

Atık Plastiğin Kömür ve Biokütle ile Birlikte Yakılarak Değerlendirilmesi

Neslihan DURANAY^{1*}, Melek YILGIN¹

¹Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü-Elazığ,

*nduranay@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 06.04.2016; Kabul/Accepted: 28.06.2016)

Özet

Bu çalışmada, laboratuvar ölçekli sabit yatak yakma sisteminde plastik atık biokütle ve linyitten hazırlanan ikili ve üçlü karışım peletlerinin yanma davranışı incelenmiştir. Plastik atık olarak market poşetleri, biokütle kaynağı olarak mobilya fabrikası atık tozu ve linyit olarak da Bingöl Karlıova linyiti kullanıldı. Peletlerin yanma davranışına işlem sıcaklığının, karıştırılma oranlarının etkisi araştırıldı. İşlem sıcaklığı arttıkça peletlerin tutuşma, uçucu madde ve karbon yanma sürelerinin azaldığı ve yanma hızının arttığı tespit edildi. Karışım peletlerindeki plastik oranındaki artış ile yanma hızı ve verimini artırdığı belirlendi. Önemli bir çevresel sorun olan plastik torba atıklarının düşük kaliteli linyitler veya atık biokütle ile yakılabileceği ve enerji üretiminde kullanılabileceği sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Linyit, biyokütle, atık plastik, sabit yatak, yakma.

The Evaluation Of Waste Plastic Burned With Lignite And Biomass

Abstract

In this work, the combustion behavior of pellets prepared from binary and triple blends of waste plastic, biomass and lignite was investigated in an experimental fixed bed combustion system. Market bags as plastic waste and the furniture factory waste powder as a source of biomass and Bingöl Karlıova coal as a lignite were used. The effect of process temperature and the plastic mixing ratio on the combustion behavior of pellets was studied. Combustion data obtained from varied bed temperatures has showed that ignition times and volatile and carbon burning times of the pellets decreased and combustion rates increased with the burning temperature. It was determined that combustion rates and yields of pellets increased with increasing plastic ratio in the blend pellets. It was concluded that waste plastic bags, are a very important environmental problem, can be burned with low quality lignite or waste biomass and used for energy production.

Key words: Lignite, biomass, waste plastics, fixed bed, combustion.

1. Giriş

Doğal kaynakların hızla yok olması, çevrenin hızlı bir şekilde kirlenmesi ve bunların yaşam üzerindeki olumsuz etkilerinin belirginleşmesi ile çevrenin korunması ile ilgili kaygılar artmıştır. Çevre faktörü göz önüne alınmadan gerçekleştirilen endüstriyel gelişmeler bugün yaşanan olumsuzlukların temelini oluşturmaktadır. Enerji, mineraller ve diğer doğal kaynakların önlem alınmadan hızlı bir şekilde yok edilmesi, kişi başına düşen tüketimin hızlı bir şekilde artması önemli küresel bir sorundur. Gelişmiş ülkelerin bu pazarlarda pay kapma ve payını arttırma eylemi kendi açılarından kısa dönemde başarılı olmaktadır.

Ancak gelişmekte olan ülkelerde çevre bilincinin yetersiz oluşu ve çevreyi koruma ile ilgili yasaların da çok az veya hiç olmaması nedeni ile yeryüzünün bu bölgelerinin hızla kirlenmesinin, bunun da dünya çapında bir çevre sorunu haline gelip gelişmiş ülkeler de dahil tüm ülkeleri etkileyeceğinin tahmin edilmesi zor olmadığından çevrenin korunması gerekmektedir.

Kentsel atık yönetimi, yani toplama, taşıma, depolama, geri dönüşüm ve nötralizasyon, çevre korunması açısından önemlidir. Dünya üzerindeki hızlı nüfus artışı kentsel atık oluşumunu da arttırmaktadır. Bu atıkların bileşimi yerleşim alanının özelliklerine, iklimine ve nüfusuna bağlı olarak oldukça karmaşıktır.

Plastik torbalar da bu atıklar içinde yer alır ve çevre sağlığı açısından özel bir öneme sahiptir. Modern hayatta her yerde karşılaştığımız plastik torbalar en çok market alışverişini eve getirmede kullanılmaktadırlar. Plastik torbaların üretimi ucuz, dayanıklı, hafif, taşınması ve depolanması kolaydır. Fakat bu özellikler çevrede hızla artmasına neden olmuştur. Her ne kadar geri dönüştürülebilir olsa da, 2009 yılında ABD'de üretilen 1 trilyon plastik torbanın ancak %13'ü geri dönüştürülebilmektedir [1,2]. Geri kalanı ise ya direk çöp olarak çevreye atılmış veya ikincil kullanıcılar tarafından kullanıldıktan sonra çöpe atılmıştır. Plastik torbalar kentlerde çöp kaynağı oluşturmasının yanında belediye drenajlarının tıkanması ve bölgesel sel baskınlarına neden ve denizlerdeki yüzen ve deniz diplerinin kirliliğinin önemli nedenlerinden biridir. Tarım, üreme ve gelişmeye zarar verdiği gibi görüntü kirliliğine de neden olmaktadır.

Bu sentetik torbalar biyolojik olarak bozunmazlar ve doğal çevre için uzun dönemli bir problem oluştururlar. Geri dönüşümü veya depolanması hem zor hem de pahalıdır. Kontrollü şartlarda uygulanan termal işlemler plastik torba içeren atıkların hacmini küçültmede etkili ve kullanılabilir metotlar olarak dikkate alınmaktadır[3,4]. Plastik atıklar yüksek ısı değerleri ve düşük nem içeriklerinden dolayı birlikte yakma ve gazlaştırma işlemlerinde bir alternatif olarak dikkat çekmiştir. Ayrıca düşük ısı değerli kömürler ile birlikte yakılan plastik atıkların yakıtın ısı değerinin artırarak daha verimli yanmasına katkıda bulunduğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir[5-10].

Genç ve kömürleşme derecesi iyi olmayan kömürler ülkemizde önemli bir rezerve sahiptir. Türkiye'de 8.4 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Linyit rezervi ülkemizin çeşitli bölgelerinde farklı kalite ve tipte yer almaktadır. Bu linyitlerin çoğunun kül ve kükürt içerikleri yüksek, kalori değerleri düşük olduğu için, evsel veya endüstriyel enerji sağlanması amacıyla kullanımları sırasında çevresel açıdan kabul edilebilir yöntemlerin uygulanması gerekmektedir [11]. Bunun yanında yakma işlemlerinde biokütlenin kullanım avantajları ihmal edilebilir kükürt, azot ve mineral madde içermesi ve fiyatının düşük olması ve yenilenebilir olmasıdır [12]. Bu nedenle kömür ve biokütlenin birlikte yakılması çevresel olarak

kirlilik emisyonları azaltmanın yanı sıra katı atığın azaltılması sorunlarını da çözüm getirebilir. Son zamanlarda sıkıştırılmış biokütlenin, özellikle pelet halinde, kullanımı üzerinde pek çok çalışma sürdürülmektedir. Çevre standartlarına uygun şekilde hazırlanan biokütle peletleri, Avrupa'nın pek çok ülkesinde evsel ve endüstriyel amaçla kullanılmaktadır [13]. Biokütlenin pelet halinde kullanımı taşıma, dönüşüm ve sezon dışında kullanım için depolama gibi pek çok faydalar sağlamaktadır [14,15]. Sunulan çalışmada önemli bir çevre problemi olan atık plastik torbaların linyit tozu ve mobilya fabrikası atık tozu ile farklı oranlarda karıştırılarak hazırlanan ikili ve üçlü karışım peletlerinin sabit yatak yakma sisteminde yanma davranışı araştırıldı.

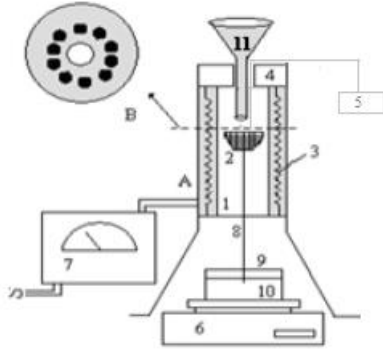
2. Materyal ve Metot

2.1. Örneklerin hazırlanması

Yakma deneylerinde kısa analizi Tablo 1'de verilen Bingöl linyiti, Elazığ ilinde bulunan mobilya fabrikası toz tutucularından alınan toz ve plastik torba atıkları kullanıldı. Öğütülen linyit elendi ve 100 meshin altında kalan ince taneler ve mobilya fabrikası atık tozu (MAT), %2,5- %5 ve % 10 oranında atık plastik torba parçaları (rendelenerek boyutu küçültülmüş) ile karıştırılarak $1\pm 0,05$ g ağırlığında numuneler hazırlandı. Linyit tozu, MAT ve hazırlanan karışımlar sabit yatak üzerine kolay beslenme ve yanmaları için hidrolik presle 12 ton basınç uygulanarak 13 mm çapında silindirik peletler haline getirildi.

2.2. Deneyin yapılışı

Yakma işlemleri Şekil 1'de verilen 89 mm çapında 121 mm yüksekliğinde içinden direnç telleri geçirilmiş refrakter malzeme bulunan silindirik kesitli dikey bir kamarada yürütüldü. 35 mm çapındaki kamara içerisine, 30 mm çapında paslanmaz çelikten yapılmış elek sepet 250 mm uzunluğundaki çelik çubuğun ucuna takılmış olarak bir destek üzerine sabitlendi. Sepet ve destek yanma sırasındaki ağırlık değişimlerinin kaydedilmesi amacı ile terazi üzerine yerleştirildi.



Şekil 1.Yakma Sistemi A) Dikey görünüş;
B)Kolonun dik kesiti; 1.Refrakter tuğla; 2.Sepet;
3.Direnç teli; 4.Refrakter kapak, 5.Termoçift 6.Terazi;
7. Gerilim değiştirici;8. Sepet çubuğu; 9. Ayna;
10.Destek; 11: Örnek besleme hunisi.

Fırının ısıtılması değişik voltaj transformatörü ve sistemin sıcaklığını ölçmek için termoçift kullanıldı. Ayrıca kamara içerisindeki meydana gelen olaylar ayna kullanılarak izlendi.

Hazırlanan orijinal ve karışım peletleri 500°C-600°C-700°C’de yakıldı. Deneylere başlamadan voltaj değiştirici ile yakma sistemi çalışma sıcaklığına ön ısıtıldı. Fırın istenilen sıcaklığa geldikten sonra peletler sepete atıldı ve aynı anda kronometre çalıştırıldı. İlk andaki ağırlık kaydedildi. Örneklerin yanması esnasında alev görünme süresi, alevin sönme süresi ve korun sönme süresi ile birlikte yanma tamamlanmaya kadar ağırlık değişimi 10 saniye ara ile kaydedildi. Zaman-ağırlık değişimi verileri kullanılarak uçucu madde yanma ve karbon yanma hızları hesaplandı.

Tablo 2. Bingöl linyiti ve MAT ‘ın elementel analizi (% wt).

Numune	C	H	N	S	O ^a	H/C ^b	O/C ^b
MAT	50.02	6.62	1.96	-	47.66	1.584	0.715
Bingöl linyiti	53.97	5.81	1.454	2.284	36.482	1.236	0.507

^aFarktan hesaplanmıştır.

^b Atom oranı

Tablo 3. Bingöl Linyiti ve plastik atıktan hazırlanan karışım peletlerinin yanma verilerinin sıcaklıkla değişimi(1±0.15g pelet ağırlığı, %10 plastik -%90 linyit karışım oranı).

Çalışma sıcaklığı(°C)	Tutuşma süresi(s)	Uçucu madde yanma süresi (s)	Karbon yanma süresi (s)	Uçucu madde yanma hızı (s ⁻¹).10 ³	Karbon yanma hızı (s ⁻¹).10 ³	Yanma verimi (%)
500	67	46	423	7.9	2.49	52.5
600	8	50	555	12.50	2.92	55.3
700	12	26	313	14.70	4.48	53.1

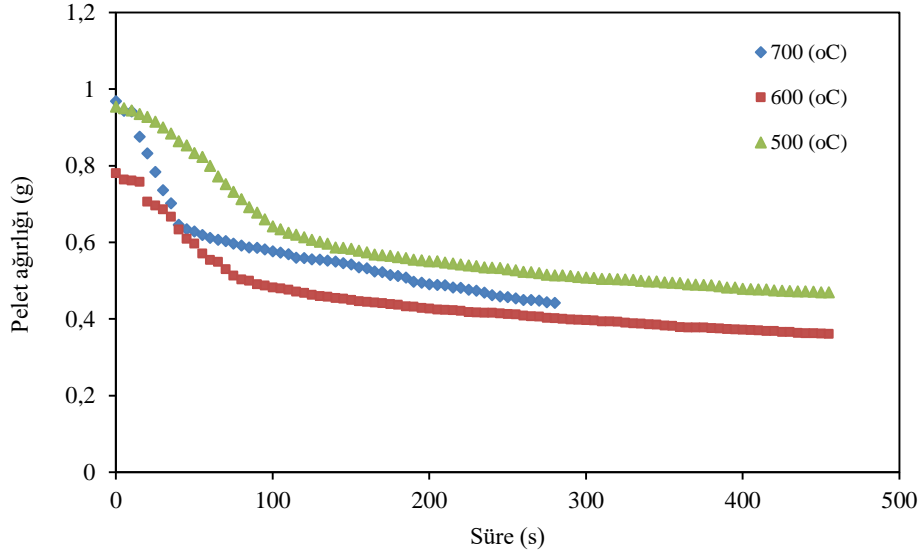
3. Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 1’de linyit, biokütle (MAT) ve plastik torbanın kısa analizleri verilmektedir. Linyit ve MAT’ın kısa analizleri Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünde ASTM standartlarına göre yapılmıştır. Plastik torbanın değerleri ise yapılan benzer çalışmalardan alınmıştır [3]. Linyit ile MAT karşılaştırıldığında uçucu madde yüzdesi düşük, kül oranı yüksek ve sabit karbon oranının yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca karbon içeriğinin biokütleyle yakın olduğu Tablo 2’de verilen elementel analiz değerlerinde görülmektedir. Elementel analiz değerleri linyitte yüksek oranda kükürt bulunurken MAT’ta bulunmadığını göstermektedir. Bu durum MAT’ın düşük kaliteli kömürlerle yakılmasının hava kirliliğini önleme açısından avantajlı olacağını göstermektedir. Biokütlenin O/C ve H/C oranlarının linyitten yüksek olması ise beklenen bir durumdur ve biokütlenin temel yapıları olan hemiselüloz ve selülozdan kaynaklanmaktadır [16].

Tablo 1. Bingöl linyiti, MAT ve atık plastiğin kısa analizi.

Numune	% Uçucu Madde	% Kül	% Sabit Karbon*
Bingöl linyiti	32.10	49.30	18.60
MAT	78.78	1.01	19.21
Atık Plastik [2]	99.00	<0.10	0.90

*Farktan hesaplanmıştır.



Şekil 2. Bingöl Linyiti ve plastik atıktan hazırlanan karışım peletlerinin farklı sıcaklıklarda yakılması durumunda pelet ağırlığının zamanla değişimi (1 ± 0.15 g pelet ağırlığı, %10 plastik -%90 linyit karışım oranı).

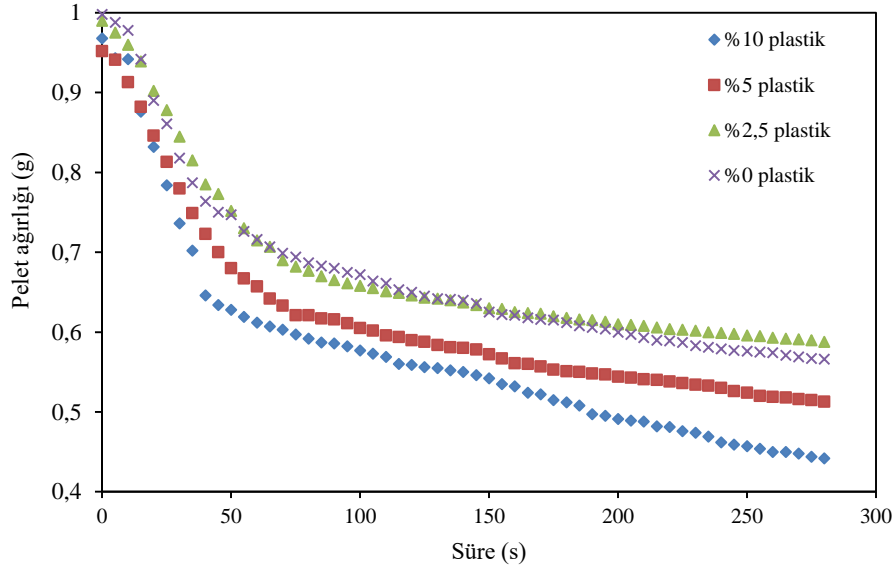
Tablo 3 ve Şekil 2'de %10 plastik-%90 linyiten hazırlanan 1 ± 0.15 g ağırlığındaki peletlerin yanma davranışlarının çalışma sıcaklığı ile değişimi verileri görülmektedir. Artan sıcaklıkla tutuşma, uçucu madde ve karbon yanma sürelerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum artan çalışma sıcaklığının uçucu bileşenlerin pelet dışına daha hızlı çıkmasına neden olan çatlak ve gözeneklerin oluşmasına neden olduğunu göstermektedir. Çünkü karışımın kül içeriğinin yüksek olmasına rağmen uçucu madde ve karbon yanma hızları artan sıcaklıkla artmıştır. Tablo 3'de verilen yanma hızları Şekil 2'deki eğrilerin uçucu madde ve karbon yanma bölgelerine ait bölümlerinin eğimlerinden hesaplanmıştır. Ayrıca Şekil 2'de de yüksek çalışma sıcaklıklarında peletlerin hızlı yandığı görülmektedir. Yanma veriminin çalışma sıcaklığında 52 ± 3 oranında olması Bingöl linyitinin yüksek oranda kül içermesinden kaynaklanmaktadır.

Kalan artığın külden ibaret olduğu tam yanma olduğu tespit edilmiştir.

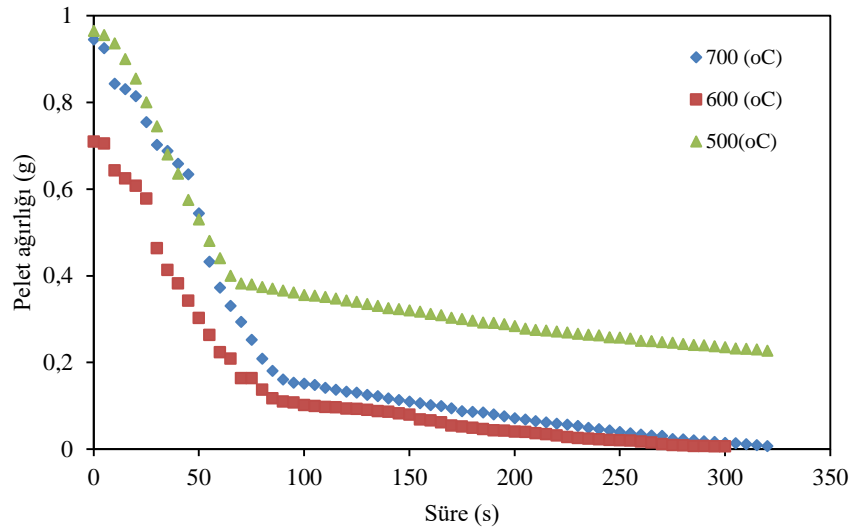
Bingöl linyitine eklenen plastik atık miktarının yanma davranışına etkisi Şekil 3'de verilmektedir. Tamamen uçucu maddeden ibaret plastik atığın eklendiğinde linyitin yanma davranışını etkilediği tespit edildi. %10 plastik içeren artan uçucu madde oranından dolayı peletin daha hızlı ve verimli yandığı görülmektedir. Tablo 4'de bu sonucu desteklemektedir. Eklenen plastiğin oranı arttıkça tutuşma ve karbon yanma süresi azalırken, uçucu madde yanma süresinin arttığı tespit edildi. Diğer taraftan linyit peletinin uçucu madde ve karbon yanma periyodlarının kısa olması uçucu madde oranını düşük kül oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Yanma veriminin düşük olması da tam yanmanın gerçekleşmediğini göstermektedir.

Tablo 4. Farklı oranlarda hazırlanan Bingöl Linyiti, plastik karışımı peletinin yanma verileri (1 ± 0.15 g pelet ağırlığı, 700°C)

Numune	Tutuşma süresi (s)	Uçucu madde yanma süresi (s)	Karbon yanma süresi (s)	Uçucu madde yanma hızı (s^{-1}). 10^3	Karbon yanma hızı (s^{-1}). 10^3	Yanma verimi (%)
%10 plastik	12	38	313	14.70	4.48	53.1
%5 plastik	14	48	321	11.90	2.73	48.6
%2.5 plastik	18	51	333	11.78	2.11	45.2
Linyit	18	32	268	11.10	2.92	42.5



Şekil 3. Bingöl Linyiti ve plastik atıktan farklı oranlarda hazırlanan karışım peletlerinin yakılması durumunda pelet ağırlığının zamanla değişimi (700°C, 1±0.15g pelet ağırlığı)



Şekil 4. Mobilya fabrikası atık tozu (MAT) ve plastik atıktan hazırlanan karışım peletlerinin farklı sıcaklıklarda yakılması durumunda pelet ağırlığının zamanla değişimi (1±0.15g pelet ağırlığı, %10 plastik -%90 linyit karışım oranı).

Tablo 5. Mobilya fabrikası atık tozu (MAT), plastik atıktan hazırlanan karışım peletlerinin yanma verilerinin sıcaklıkla değişimi (1±0.15g pelet ağırlığı, %10 plastik - %90 MAT karışım oranı).

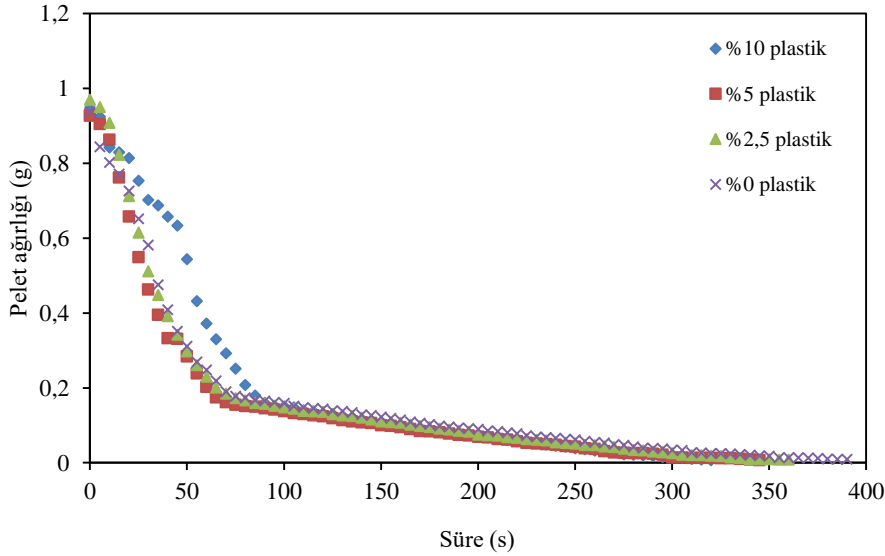
Çalışma sıcaklığı (°C)	Tutuşma süresi (s)	Uçucu madde yanma süresi (s)	Karbon yanma süresi (s)	Uçucu madde yanma hızı (s ⁻¹).10 ³	Karbon yanma hızı (s ⁻¹).10 ³	Yanma verimi (%)
500	8	63	250	12.92	3.67	92.47
600	6	58	230	16.16	4.99	98.70
700	3	57	218	21.15	5.19	98.84

Sonuç olarak linyite eklenen plastik oranı arttıkça artan uçucu bileşen miktarının linyitin daha iyi ve verimli yanmasını sağladığı belirlendi.

Şekil 4 ve Tablo 5 %10 plastik atık -%90 MAT oranında hazırlanan peletlerin yanma davranışlarının çalışma sıcaklığı ile değişimi verilmektedir. Her iki bileşeninde uçucu madde içeriği yüksek olduğundan uçucu madde ve karbon yanma periyodlarının çok hızlı gerçekleştiği Şekil 4'de görülmektedir. Uçucu maddenin yüksek olmasının ve numunelerin küllerinin olmadığı bir sonucu olarak tutuşma ve yanma süreleri artan sıcaklıkla azalmıştır. Karışım peletinin tamamı uçucu madde sabit karbondan ibaret bir kütle olarak davranmaktadır. Bu yüzden uçucu madde ve karbon yanma hızlarının yüksek olduğu ve artan çalışma sıcaklığı ile arttığı ve yüksek verimle yandığı tespit edilmiştir.

Şekil 5 ve Tablo 6'da MAT'a eklenen plastik atık oranının yanma davranışına etkisi verilmektedir. Artan plastik oranının uçucu madde ve karbon yanma sürelerinde azalmaya neden olurken tutuşma süresini etkilemediği tespit edildi. Bu durum ana bileşenlerin uçucu içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Yanma hızları karşılaştırıldığında, uçucu madde ve karbon yanma hızlarının eklenen plastik oranıyla arttığı tespit edildi. Tamamen uçucu bileşenden oluşan plastik pelet içinde hızlı yandığından oluşan boşluk ve gözenekler MAT'ın yanmasını hızlandırmıştır. Ayrıca uçucu madde yanması esnasında açığa çıkan yüksek enerji de yanma hızının ve veriminin artmasına katkıda bulunmaktadır. Yanma veriminin yüksek olması MAT-plastik karışımının yanması sırasında yakma sisteminde kekleşme gibi bir sorunla karşılaşılmadığını da göstermektedir.



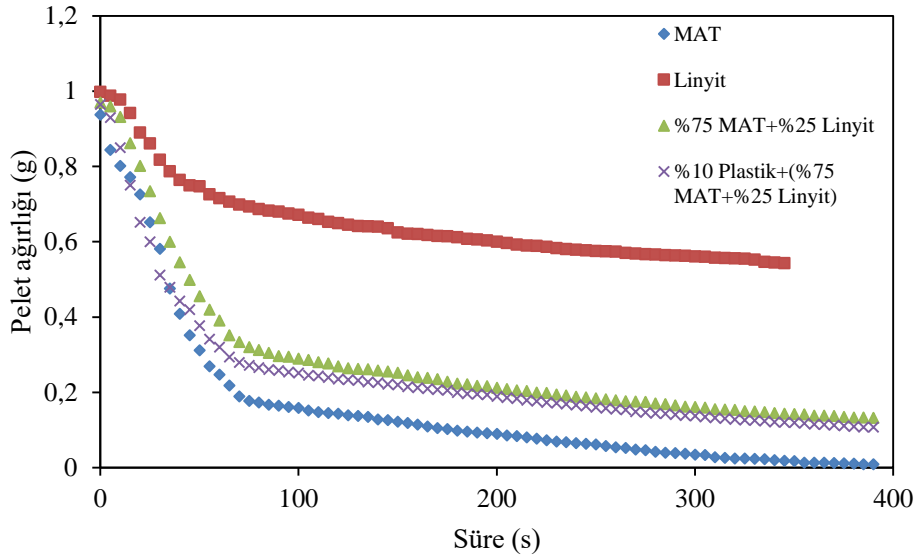
Şekil 5. MAT ve plastik atıktan farklı oranlarda hazırlanan karışım peletlerinin yakılması durumunda pelet ağırlığının zamanla değişimi (700°C, 1±0.15g pelet ağırlığı)

Tablo 6. Farklı oranlarda hazırlanan MAT- plastik karışımı pelletinin yanma verileri (1±0,15g pelet ağırlığı,700°C)

Numune	Tutuşma süresi (s)	Uçucu madde yanma süresi(s)	Karbon yanma süresi (s)	Uçucu madde yanma hızı (s ⁻¹).10 ³	Karbon yanma hızı (s ⁻¹).10 ³	Yanma verimi (%)
%10 plastik	3	55	235	21.15	5.19	98.84
%5 plastik	6	60	268	18.39	3.55	99.16
%2.5 plastik	5	62	279	15.70	3.16	98.76
MAT	3	68	300	15.22	3.13	98.75

Tablo 7. MAT, plastik ve Bingöl linyitten hazırlanan ikili ve üçlü karışım pelletinin yanma verileri (1 ± 0.15 g pelet ağırlığı, 700°C)

Numune	Tutuşma süresi (s)	Uçucu madde yanma süresi (s)	Karbon yanma süresi (s)	Uçucu madde yanma hızı ($\text{s}^{-1}\cdot 10^3$)	Karbon yanma hızı ($\text{s}^{-1}\cdot 10^3$)	Yanma verimi (%)
Linyit	18	32	268	18.77	2.84	42.50
MAT	3	68	300	15.22	3.13	98.75
%75 MAT+ %25 Linyit	8	68	297	13.55	3.38	87.22
Linyit						
%10 plastik+ %90(%75MAT + %25 Linyit)	3	65	287	14.69	3.71	89.50

**Şekil 6.** Bingöl linyiti, MAT ve plastik atıktan hazırlanan karışım pelletlerinin yakılması durumunda pelet ağırlığının zamanla değişimi (700°C , 1 ± 0.15 g pelet ağırlığı)

Bingöl linyiti, MAT ve plastik atıktan hazırlanan ikili ve üçlü karışım pelletlerinin yanma davranışı Şekil 6 ve Tablo 7 de karşılaştırılmaktadır. Orijinal linyit pelletinin uçucu madde karbon yanma sürelerinin yüksek oranda sabit karbon içermesine rağmen düşük olması tam yanmaması ve uçucu madde içeriğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Linyit ile biokütle karıştırıldığında kül oranındaki azalma ve uçucu madde miktarındaki artıştan dolayı karbon yanma periyodunun daha verimli gerçekleştiği tespit edildi. Bingöl Linyiti üç katı kadar biokütle (MAT) ile karıştırılarak yakıldığında karbon yanma hızının $\sim\%19$ artışı tespit edildi. Linyit-MAT karışımına %10 oranında plastik eklendiğinde artan uçucu bileşene bağlı olarak tutuşma ve yanma sürelerinde düşüş ve yanma hızları ile veriminde artış görüldü.

4. Sonuçlar

Önemli bir çevre sorunu olan atık plastik torbanın, kömür tozu veya atık biokütle ile birlikte yakılmasının araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşıldı.

Plastik atıkla linyit tozu kullanılarak hazırlanan ikili karışım pelletlerinin plastik atık-MAT pelletlerinden daha sağlam olduğu ve yakma sistemine kolay beslendiği tespit edildi. Ayrıca kömür-MAT-plastik atık üçlü karışımlarının da MAT-plastik atık ikili karışımından daha sağlam olduğu görüldü.

Yüksek uçucu madde oranından dolayı linyite eklenen plastiğin yanma hızını artırarak yanma süresini düşürdüğü tespit edildi. Linyite plastik ilave edilerek tam yanmanın gerçekleşmesine katkıda bulunduğu tespit edildi.

MAT-plastik karışımlarının yanma süresindeki azalma eklenen plastikle orantılı olarak artan uçucu bileşenlerin yanması esnasında açığa çıkan yüksek enerjinin ve azalan sabit karbon miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yanma sonucu artık külün olmamasından dolayı MAT-plastik karışımının çevre açısından değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varıldı.

Eklenen %10 oranındaki plastiğin linyitin ve MAT'ın karbon yanma hızını sırasıyla %35 ve %65 artırdığı tespit edildi. Plastik ile karıştırılarak düşük kaliteli linyitlerin yakılmasının daha avantajlı olacağı belirlendi.

Sonuç olarak çevresel bir sorun olan plastik poşetlerin düşük kaliteli linyit ve biyokütle ile birlikte pelet halinde yakıt olarak değerlendirilebileceği fakat yanma sonucu oluşan baca gazının da dikkate alınması gerektiği söylenebilir.

5. Kaynaklar

- Sharma, B.K., Moser, B.R., Vermillion, K.E., Doll, K.M., Rajagopalan, N. (2014). Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags. *Fuel Processing Technology*, **122**:79-90.
- Kunwar, B., Cheng, H.N., Chandrashekar, S.R., Sharma, B.K. (2016). Plastics to fuel : areview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **54**:421-428.
- Ouimingaa, S.K., Rogaume, T., Dahoa, T., Yonlia, A.H., Koulidiati, J. (2012) Reductive and oxidative combustion of polyethylene bags: Characterization of carbonaceous and nitrogenous species. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **98**: 72-78.
- Bujak, J. W. (2015). Thermal utilization (treatment) of plastic waste. *Energy*, **90**: 1468-1477.
- McIlveen-Wright, D.R., Pinto F., Armesto, L., Caballero, M.A., Aznar, M.P., Cabanillas, A., Huang, Y., Franco, C., Gulyurtlu, I., McMullan, J.T. (2006) A comparison of circulating fluidised bed combustion and gasification power plant technologies for processing mixtures of coal, biomass and plastic waste. *Fuel Processing Technology* **87**: 793-801.
- Massaro, M.M., Son, S.F., Groven, L.J. (2014). Mechanical, pyrolysis, and combustion characterization of briquetted coal fines with municipal solid waste plastic (MSW) binders. *Fuel*. **115**: 62-69.
- Wilk, V., Hofbauer, H. (2013) Conversion of mixed plastic wastes in a dual fluidized bed steam gasifier. *Fuel*, **107**: 787-799.
- Jin, Y., Lu, L., Maa, X., Liu, H., Chi, Y., Yoshikawa, K. (2013) Effects of blending hydrothermally treated municipal solid waste with coal on co-combustion characteristics in a lab-scale fluidized bed reactor. *Applied Energy*. **102**: 563-570.
- Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A, Aroua, M. K. (2016) A review on pyrolysis of plastic wastes *Energy Conversion and Management* **115**: 308-326.
- Wong, S.L., Ngadi, N., Abdullah, T.A.T., Inuwa, I.M. (2015) Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **50**:1167-1180
- Duranay, N.D., Yilgin, M., Pehlivan, D. (2008). Co-combustion of Pellets from Soma Lignite and Waste Dusts of Furniture Works, *International Journal of Green Energy*, **5**: 456-465.
- Krzywanski, J., Rajczyk, R., Bednarek, M., Wesolowska, M., Nowak, W. (2013) Gas emissions from a large scale circulating fluidized bed boilers burning lignite and biomass. *Fuel Processing Technology*. **116**: 27-34.
- Gil, M.V., Oulego, P., Casal, M.D., Pevida, C., Pis, J.J., Rubiera, F. (2010). Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends. *Bioresource Technology*. **101**: 8859-8867.
- Wang, C., Wang, F., Yang, Q., Liang, R. (2009). Thermogravimetric studies of the behavior of wheat straw with added coal during combustion. *Biomass & Bioenergy*. **33**: 50-56.
- Sommerhuber, P. F., Welling, J., Krause, A. (2015) Substitution potentials of recycled HDPE and wood particles from post-consumer packaging waste in Wood-Plastic Composites. *Waste Management*. **46**: 76-85
- Xu, F., Linnebur, K., Wang, D. (2014). Torrefaction of Conservation Reserve Program biomass: A techno-economic evaluation. *Industrial Crops and Products*. **61**: 382-387.