansal yağlar vb.) çeşitli aşamalardan (Transesterifikasyon, piroliz vb.) geçirilerek dizel yakıtı alternatif yakıt üretmek için çok sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır. Taşımacılık sektöründe önemli bir yere sahip olan dizel motorlardan salınan egzoz emisyonları, çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu motorların geleceği, enerji kaynağı olarak kullanılan yakıtların sürekliliğine, düşük maliyetli olmasına ve çıkarmış oldukları kabul edilebilir emisyon değerlerine bağlıdır. Yakıt tüketim ve maliyetinin azaltılması ile birlikte egzoz gazları içerisindeki zararlı emisyonların düşürülmesi dizel motorlarla ilgili araştırmaların başlıca konusu olmuştur. Dizel motorlarda yakıt olarak değerlendirilebilecek atık maddelerden biri de atık plastiklerdir. Plastikler ağırlıklarının hafif, verimliliklerinin yüksek, ömürlerinin uzun olmalarından dolayı birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadırlar. Plastikler petrol türevlerinden üretilirler ve temel olarak hidrokarbonlardan oluşmalarının yanında antioksidan ve boyar madde de içerirler. Atık plastiklerin bertaraf edilmesi ise çevre için çok ciddi tehlike oluşturmakta ve onları tamamen etkili şekilde bertaraf etme yöntemleri henüz uygulanmamaktadır. Plastikler çoğunlukla karbon, hidrojen ve nitrojen gibi diğer elementleri içerdiklerinden biyolojik olarak parçalanamayan ürünlerdir. Doğada biyolojik olarak parçalanamamalarının sebebiyle ciddi atık problemlerine sebep olmaktadır. Bu sebeple birçok araştırmacı plastiklerin geri kullanımı üzerine araştırma yapmışlardır (Williams ve ark., 1999; Murugan ve ark., 2008; Mani ve ark., 2009).

Mevcut yakıtlar arasında, piroliz işlemiyle üretilen plastik yakıtlar günümüz dünyasının ilgi odağı haline gelmiştir. Plastik piroliz tekniği, kullanılabilir sıvı veya gaz içerisindeki enerji içeriğini geri kazandığı için en ideal atık geri dönüşüm tekniği olarak düşünülmektedir (Wong ve ark., 2015). Piroliz tekniği enerji kazanmada kullanılmakta ve ana ürün olarak petrol türevi yakıtlara benzer sıvı yakıtlar verebilmektedir (Murugan ve ark., 2009; Syamsiro ve ark., 2014). Son araştırmalar herhangi bir

modifikasyon olmadan plastik yakıtların dizel motorlarda kullanılabilceğini göstermektedir (Mani ve ark., 2011; Kumar, 2013). Srikanth ve arkadaşları (Srikanth et al., 2016), tarafından yapılan çalışmada atık plastiklerden piroliz yöntemi ile piroliz yağı elde etmişlerdir. Bu yakıtı, hem saf halde hem de dizel yakıtla karıştırıp bir dizel motorda performans ve emisyon değerleri üzerine araştırma yapmışlardır. Piroliz yakıtlarla elde edilen değerler dizel yakıtla karşılaştırıldığında tüm karışımlarla özgül yakıt tüketiminin arttığı ve CO emisyonları dizel yakıttan daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca tam yükte CO₂ emisyonlarının arttığı ve HC emisyonlarının dizel yakıtı göre kabul edilebilir aralıkta azaldığı sonuçlarına varmışlardır. Mani ve arkadaşları (Mani et al., 2011) atık plastiklerden elde ettikleri yakıtı bir dizel motorda kullanarak performans, emisyon ve yanma karakteristikleri incelemiştir. Yapılan çalışmada motorun %100 atık plastik yakıtı ile çalışabildiğini, dizel yakıt ile karıştırıldığında karbonmonoksit emisyonu %5 arttığını yanmamış hidrokarbon emisyonu yaklaşık %15 daha yüksek çıktığı ve nominal güçte duman oranında %40 azalma meydana geldiği görülmüştür. Kumar ve arkadaşları (Kumar ve ark., 2013), atık HDPE (high density polyethylene)'den piroliz yöntemi ile elde edilen sıvı yakıtı belirli oranlarda dizel yakıtla karıştırıp bir dizel motorda test ederek yakıtın motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir. Farklı oranlarda atık plastik yakıt karışımlarının motor performans, mekanik verim, yanmamış hidrokarbon, karbondioksit ve karbon monoksit değerleri bakımından dizel yakıt ile karşılaştırılarak hangi karışımın yararlı olduğunu belirlemiştir. Yapılan çalışmada tüm motor yüklemelerinde yakıt karışımı içerisindeki atık plastik kaynaklı yakıt oranı arttıkça NO_x, HC ve CO emisyon değerlerinin arttığı, CO₂ emisyon değerlerinin azaldığı sonucuna varmışlardır. Devaraj ve arkadaşları (Devaraj ve ark., 2015), atık plastiklerin pirolizi ile elde ettikleri sıvıyı önce saf halde daha sonra da piroliz sıvısına hacimsel olarak % 5 ve % 10 dietil eter ilave ederek oluşturulan karışım yakıtları tek silindirli bir dizel motorda test ederek yakıtların motor performans, yanma ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini standart dizel yakıt ile karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Test sonuçlarında elde edilen değerlere göre atık piroliz sıvısı katkılı yakıtın CO, NO_x ve duman yoğunluğu değerlerinde saf dizel yakıtı kıyasla azaldığı, dietil eter ilavesi ile yanmanın iyileştiği ve fren termal veriminin arttığı ifade edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, çevre ve insan sağlığı açısından risk oluşturan atık plastiklerin değerlendirilerek ekonomiye kazandırılmasını sağlamak, fosil kökenli yakıtlara alternatif yakıt üretmek ve içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımını araştırmaktır. Bu amaca yönelik Malatya ilindeki atık plastikler kullanılarak alternatif yakıt elde edilmiş ve bu yakıt, tek silindirli içten yanmalı bir dizel motorda test edilerek yakıtın motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu çalışmada alternatif yakıt elde edebilmek için Malatya ilindeki atık plastikler kullanılmıştır. Bu atık plastiklerden genellikle HDPE plastik grubu tercih edilmiştir. Çünkü HDPE, diğer plastik gruplarına göre daha fazla hidrokarbon bileşikleri ihtiva etmektedir. Bu nedenle piroliz proses tekniğinde damıtılan ürün miktarı ve grubu daha fazla olmaktadır. Ayrıca standart dizel yakıt C16-C20 arasındaki hidrokarbonlu bileşiklerden oluştuğundan HDPE olarak isimlendirilen plastik grubu bu yakıtı en yakın hidrokarbonlu bileşikler içerir. HDPE plastik grubunun darbe ve çekme dayanımları yüksek olup sıcaklık dayanımları 100 °C'nin üzerindedir. Yaklaşık 1,75 kg petrolden 1 kg HDPE plastik elde edilebilmektedir. Bu plastik gruplarına şişe kapakları, enjektör, sert şişeler, bidonlar ve variller vb. örnek olarak verilebilir.

Malatya İlinin Atık Plastik Potansiyeli

Kullanıldıktan sonra atık hale gelen ve doğada uzun süre yok olmayan plastikler, çevreye atılmakla görüntü kirliliğine ve yakılarak bertaraf edilmesi ile de hava kirliliğine sebep olmaktadır. Doğada yüzlerce yıl bozunmadan kalabilen atık plastik kaynaklı çevre kirliliğinin önüne geçebilmenin yöntemlerin biri de atık plastiklerin geri dönüşümü yapılarak yeniden değerlendirilip ekonomiye katkı sağlanmasıdır. Geri dönüşümü yapılarak atık plastiklerin yeniden değerlendirilip kullanıldığı alanlardan biri de atık plastiklerden elde edilen yakıtların içten yanmalı motor yakıtına dönüştürülmesidir. Bir ton atık plastik ile yaklaşık olarak 5.7 MWh enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Malatya ilinde 2014 yılında başlatılan ve şu anda 43 noktada hizmet veren ‘Geri Dönüşüm Evleri’ ile gezici faaliyetlerde bulunan üç adet ‘Mobil Geri Dönüşüm Evi’ sayesinde kıyafet, kitap, oyuncak, bayat ekmek, pil, atık yağ ve ambalaj gibi atıkların toplanıp ayrıştırılması sağlanmaktadır. İhtiyaç fazlası olan ya da kullanılmadığı için artık hale gelen ve bir başkasının ihtiyacı olabilecek kıyafet, kitap, oyuncak vb. gibi malzemeler ihtiyaç sahiplerine ulaştırılmaktadır. İlin farklı noktalarına yerleştirilen ‘Geri Dönüşüm Sepet Şişeleri’ sayesinde teneke kutu, cam şişe ve plastik pet şişeler ayrıştırılmakta ve bunların yeniden değerlendirilmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca Malatya ilinde yakın bir zamanda hizmete sunulacak olan ‘Ambalaj Atığı Toplama ve Ayrırma’ tesisi ile atıklar kaynağında ayrıştırılarak çevreye zarar vermeden geri kazanılması ve bertaraf edilmesi için çalışmalar da devam etmektedir (Anonim, 2011; Anonim, 2015).

Çizelge 1. İlçeler bazında Malatya ilinde oluşan yıllık atık plastik miktarları (Çağatay ve Çobanoğlu, 1997)

İlçe	Nüfus	Kat Sayı	Atık Miktarı(Nüfusx0.8)	Ton
Akçadağ	32 260	0.8	25 808	26
Arapgir	11 041	0.8	8 832.8	9
Arguvan	9 038	0.8	7 230.4	7
Battalgazi	397 806	0.8	238 244.8	240
Darende	28 978	0.8	23 182.4	23
Doğanşehir	41 006	0.8	32 804.8	33
Doğanyol	4 720	0.8	3 776	4
Hekimhan	22 181	0.8	17 744.8	18
Kale	5 975	0.8	4 780	5
Kuluncak	8 885	0.8	7 108	7
Pütürge	17 986	0.8	14 388.8	15
Yazihan	15 297	0.8	12 237.6	12
Yeşilyurt	267 365	0.8	213 892	125
Toplam	762 538	0.8	610.030.4	610

Malatya ilinde atık plastiklerin geri dönüşümü ile ilgili bir proje kapsamında toplanan plastik kapaklar, bedensel engelliler için akülü tekerlekli sandalye alımında değerlendirilmiştir. Beş aylık bir sürede toplanan 3 tona yakın plastik kapak hem akülü tekerlekli sandalyeye alımında engelliler için umut kaynağı olmuş hem de çevreye zarar vermeden geri kazanılmıştır. 200 °C üzerindeki bir sıcaklıkta tamamen eriyebilen plastik kapaklar, yumuşak dokulu sicimler haline getirildikten sonra ham üretiminde değerlendirilebilecek maddeye dönüştürülmektedirler. Toplanan plastik kapaklar farklı işlemlerden geçirilerek ayrıştırılmış ve küçük parçalara bölünüp yumuşatılarak işlenebilir hale getirilmiştir. Daha sonra geri dönüşümden elde edilen atık plastik kapak kaynaklı hammaddelerin mobilyadan tesisat borularına, plastik dolaplardan saksılara kadar günlük hayatta pek çok yerde kullanılan eşyalara dönüşümü yapılabilmektedir (Anonim, 2011). Malatya ilinde her yıl yaklaşık olarak 610 ton atık plastik oluşmaktadır. Oluşan atık plastik miktarının kişi başına üretimi ise 1997 yılında 1 kg iken, 2018 yılında 1.5 kg olmuştur. Malatya Yeşilyurt Belediyesi tarafından toplanan yaklaşık 2 bin 430 ton atık plastikten 13.958 MWh enerji tasarrufu sağlanmıştır. Çizelge 1’de ilçeler bazında Malatya iline ait atık plastik

miktarları ve Şekil 1’de de Malatya ilinde oluşan ve enerji üretiminde değerlendirilebilecek atık plastik türleri görülmektedir.

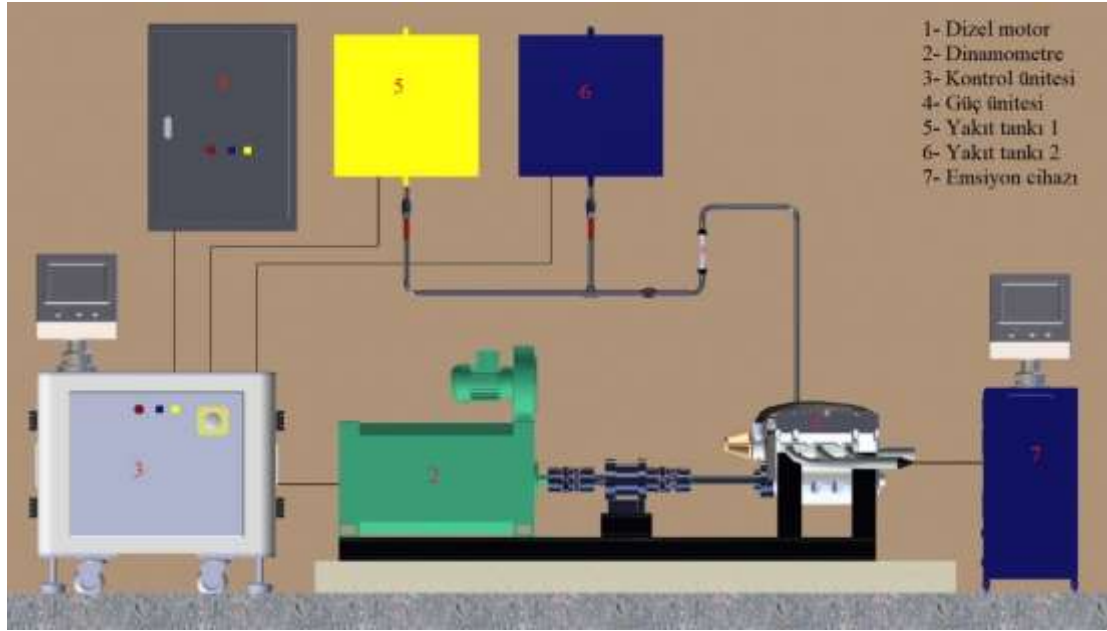


Şekil 1. Malatya ilinde oluşan ve enerji üretiminde değerlendirilebilecek atık plastik türleri

Yöntem

Deneylerde kullanılan atık plastik kaynaklı dizel benzeri alternatif yakıtın üretimi, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği laboratuvarında atık plastiklerden piroliz yöntemiyle üretilmiş olup piroliz işlemi şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Piroliz sıvısının elde edilmesinde kullanılan hammadde, Malatya ilinde kullanım sonucu atık hale gelen plastikler olup bu plastikler toplanarak yıkanmış ve kurutulmuştur. Daha sonra plastikler 1-2 cm’lik küçük parçalar haline getirilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Piroliz sıvısının elde edildiği sistem şu kısımlardan oluşmaktadır: 1 adet azot gazı tüpü, 1 adet mantolu ısıtıcı, 1 adet termocouple, 2 adet cam beher, 2 adet ayırma hunisi, yaklaşık 250 gr cam yünü, 2 adet 2 silifli 29/32 ana girişli balon, 1 adet termometre. Atık plastikler küçük parçalara ayrıldıktan sonra reaktörün içindeki 3 silifli beher cama konuldu. Beher camın bir girişine azot gazı hortumu, diğer girişine termocouplen uç kısmı, diğer girişine ise otoklavlanabilir silikat şişe uçları takıldı. Azot gazı hortumundan reaktörün içerisine azot gazı verildi. Buradaki amaç inert bir ortam oluşturup oksijeni ortamdan atarak yanma reaksiyonunun önüne geçilmesidir. Reaktörden dışarıya olan ısı kaybını azaltmak için ise reaktörün etrafı cam yünüyle sarıldı. Reaktör 450 °C’ye gelene kadar elde edilen ürünler ayırma hunisinde toplandı. 450 °C ‘de yaklaşık olarak 30 dk beklendi. Deney sonucunda elde edilen ürünler daha sonra 150 ile 400 °C arasında değişen sıcaklıklarda damıtılarak standart dizel yakıtı benzer özellikler gösteren atık plastik kaynaklı piroliz sıvısı (APKPS) elde edilmiştir. Elde edilen piroliz sıvısı hacimsel olarak %20 oranlarında standart dizel yakıt ile karıştırılarak APY20 olarak isimlendirilen karışım yakıt oluşturulmuş ve bu karışım yakıt tek silindirli bir dizel motorda test edilerek karışım yakıtın motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi standart dizel yakıtın verileri ile karşılaştırılmıştır. Motor test deneyleri Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu otomotiv atölyesinde yapılmıştır. Motor deneyleri için tek silindirli, dört zamanlı, hız değişimli, hava soğutmalı ve direkt enjeksiyonlu ve 9 kW güce sahip Antor

3LD 510 marka bir dizel motor kullanılmıştır. Deney test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Çizelge 2. Test yakıtlarının özellikleri

Yakıt Özellikleri	APKPS	Dizel Yakıt
Yoğunluk (kgm^{-3})	871.9	834.5
Viskozite 40 °C ($\text{mm}^2\text{sn}^{-1}$)	2.78	2.45
Isıl Değer (kJkg^{-1})	41.8	45.142
Parlama Noktası (°C)	20 °C'de ilk ateşlemede alev aldı	55 °C'de ilk ateşlemede alev aldı
Setan sayısı	54	52

Çizelge 3. Test motorunun teknik özellikleri

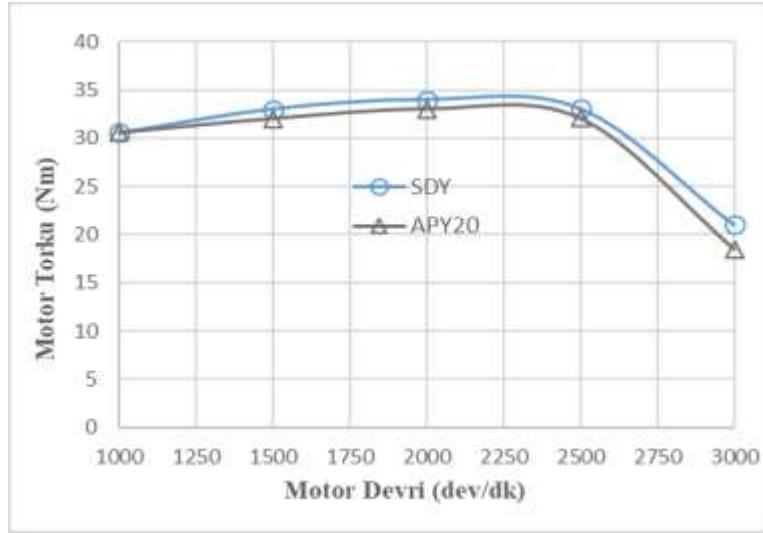
Motor tipi	Antor 3 LD 510
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi	510 cm^3
Silindir çapıxstrok	85 x 90 mm
Sıkıştırma oranı	17:1
Max. motor gücü	9 kW
Max. motor devri	3200 dev dak^{-1}
Max. motor torku	35 Nm 1800 dev dak^{-1}

Motor test yakıtlarının analizi İnönü Üniversitesi Akaryakıt/Petrol Analiz Laboratuvarı'nda yapılmış olup analiz sonuçları Çizelge 2'de ve test motorunun teknik özellikleri de Çizelge 3'te verilmiştir.

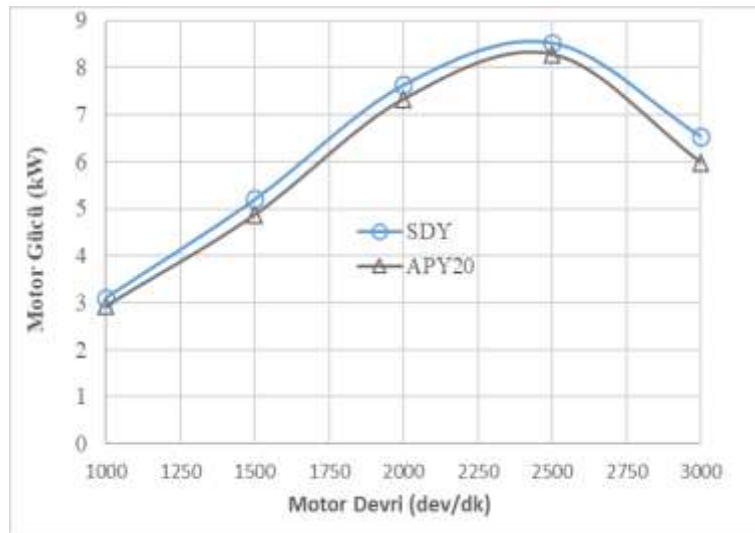
BULGULAR VE TARTIŞMA

Motor Performansı

Dizel yakıt ile karışım yakıtın motor performans eğrileri Şekil 3, 4 ve 5'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde standart dizel yakıtın motor momenti değerleri tüm devir sayılarında karışım yakıtlı motor moment değerlerinden daha yüksek çıktığı görülmektedir.

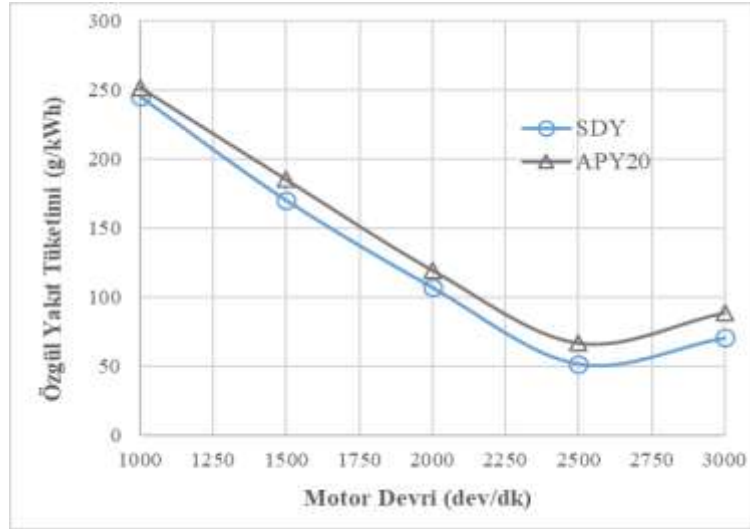


Şekil 3. Farklı devir sayılarındaki test yakıtlarının motor momenti değişimleri



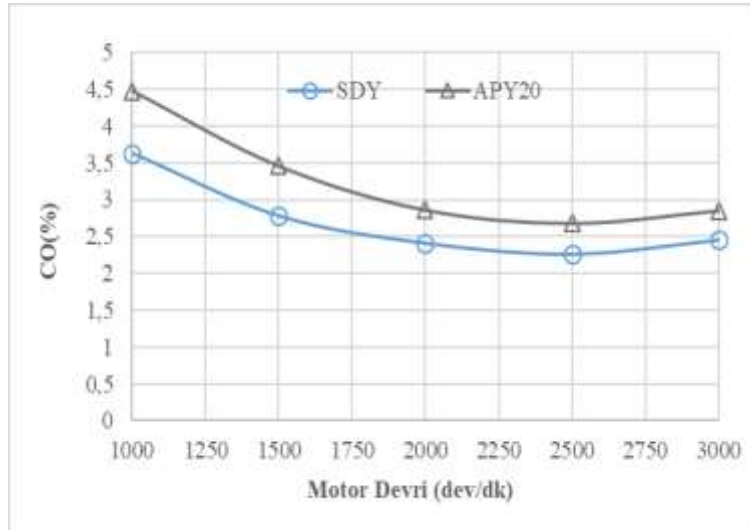
Şekil 4. Farklı devir sayılarındaki test yakıtlarının motor gücü değişimleri

Şekil 4'de görüldüğü gibi devir sayısının artmasıyla her iki yakıtın motor gücünde artış meydana gelmiş ve maksimum gücün dizel yakıt kullanıldığında 2500 dev.dak⁻¹'de elde edildiği görülmektedir. Dizel yakıtı kullanımında, karışım yakıtı göre daha yüksek motor torku değerleri elde edilmiştir. Şekil 5'de ise APY20 karışım yakıt kullanımının özgül yakıt tüketimine olan etkisi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde karışım yakıtın özgül yakıt tüketimi tüm devir sayılarında dizel yakıtı göre daha fazla olmuştur. Her iki yakıt türünde de minimum özgül yakıt tüketimi değeri 2500 motor devrinde gerçekleşmiştir. Deney sonuçlarında karışım yakıtındaki özgül yakıt tüketim değerlerinin dizel yakıtı göre daha fazla olduğu elde edilmiştir. Motor moment ve motor gücü değerlerinde azalma, özgül yakıt tüketimi değerlerinde artma görülmesinin sebebi dizel yakıtın ısı değeri karışım yakıtın ısı değerinden fazla olmasıdır. (Kumar ve ark., 2013; Damodharan ve ark., 2017; Kalargaris, 2017; Wong, 2015).



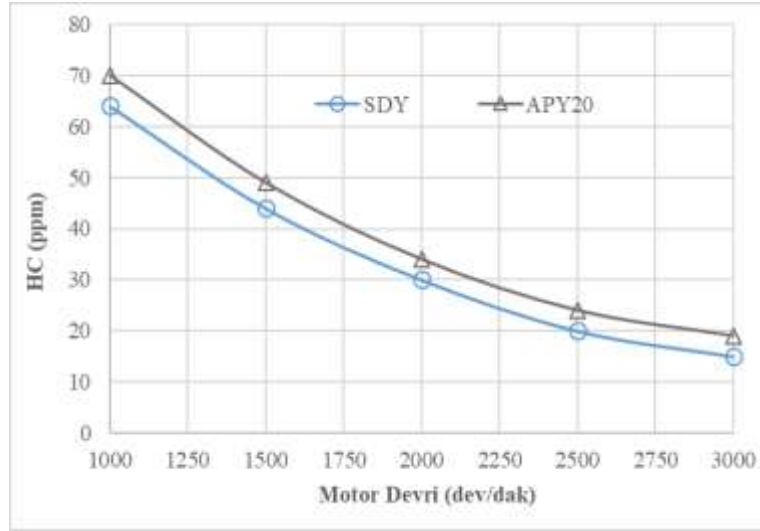
Şekil 5. Farklı devir sayılarında motor test yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değişimleri

Egzoz Emisyonları

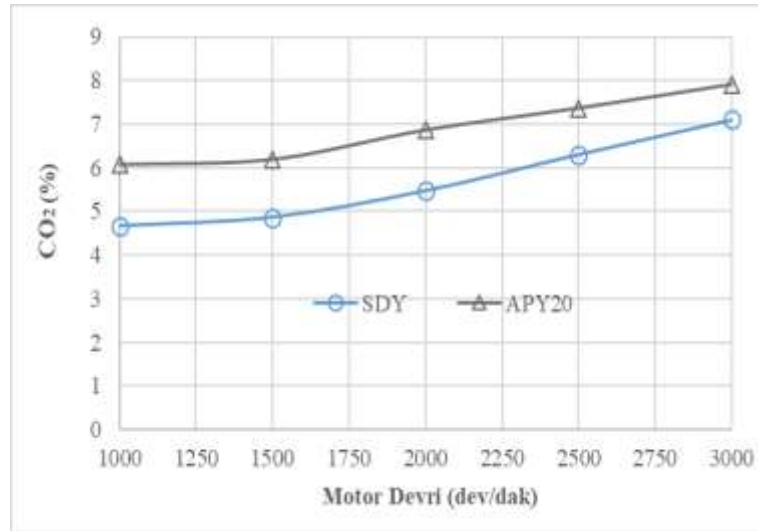


Şekil 6. Motor test yakıtlarının motor devrine bağlı olarak CO emisyonu değişimleri

İçten yanmalı motorlarda CO emisyonu, kullanılmayan kimyasal enerjiyi açıkladığı için önemli bir parametre olup bu parametre eksik yanma sonucu oluşmaktadır. Gaz sıcaklığının düşük olması, CO₂'e dönüşümü için yeterli oksijenin ve zamanın olmaması CO emisyonlarını artırmaktadır. Şekil 6'da test yakıtlarının motor devir sayısına göre CO emisyonları değişimi verilmiştir. Test sonuçları incelendiğinde motor devir sayısı arttıkça test yakıtların CO emisyonları azalmakta ve motor devri 2500 dev.dak⁻¹'da iken en düşük CO salınımı gerçekleştiği görülmüştür. APY20 karışım yakıt ile standart dizel yakıt karşılaştırıldığında 2500 devirdeki CO emisyonunda dizel yakıtı göre %9.73'lük artma meydana gelmiş olup bunun nedeni karışım yakıt içerisindeki oksijenli bileşiklerin dizel yakıtı göre daha düşük bileşik ihtiva etmesi ve bundan dolayı eksik yanma oluşumunun gerçekleşmesidir (Kumar ve ark, 2013; Şimşek, 2016; Kalargaris ve ark, 2017).

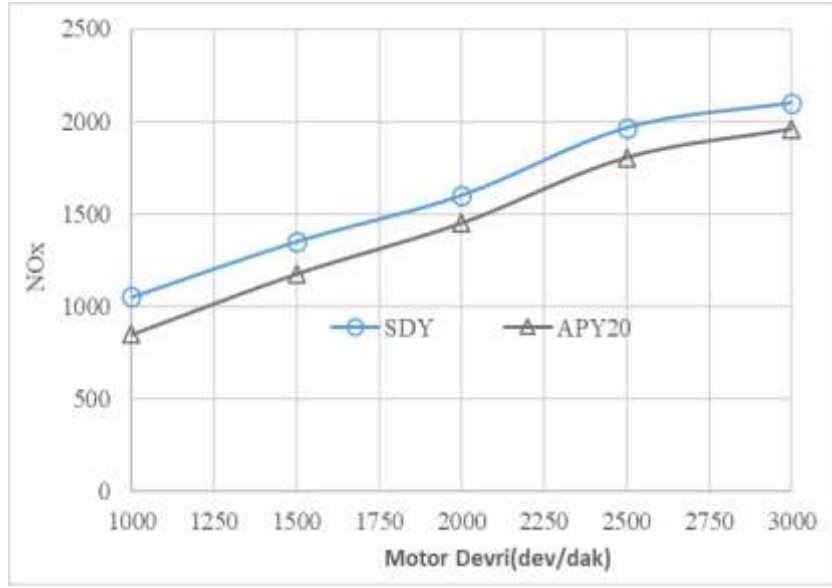


Şekil 7. Farklı devir sayılarındaki test yakıtlarının HC emisyonu değişimleri



Şekil 8. Farklı devir sayılarındaki test yakıtlarının CO₂ emisyonu değişimleri

Yanmamış hidrokarbonlar verimsiz yanmanın etkili bir ölçüsü olup yanmanın tam olmadığı bölgelerde meydana gelir. HC emisyonları, motor yükü ve hızıyla doğrudan ilişkili olmayıp bu emisyonlar daha çok enjeksiyon sisteminin ve yanma odasının geometrisine bağlıdır. Yanmamış HC yakıtın uçuculuğu, viskozitesi ve içerdiği oksijenli bileşiklerle de ilgili bir emisyondur. Şekil 7’de APY20 karışım yakıtın motorda test edilmesi ile meydana gelen HC emisyonlarının motor devri sayısına bağlı değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde motor devri arttıkça HC emisyon değerlerinde azalma olmuştur. 3000 motor devrinde minimum HC emisyon değerleri elde edilmiş ve APY20 yakıtın HC emisyon değeri tüm devir sayılarında dizel yakıtın emisyon değerinden daha fazla çıkmıştır. Bu artışın sebebi olarak ise karışım yakıtın dizel yakıtı göre içerisinde **daha düşük oksijenli** bileşikler ihtiva etmesi ve viskozitesinin yüksek olmasıdır. (Tayyar ve ark., 2010; İlkılıç ve Aydın, 2011; Kumar ve ark., 2013; Kalargaris ve ark., 2017)



Şekil 9. Farklı devir sayılarındaki test yakıtlarının NO_x emisyonu değişimleri

CO₂ yakıtta bulunan karbon atomlarının tam oksidasyonundan oluşur. Çevresel bir bakış açısıyla bakıldığında CO₂ emisyon değerlerinin azaltılmasına dair ciddi bir talep vardır. Bunun nedeni ise CO₂ bileşiğinin sera etkisine önemli ölçüde sebep olmasıdır (Kalargis ve ark., 2017). APY20 karışım yakıtın CO₂ emisyonları dizel yakıtın CO₂ emisyonlarına göre tüm devir sayılarında daha yüksek olduğu Şekil 8'de görülmektedir. 2500 motor devrinde APY20 karışım yakıtın CO₂ emisyon değerleri dizel yakıtı göre % 16 artış göstermiştir.

NO_x oluşumunu etkileyen iki önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve hava-yakıt oranıdır. NO_x emisyonları, genellikle yanma odası sıcaklığının 1800 K'nin üzerine çıkması ile azot ve oksijenin havada kimyasal olarak birleşmesi sonucu oluşarak çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle, azot oksitlerin havada mümkün olduğunca az olması arzu edilir. Havadaki azot oksit gazlarının bir kaynağı da dizel motorlardır. Dizel motor emisyonları arasında NO_x'in önemli bir yeri vardır. Dizel motorlarda azot oksit oluşumu, enjekte edilen yakıt miktarına, enjeksiyon süresine, silindire alınan hava miktarına vb. gibi birçok faktöre bağlanabilir. Şekil 9'da test yakıtların motor devir sayısına bağlı olarak NO_x emisyon değişimleri görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi devir sayılarının artması ile test yakıtların NO_x değerleri artış göstermiş ancak atık plastik kaynaklı karışım yakıtın NO_x emisyonları standart dizel yakıtı göre tüm devir sayılarında azalma göstermiştir. Genelde atık plastik kaynaklı yakıtlar ile biyoyakıtlarda devir sayısının artması ile NO_x emisyonları artış gösterirken bu çalışmada standart dizel yakıtı göre APY20 karışım yakıtın NO_x emisyonları azalmıştır. Bunun sebebi APY20 karışım yakıtın SDY'e göre daha düşük oksijenli bileşikler ihtiva etmesine bağlanabilir.

SONUÇ

Tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda yakıt olarak kullanılan atık plastik kaynaklı karışım yakıtın motor performans ve egzoz emisyon özellikleri deneysel olarak incelenip elde edilen sonuçlar referans yakıt olan standart dizel ile karşılaştırılıp sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Yapılan deneylerde en yüksek motor gücü ve motor momenti 2500 dev dak⁻¹ da elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre APY20 karışım yakıtın motor performans değerleri SDY değerlerinin gerisinde kalmıştır. APY20 karışım yakıtın SDY'e göre daha düşük ısı değere sahip olması nedeniyle APY20 karışım yakıtı farklı motor devirlerinde motor gücü ve motor torku değerlerinde azalma, özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise artma göstermiştir

2. Motor test sonuçları emisyon değerleri açısından incelediğinde, APY20 karışım yakıtı SDY'e göre daha düşük oksijenli bileşikler ihtiva ettiği için HC, CO değerlerinde artış ve NOx değerlerinde de azalma görülmüştür. APY20 karışım yakıt içerisinde daha fazla karbon bileşikleri bulunması nedeniyle CO₂ emisyon değerlerinde ise %16 oranında artış görülmüştür.

Netice olarak; atık plastik kaynaklı karışım yakıt ile standart dizel yakıtların motor performans ve egzoz emisyon değerleri karşılaştırıldığında, standart dizel yakıtı göre karışım yakıtın motor gücü ile motor torku ve NOx değerlerinde azalma gerçekleşirken özgül yakıt tüketimi, CO, HC, CO₂ değerlerinde de artma olmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2018/1048 nolu Yüksek Lisans projesi kapsamında İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- An U, Plastik Teknolojisine Giriş. Mazhar Zorlu Plastik EML Yayını.
- Anonim, 2011. <http://www.malatyaengelliler.org>(Erişim Tarihi: 22.03.2020).
- Anonim, 2015. <https://www.enerjigunlugu.net/plastik-sektoru> (Erişim Tarihi: 24.05.2020).
- Anonim, 2019. Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu 2019/6 (Erişim Tarihi: 22.03.2020).
- Carraretto C, Macor A, Mirandola A, Stoppato A, Tonon S. 2004. Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations. *Energy*, 29(12-15): 2195-2211.
- Çağatay G, Çobanoğlu Z, 1997. Plastikler. Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü
- Damodharan D, Sathiyagnanam AP, Dipak R, Rajesh KB, 2017. Extraction and characterization of waste plastic oil (WPO) with the effect of n-butanol addition on the performance and emissions of a DI diesel engine fuelled with WPO/diesel blends. *Energy Conversion and Management*, 131: 117-126.
- Devaraj J, Robinson Y, Ganapathi P, 2015. Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine. *Energy*, 85: 304-309
- Evin H, Demiral B, 2018. Malatya'da katı atık yönetimi: kentleşmenin yerel çevre politikaları üzerine etkisi. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 7(2): 277-295.
- İlkılıç C, Aydın H, 2011. Fuel production from waste vehicle tires by catalytic pyrolysis and its application in a diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 92(5): 1129-1135.
- Viswanath KK, Vijayabalan P, 2016. An investigation on the effects of using DEE additive in a DI diesel engine fuelled with waste plastic oil. *Fuel*, 180: 90-96.
- Kalargaris I, Guohong T, Sai G, 2017. Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil. *Fuel Processing Technology*, 157: 108-115.
- Kalargaris I, Guohong T, Sai G, 2017. The utilisation of oils produced from plastic waste at different pyrolysis temperatures in a DI diesel engine. *Energy*, 131: 179-185.
- Luing WS, Ngadi N, Abdullah TAT, Inuwa IM, 2015. Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50: 1167-1180.
- Mani M, Subash C, Nagarajan G, 2009. Performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil. *Applied Thermal Engineering*, 29.13: 2738-2744.
- Mani M, Nagarajan. G, 2009. Influence of injection timing on performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine running on waste plastic oil. *Energy*, 34(10): 1617-1623.
- Mani M, Nagarajan G, Sampath S, 2010. An experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil with exhaust gas recirculation. *Fuel*, 89(8): 1826-1832.

- Mani M, Nagarajan G, Sampath S, 2011. Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Energy*, 36(1): 212-219.
- Murugan, SM, Ramaswamy C, Nagarajan G, 2008. The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines. *Waste Management*, 28(12): 2743-2749.
- Murugan SM, Ramaswamy C, Nagarajan G, 2009. Assessment of pyrolysis oil as an energy source for diesel engines. *Fuel Processing Technology*, 90(1): 67-74.
- Pratoomyod J, Krongkaew L, 2013. Performance and emission evaluation of blends of diesel fuel with waste plastic oil in a diesel engine. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, 79: 75-99.
- Rakopoulos CD, Rakopoulos DC, Hountalas DT, Giakoumis EG, Andritsakis EC, 2008. Performance and missions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock. *Fuel*, 87(2): 147-157.
- Reşitoğlu İA, 2010. Atık yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin deneysel olarak araştırılması, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi (Basılmış),
- Sachin K, Prakash R, Santhosh M, Raghubansh KS, 2013. Performance and emission analysis of blends of waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste HDPE with diesel in a CI engine. *Energy Conversion and Management*, 74: 323-331.
- Selvaganapathy A. Sundar A, Kumaragurubaran B, Gopal P, 2013. An experimental investigation to study the effects of various nano particles with diesel on DI diesel engine. *ARPN Journal of Science and Technology*, 3(1): 112-115.
- Srikanth B, Venkateswara RG, Polayya C, 2016. Comparison, Performance and Emission Characteristics of Waste Plastic Pyrolysis Oil, *International Journal of Advanced Technology and Innovative Research*, 8(7): 1462-1466
- Syamsiroad M, Saptoadib H, Norsujiantob T, Noviasriab P, Chenga S, Alimuddinc Z, Yoshikawaa K, 2014. Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors. *Energy Procedia*, 47: 180-188.
- Şimşek D, 2016. Ayçiçeği yağından elde edilen biyodizelin motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Selçuk Üniversitesi Selçuk-Teknik Dergisi*, 15(3): 186-198.
- Tayyar A, Üstün E, Üstün S, 2010. Geri Kazanılmış Pet'in Kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1): 53-62.
- Tüfekçiöğlü E, Yamalı A, Markoviç E, Koltuksuz H, Özerdoğan S, *Polietilen ve Plastiklerin İşleme Teknolojileri El Kitabı*, Aliğa Petrokimya Sanayi ve Tic. A.Ş.
- Williams PT, Williams EA, 1999. Interaction of plastics in mixed-plastics pyrolysis. *Energy & Fuels*, 13(1): 188-196.
- Wongkhorsub C, Chindaprasert N, 2013. A comparison of the use of pyrolysis oils in diesel engine. *Energy and Power Engineering*, 5(04): 350.