

## **Farklı Katkı Maddeleri Kullanılarak Hazırlanmış Çeltik Sapı Peletlerinin Gazlaştırılması**

**Birol KAYIŞOĞLU<sup>1</sup>, Serkan TUĞ<sup>2</sup>, İbrahim Savaş DALMIŞ<sup>3</sup>, Türkan AKTAŞ<sup>1</sup>,  
Mehmet Recai DURGUT<sup>1</sup>, Figen TAŞÇI DURGUT<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Namık Kemal Üniversitesi Teknik Bilimler Yüksek Okulu

<sup>3</sup>Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Geliş Tarihi (Received): 06.05.2016

Kabul Tarihi (Accepted): 27.07.2016

**Özet:** Bu çalışmada çeltik sapları farklı katkı maddeleri katılarak peletlenip prototip olarak imal edilen sabit yataklı gazlaştırıcıda gazlaştırılmıştır. Bu amaçla katkısız referans pelet (PRF), %3 PVA (Polyvinyl acetat) katkılı (PVA3), %5 melas katkılı (PM5), %5 kömür tozu katkılı (PC5) ve %15 kömür tozu katkılı (PC15) peletler kullanılmıştır. Gazlaştırma işlemi üstten hava uygulanarak 0.20 hava fazlalık katsayısında yapılmıştır. Ayrıca, reaktör içerisinde kor bölgesindeki sıcaklığın camlaşma ve aglomerasyon üzerine etkileri gözlenmiştir.

Araştırmanın sonucunda kor bölgesindeki sıcaklığın 800°C'yi aşması durumunda camlaşma olayının başladığı saptanmıştır. Karıştırma işleminin çeltik sapının gazlaştırılmasında olumlu sonuç vermediği gözlenmiştir.

Pelet örnekleri belirlenen en uygun yöntemle gazlaştırılmış ve elde edilen sentez gazın verimleri karşılaştırılmıştır. En yüksek alt ısı değer 4,430 MJ.Nm<sup>-3</sup> ile yalnızca çeltik sapı kullanılan (PRF) peletlerle, en düşük alt ısı değer 3,899 MJ.Nm<sup>-3</sup> ile %15 kömür tozunun kullanıldığı (PC15) peletlerle yapılan gazlaştırma işleminde elde edilmiştir. En yüksek gazlaştırma verimi katkısız pelet (PRF) örneklerinde %64,8 değeri ile elde edilmiştir. En düşük gazlaştırma verimi %59,6 ile %15 kömür karışımında olmuştur. Pelet örneklerinin gazlaştırma verimleri arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Gazlaştırma, çeltik sapı, peletleme, sentez gazı

**Abstract:** In this research, paddy stalk was pelleted by using different additive materials and these pellet samples were gasified with prototype gasifier. For this purpose, pure paddy stalk pellets (PRF), 3% PVA doped (PVA3), 5% molasses doped (PM5), 5% charcoal powder doped (PC5) and 15% charcoal powder doped (PC15) pellets were used. Gasification process made with upper air inlet and 0.20 of excess air coefficient. In addition to these, effects of temperature in the reactor core zone on glass transition and agglomeration have been observed.

According to research results, it was determined that glass transition started when the temperature in core zone exceeded 800°C. It was observed that the mixing process have not positive effect on gasification of paddy stalk.

Pellet samples were gasified using most appropriate method that was determined by experiments and obtained synthesis gas yields were compared. The highest calorific value was determined for gasification process that was performed using pure paddy stalk pellets (PRP) as 4.430 MJm<sup>-3</sup> while the minimum calorific value was determined for gasification process that was performed using 15% coal dust doped pellets (PC15) as 3,899 MJm<sup>-3</sup>. The highest gasification efficiency was determined using pure paddy stalk pellets (PRP) as 64,8 % and the lowest gasification efficiency was determined using 15% coal dust doped pellets (PC15) as 59.6%. Difference between gasification efficiency of pellet samples was found statistically significant.

**Key words:** Gasification, rice straw, pelletizing, syngas

## GİRİŞ

Çeltik, bilindiği gibi Dünya’da buğdaydan sonra tüketilen en önemli tahıllardan birisidir. Ülkemizde de son yıllarda üretimi artmaya başlamıştır. 2013 yılı verilerine göre ülkemizde yaklaşık 110.600 ha ekiliş alanı ile 900.000 ton çeltik üretimi yapılmaktadır. Çeltik üretim alanlarının %70’e yakın kısmı Marmara Bölgesinde bulunmaktadır. Edirne ili ise 43.000 ha üretim alanı ve 362.000 ton çeltik üretimiyle ülkemiz çeltik üretim alanlarının %39’luk kısmına sahiptir (TUİK, 2013). Edirne ilinde en fazla üretimin yapıldığı yer İpsala ilçesidir. Bölge tarımı için böylesine önemli olan çeltik üretiminin en önemli sorunlarından birisi, hasat sonrasında tarla yüzeyinde kalan sapların değerlendirilmesidir. Çeltik bitkisi sap/tane oranı ( $\approx 1/2$ ) fazla olan bitkidir. Bu yüzden hasattan sonra tarlada yaklaşık 350-400 kg arasında sap kalmaktadır. Çeltik sapında yüksek oranda bulunan silisyumdan dolayı parçalanması güçtür. Ayrıca, sap bu yüzden bir sonraki ekime kadar kolay kolay çürümektedir. Bu nedenle üreticiler yasak olmasına rağmen tarlada kalan sapları yakmaktadırlar. Sadece Edirne ilinde her yıl yaklaşık 180.000 ton sap yakılmaktadır. Bu durum olumsuz çevre koşullarını yaratmasının yanı sıra önemli miktarda enerji kaybına neden olmaktadır. Çeltik sapının enerji içeriği 15 MJ/kg’dır (Jain, 2006). Buna göre bölgede her yıl  $2,7 \times 10^9$  MJ enerji değerine sahip çeltik sapı yakılmaktadır.

Çeltik sapının uygun teknikler ve farklı yöntemlerle değerlendirilmesi hem ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacak hem de olumsuz çevresel koşulların azalmasına yardımcı olacaktır. Gazlaştırma işlemi bu yöntemlerden birisidir (Kirubakaran, 2009). Sapların %65 dolayında verimle gazlaştırılması mümkün olduğunda, bölgede her yıl  $1,75 \times 10^9$  MJ enerji kazancı sağlanmış olacaktır. Bu her gün 24 saat çalışan bir santralin 55,5 MW kurulu gücüne denk gelmektedir. Elde edilen gaz, ya doğrudan yakılarak enerji gereksinimi çok olan çeltik kurutma işlemine ya da gaz motorlarında mekanik enerjiye dönüştürülüp elektrik santrallerinde elektrik üretiminde kullanılabilir. Böylece yenilenebilir bir enerji kaynağı olan çeltik sapından elde edilen biyokütle enerjisi, fosil yakıtlara alternatif olacak ve ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır.

Gazlaştırma işlemi “gazlaştırıcı” adı verilen sistemlerde yapılır. Gazlaştırıcılar sabit yataklı, akışkan yataklı ve sürüklemeli yataklı gazlaştırıcılar olarak üç ana gruba ayrılırlar. Son senelerde dördüncü tip reaktör şekli olan plazma gazlaştırıcıların da önemi ortaya çıkmıştır. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar kendi

içinde kabarcıklı akışkan yataklı ve dolaşimli akışkan yataklı gazlaştırıcılar olarak ayrılırlar ve bu sistemler büyük ölçekli enerji dönüşümleri için tercih edilmektedir. Sabit yataklı gazlaştırıcılarda ise hava akış yönüne göre aşağı akışlı, yukarı akışlı ve yatay akışlı gazlaştırıcılar olarak sınıflandırma yapılabilir. Sürüklemeli yataklı gazlaştırıcılar ise genellikle kömür gazlaştırma işleminde tercih edilmektedirler (Rajvanshi, 1986)

Çeltik sapı yaklaşık %20 civarı kül içeriğine sahiptir ve bu külün de yaklaşık %75’i  $\text{SiO}_2$  dur (Jenkins, 1998). Kül ergime sıcaklığı  $1400^\circ\text{C}$  üzerinde olmasına rağmen, yapısındaki  $\text{K}_2\text{O}$  gibi alkaliler  $\text{SiO}_2$  bağlarını kırarak daha düşük sıcaklıklarda ( $700-800^\circ\text{C}$ ) ergiyen ötektik yapılar oluşturmaktadır (Wang ve ark., 2007). Bu ötektik yapılar ergidiklerinde çeltik sapının içeriğindeki karbon dönüşümünü kısıtlamakta, aglomerasyona neden olmaktadır (Rozainee ve ark., 2008). Bunun önlenmesi ya da etkilerinin azaltılması için biyokütlenin gazlaştırma öncesinde yıkama gibi bazı ön işlemlerden geçirilerek yapısındaki alkalilerin yoğunluğunun azaltılması etkili olmakla beraber (Krishnarao ve ark., 2001, Kargbo ve ark., 2009) ekonomik açıdan birinci tercih olarak değerlendirilmemektedir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

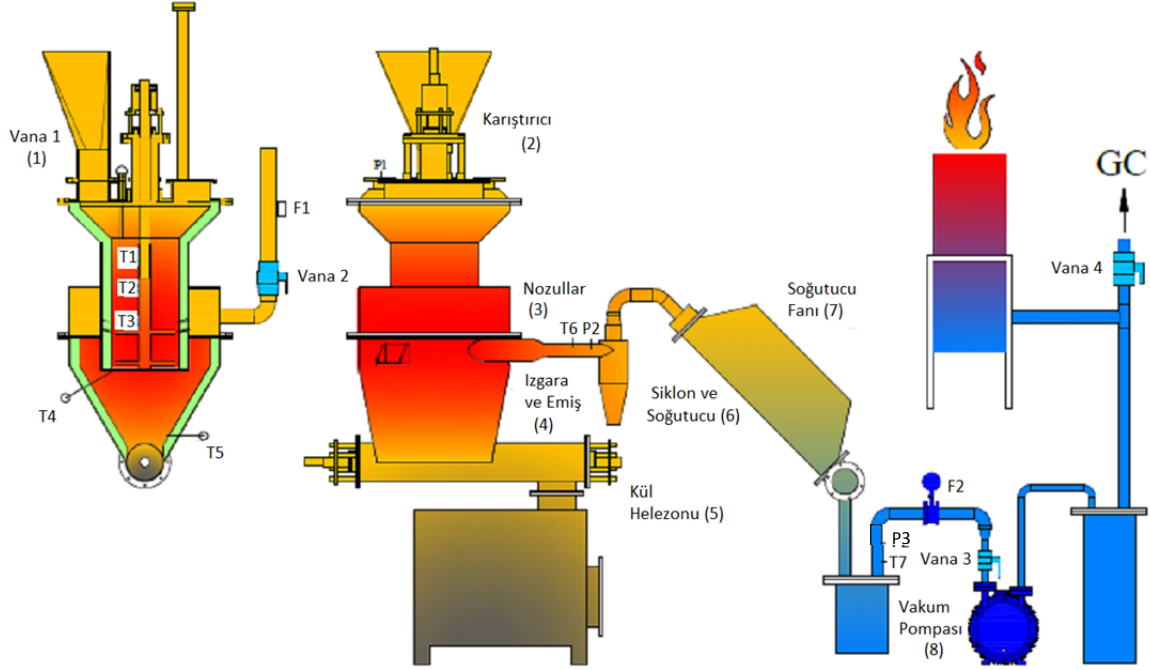
### MATERYAL

#### *Gazlaştırma İşleminde Kullanılan Çeltik Sapları*

Projede deneme materyali olarak kullanılan çeltik sapları İpsala Kaymakamlığının desteği ile İpsala yöresinden temin edilmiştir. Saplar balyalanmış olarak üniversitemize getirilmiştir.

#### *Gazlaştırıcı*

Çeltik saplarının gazlaştırılması için kullanılan gazlaştırıcı, bölümümüzde yürütülen TÜBİTAK projesi kapsamında tasarlanmış ve imal edilmiştir. İmal edilen gazlaştırıcı üzerinde bulunan ölçüm noktaları Şekil 1’de verilmiştir. Prototip gazlaştırıcıda aşağı akışlı, mekanik karıştırıcılı bir reaktör, vakum pompası, siklon, gaz soğutma ünitesi, yakma ünitesi (flare), ölçme-kontrol ve veri toplama birimlerinden oluşmaktadır. Üretilen gaz siklona sevk edilmekte, gaz soğutma ünitesinde soğutulmakta buradan yakma birimine gönderilmektedir. Vakum pompasından sonra alınan gaz numunesi, gaz kromatografi cihazına gönderilerek analiz edilmiştir.



**Şekil 1. Gazlaştırıcı ünitenin ölçüm ve kontrol noktaları**

Figure 1. Schematics of the gasifier and the measurement and control points

Sistem üzerinde 7 farklı noktadan alınacak sıcaklık verisinin otomasyon paneline ve dolayısıyla veri toplama sistemine aktarılabilir 7 adet sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Sistem üzerinde 3 farklı noktadan alınacak basınç verisinin otomasyon paneline ve dolayısıyla veri toplama sistemine aktarılabilir 3 adet basınç transmitteri vardır. Gazlaştırıcı ünitesinin ayaklarına yerleştirilecek 3 adet yük hücresi ile ünitenin tartımı anlık olarak yaptırılarak, toplanan veriler otomasyon paneline aktarılabilir özelliktedir. Yük hücreleri 0-500 kg ağırlık aralığında çalışabilmektedir ve lama tipidir. Gazlaştırıcı üzerinde pitot tüplü fark basınç ile çalışan hava emişi ölçecek ve alınan veriyi otomasyon paneline taşıyabilecek ölçüm sistemi bulunmaktadır. Sentez gazı hattı üzerinde vakum pompasından önce gaz debisini ölçebilecek bir adet orifis tipi debimetre bulunmaktadır.

Sistemdeki tüm kontroller otomasyon panosu üzerinden yapılmaktadır. Gazlaştırma işlemi sırasında kor bölgesindeki sıcaklığın 800°C'yi aşmaması için otomasyon sistemi yardımıyla kontrollü yanma gerçekleştirilmiştir.

## YÖNTEM

### Çeltik Saplarının Peletlenmesi

Balya halinde İpsala Kaymakamlığı tarafından temin edilen çeltik sapları, sap parçalama makinesi ile parçalanarak pelet haline gelecek boyutlara düşürülmüştür. Saplar parçalandıktan sonra Tekirdağ ili Muratlı ilçesinde bulunan bir işletmede pelet yapım aşamasına geçilmiştir. Pelet bileşimleri Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1. Hazırlanan peletlerin bileşimleri**

Table 1. Composition of prepared pellets

KOD	PELET BİLEŞİMİ
PRF	Katkı maddesi yok. Referans örnek
PVA3	Çeltik sapı + %3 PVA
PML5	Çeltik sapı + %5 melas
PC5	Çeltik sapı + %5 kömür tozu
PC15	Çeltik sapı + %15 kömür tozu

Hazırlanan pelet numunelerinin gazlaştırma öncesindeki elementel özelliklerini saptanması için analizler Tübitak Marmara Araştırma Merkezinde (MAM) gerçekleştirilmiştir.

### **Gaz Analizleri**

Ana gaz çıkış hattında debi ölçümünden sonra bir hat yardımıyla gaz örneği alınmıştır. Alınan gaz örneği Agilant 7890A GC gaz kromatografi cihazı ile analiz edilmiş ve CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, ve N<sub>2</sub> oranları cihaza ait yazılım kullanılarak kaydedilmiştir.

### **Hava fazlalık katsayısının hesaplanması**

Hava fazlalık katsayısı (ER) aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır (Reed ve Das, 1988);

$$ER = \frac{\left(\frac{AFR}{FCR}\right)}{SR_V}$$

Burada, ER hava fazlalık katsayısı; AFR (m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>) ortama verilen havanın debisi; FCR (kg<sup>-1</sup>) biyokütle yakıt tüketim hızı ve SR<sub>V</sub> (m<sup>3</sup>kg<sup>-1</sup>) ise 1 kg biyokütle yakıtın yanması için gereken stokiyometrik havanın hacimsel debisidir.

Hava fazlalık katsayısı ER, piroliz reaksiyonlarında 0, gazlaştırmada 0,2 – 0,5 arasında ve yanma olayında 1'den büyük alınmaktadır (Zhu ve Venderbosch, 2005). Bu çalışmada hava fazlalık katsayısı 0.20 olarak alınmıştır.

### **Özgül Gazlaştırma Oranının (SGR) Hesaplanması**

#### **Hesaplanması**

Özgül gazlaştırma oranı reaktörün birim kesitinin birim zamanda gazlaştırdığı biyoyakıt miktarıdır. Reaktörün performansını belirleyen önemli parametrelerden birisidir (Jain, 2006).

Bu amaçla, öncelikle reaktörün bir operasyon boyunca tükettiği biyokütle miktarı ve operasyon zamanına bağlı olarak, biyokütle tüketim oranı (FCR) hesaplanmıştır.

$$FCR = \frac{m_b}{t}$$

Burada; FCR (kg.h<sup>-1</sup>) biyokütle tüketim oranı, m<sub>b</sub> (kg) bir operasyon boyunca tüketilen biyokütle miktarı, t (h) operasyon süresidir.

Daha sonra aşağıdaki bağıntı yardımıyla özgül gazlaştırma oranı bulunmuştur.

$$SGR = \frac{FCR}{A_r}$$

Burada; SGR (kg.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>) özgül gazlaştırma oranı, A<sub>r</sub> (m<sup>2</sup>) reaktörün kesit alanıdır.

### **Özgül Gaz Üretim Oranının (SGPR) Hesaplanması**

#### **Hesaplanması**

Gazlaştırma süresince birim zamanda üretilen gaz miktarının (GFR) reaktör kesit alanına oranlanmasıyla bulunmuştur. Burada üretilen gaz debisi 1 atm basınç ve 0 °C şartlarındaki miktardır (Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>).

$$SGPR = \frac{GFR}{A_r}$$

Burada; SGPR (m.h<sup>-1</sup>) özgül gaz üretim oranı, GFR (Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) çıkıştaki gaz debisi A<sub>r</sub> (m<sup>2</sup>) reaktörün kesit alanıdır.

Çıkıştaki gaz debisi (GFR), gazlaştırma işlemi başladıktan ve sistem rejime girdikten sonra ölçülmüştür.

### **Birim Biyokütlenin Ürettiği Gaz Miktarının Saptanması**

#### **Saptanması**

Özgül gaz üretim oranının (SGPR), özgül gazlaştırma oranına bölünmesiyle hesaplanmıştır;

$$GM_b = \frac{SGPR}{SGR}$$

Burada; GM<sub>b</sub> (Nm<sup>3</sup>kg<sup>-1</sup>) birim biyokütlenin ürettiği gaz miktardır.

### **Gazlaştırma Veriminin Hesaplanması**

Biyokütlenin alt ısıl değeri alınarak hesaplanan ısıl gücünün gazlaştırma sonucu elde edilen gazın alt ısıl değeri alınarak hesaplanan ısıl gücüne oranlanmasıyla hesaplanmıştır. Buna soğuk gaz verimi de denmektedir.

Biyokütlenin ısıl gücü aşağıdaki bağıntıyla bulunmuştur;

$$P_b = \frac{FCR \cdot LHV_b}{3600}$$

Burada; P<sub>b</sub> (kW) biyokütlenin ısıl gücü ve LHV<sub>b</sub> (kJ.kg<sup>-1</sup>) alt ısıl değeridir.

Elde edilen gazın ısıl gücü de aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunmuştur;

$$P_g = \frac{GFR \cdot LHV_g}{3600}$$

Burada; P<sub>g</sub> (kW) elde edilen gazın ısıl gücü ve LHV<sub>g</sub> (kJ.Nm<sup>-3</sup>) alt ısıl değeridir. Gazın alt ısıl değeri üretilen gazın birim kütledeki bileşenlerin oranları ve enerji içerikleri dikkate alınarak bulunmuştur (Walheim ve Nilsson, 2001).

Biyokütle ve gazın ısıl güçleri hesaplandıktan sonra aşağıdaki bağıntıyla gazlaştırma verimleri bulunmuştur;

$$\eta_G = \frac{P_g}{P_b} \times 100$$

### **Uygulanan İstatistik Yöntemleri**

Testler sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi için SPSS Ver.18 istatistik paket programı kullanılmıştır. Araştırmada örnekler arasındaki farklılıkları belirlemek için tek ve iki yönlü Varyans Analizleri yapılmıştır. Önemli bulunan ortalamaların gruplandırılmaları %5 önem seviyesinde DUNCAN testiyle yapılmıştır.

### **BULGULAR ve TARTIŞMA**

#### **Pelet Örneklerinin Kimyasal ve Fiziksel Analiz Sonuçları**

Hazırlanan peletlerin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge-2 ve Çizelge 3'de verilmiştir.

#### **Pelet örneklerinin gazlaştırma performansları**

Elde edilen sentez gazların kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir. Ayrıca, sentez gaz içindeki yanabilen gazların oranları Şekil 2'de

verilmiştir. Sentez gaz içerisinde yanıcı gaz olarak en yüksek oranda hidrojen (H<sub>2</sub>) bulunurken, bunu karbon monoksit (CO) ve metan (CH<sub>4</sub>) gazları izlemiştir.

En yüksek ısı değeri 4,430 MJNm<sup>-3</sup> ile yalnızca çeltik sapı kullanılan (PRF) peletlerle, en düşük ısı değeri 3,899 MJNm<sup>-3</sup> ile %15 kömür tozunun kullanıldığı (PC15) peletlerle yapılan gazlaştırma işleminde elde edilmiştir.

Elde edilen ısı değerlerinin ortalamaları tek yönlü varyans analizi ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre 5 farklı tip peletle elde edilen gazların ısı değerleri arasında istatistiki olarak önemli farklar olduğu gözlemlenmiştir (F=22,559\*\*; p<0,05). Yapılan aralık testinde (Duncan) en yüksek ısı değere sahip PRF ve PVA3 pelet karışımlarından elde edilen sentez gazlar aynı gruba, en düşük ısı değere sahip PC15 ve PC5 peletler de aynı gruba girmiştir (kaynak ile destekleyelim?). PML5 pelet örneği bu iki gruptan ayrı tek başına bir gruba girmiştir.

**Çizelge 2. Pelet örneklerinin fiziksel analiz sonuçları (% ağırlık)**

Table 2. Results of physical analysis of pellet samples (Weight %)

Pelet Örnekleri	Alt Isıl Değeri, (LHV <sub>a</sub> ) (MJ.kg <sup>-1</sup> )	İlk Deformasyon Sıcaklığı (IDT) (°C)	Yumuşama Sıcaklığı (ST) (°C)	Yarıküre Sıcaklığı (HT) (°C)	Erime Sıcaklığı (FT) (°C)
PRF	12,77	1045	1239	1436	1436<FT<1500
PVA3	12,71	951	1066	1305	1305<FT<1500
PML5	12,78	944	1078	1275	1275<FT<1500
PC5	12,45	971	1109	1284	1284<FT<1500
PC15	12,93	1018	1127	1262	1262<FT<1500

**Çizelge 3. Pelet örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (% ağırlık)**

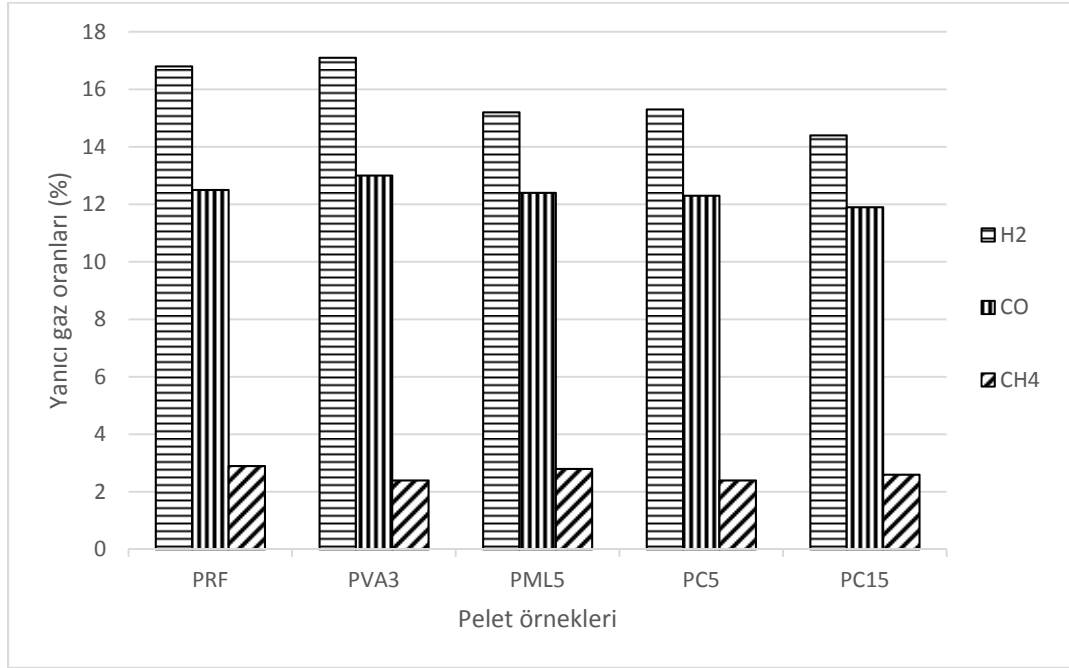
Table 3. Results of chemical analysis of pellet samples (Weight %)

Pelet Örnekleri	C	H	N	S	O <sub>2</sub>
PRF	39,90	4,89	1,24	0,20	35,27
PVA3	39,42	4,95	1,32	0,17	35,12
PML5	39,10	5,05	1,69	0,18	35,71
PC5	39,37	4,80	1,60	0,24	34,38
PC15	40,16	4,79	1,50	0,32	32,32

**Çizelge 4. Elde edilen sentez gazların gaz analiz sonuçları**

Table 4. The results of the analysis of the gas obtained from the syngas

Pelet Örnekleri	H <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	CO (%)	Alt Isıl Değeri, LHV <sub>a</sub> (MJ Nm <sup>-3</sup> )
PRF	16,8	2,9	12,5	4,430
PVA3	17,1	2,4	13,0	4,348
PML5	15,2	2,8	12,4	4,210
PC5	15,3	2,4	12,3	4,065
PC15	14,4	2,6	11,9	3,989



**Şekil 2. Pelet örneklerinden elde edilen yanıcı gaz oranları**

Figure 2. Percentages of combustible gases obtained from the pellet samples

**Çizelge 5. Gazlaştırma esnasında biyoyakıt besleme ve gaz çıkış oranları**

Table 5. Feed and biofuel gas exit rates during gasification

Pelet Örnekleri	FCR ( $\text{kg h}^{-1}$ )	SGR ( $\text{kg h}^{-1} \text{m}^{-2}$ )	GFR ( $\text{Nm}^3 \text{h}^{-1}$ )	SGPR ( $\text{Nm}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-2}$ )	GM <sub>b</sub> ( $\text{Nm}^3 \text{kg}^{-1}$ )
PRF	20,4	204,8	35,1	364,8	1,78
PVA3	19,2	199,6	34,2	355,5	1,78
PML5	20,4	212,0	37,4	388,7	1,83
PC5	19,1	198,5	36,4	378,3	1,90
PC15	20,0	207,9	38,5	400,2	1,93

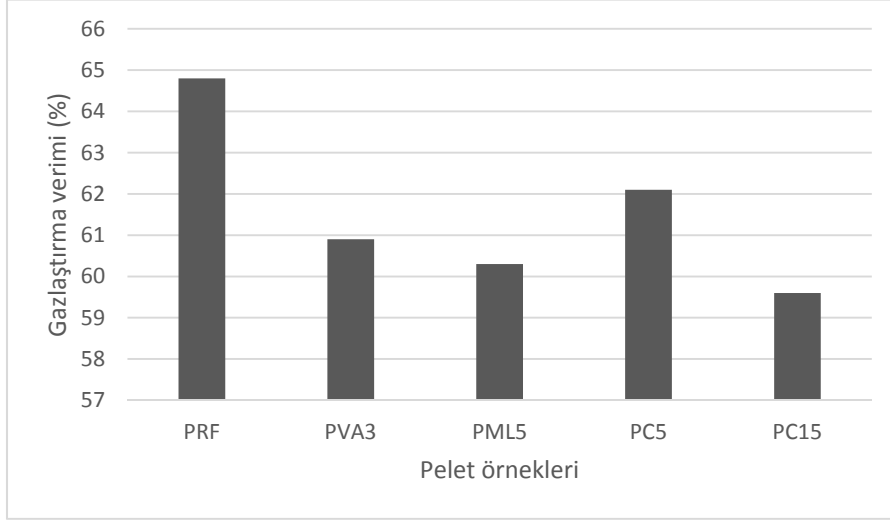
**Çizelge 6. Pelet örneklerinden elde edilen sentez gazın gazlaştırma verimleri**

Table 6. Gasification yields of syngas obtained from the pellet samples

Pelet Örnekleri	P <sub>m</sub> (kW)	P <sub>g</sub> (kW)	η <sub>g</sub> (%)
PRF	66,7	43,2	64,8
PVA3	67,8	41,3	60,9
PML5	72,5	43,7	60,3
PC5	66,2	41,1	62,1
PC15	71,7	42,7	59,6

Gazlaştırma esnasında biyoyakıt besleme ve gaz çıkış oranları Çizelge 5'de verilmiştir. En düşük gaz çıkış oranı PRF, en yüksek gaz çıkış oranı PC15'de olmuştur.

Peletlerin gazlaşma verimleri Çizelge 6 ve Şekil 3'de verilmiştir. En yüksek gazlaştırma verimi katkısız pelet (PRF) örneklerinde %64,8 değeri ile elde edilmiştir. En düşük gazlaştırma verimi %59,6 ile %15 kömür karışımında olmuştur.



**Şekil 3. Pelet örneklerinin gazlaştırma verimleri**

Figure 3. Gasification efficiency of pellet samples

Gazlaştırma verimi ortalamalarının tek yönlü varyans analizleri yapılmıştır. Örnekler gazlaştırma verimi açısından istatistik olarak önemli farklılık göstermiştir ( $F=10,674^{**}$ ;  $p<0,05$ ). Yapılan çoklu karşılaştırma (Duncan) testinde en yüksek gazlaştırma verimine sahip katkısız pelet (PRF) tek başına ayrı bir grup oluşturmuştur. Bu örneğin gaz çıkış oranının diğerlerine göre düşük olmasına rağmen gazlaştırma veriminin yüksek olması, elde edilen sentez gazın ısı değerinin yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Bu sonuca göre uygun teknolojilerle peletleme yapıldığında çeltik sapını peletlerken herhangi bir katkı maddesi kullanmaya gerek yoktur.

Pathak ve Jain (1985), çeltik kavuzunun gazlaştırılması ile ilgili bir araştırmada, optimum koşullar sağlandığında gazlaştırma veriminin %65 civarında olabildiğini belirtmiştir. Bu araştırmada çeltik sapının katkısız olarak peletlenip gazlaştırılması ile %64.8 civarında gazlaştırma verimi elde edilmiştir. Bu değer Pathak ve Jain tarafından belirtilen değere yakın olmuştur.

## SONUÇ

Çeltik sapından farklı karışım materyalleri kullanılarak üretilen peletlerin, tasarlanan gazlaştırıcı sistemle gazlaştırılması üzerine yapılan bu araştırmada elde edilen sonuçları aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür;

Herhangi bir katkı maddesi olmadan yapılan peletleme işleminde de bir sıkıntı yaşanmamıştır. Uygun peletleme tekniği kullanıldığında çeltik sapının peletlenmesi için katkı maddesi kullanılmasına gerek yoktur.

Farklı karışımlarla elde edilen pelet örneklerinin yapılan kimyasal ve fiziksel analizleri arasında çok büyük farklılık görülmemiştir. Ancak, peletlerin ısı değerleri literatürlerde bildirilen değerlerden biraz daha düşük olmuştur (Jain, 2006).

Reaktör içinde camlaşma ve aglomerasyon oluşumunu engellemek için çeltik sapı peletlerinin gazlaştırılması işleminde kor bölgesinin sıcaklığını  $800^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkartmamak için kontrollü koşullarda gazlaştırma işleminin yapılması gerekmektedir. Otomasyon sisteminde hava akış ve besleme oranını sürekli kontrol ederek bu ayarlama yapılmalıdır.

Gazlaştırma esnasında karıştırma işlemi çeltik peletleri için uygun olmamıştır. Kor bölgesinde karıştırıcı kanatlar etrafında oluşan kor köprüleri kanatlara yapışarak materyalin akışına ve havanın bölgeye ulaşmasına engel olmaktadır.

Yukarıda belirtilen koşullarda pelet örneklerinin gazlaştırılması ile en yüksek gazlaştırma verimi katkısız pelet örneğinde (PRF), en düşük gazlaştırma verimi %15 kömür tozu karıştırılmış pelet örneğinde (PC15) elde edilmiştir. Bu sonuç çeltik sapının herhangi bir

katkı maddesi olmaksızın rahatlıkla peletlenip gazlaştırma işlemi yapılabileceğini göstermektedir.

Çalışmanın sonucunda çeltik saplarının uygun teknolojiler kullanıldığında rahatlıkla peletlenip gazlaştırılabilirliği ortaya çıkmıştır. Bölgemizde her yıl tarlada kalan ve yakılan 300.000 tonun üzerindeki çeltik sapının mümkün olan en fazla kısmının bu şekilde değerlendirilmesi, ülke ekonomisine büyük yarar sağlayacaktır. Bir diğer olumlu yan da biyokütle kaynağı olarak hammaddenin bol miktarda olması ve ekonomik olarak, hatta ücretsiz temin edilebilmesidir. Kurulacak gazlaştırma tesislerinin iç enerji gereksinimlerinin de elde edilecek sentez gazdan karşılanması mümkündür. Araştırmanın bundan sonraki aşamasında çeltik üretimi yapılan İpsala

yöresinde çiftçi birlikleri ile işbirliğine girilerek örnek bir gazlaştırma tesisinin kurulması hedeflenmektedir. Elde edilecek gazın elektrik enerjisine dönüştürülmesi ya da doğrudan yakılarak çeltik kurutma işleminde kullanılmasının yöre çiftçilerine getireceği ekonomik faydanın ve çevresel faktörlerdeki iyileşmenin iyi anlatılması durumunda, bu tür tesislerin yaygınlaşabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen "*Çeltik Saplarının Gazlaştırılması İçin Mekanik Karıştırıcı Aşağı Akışlı Prototip Bir Gazlaştırıcı Tasarımı*" adlı 1001 projesinden derlenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

## LİTERATUR LİSTESİ

- Jain AK (2006). Design Parameters for a Rice Husk Throatless Gasifier, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, Manuscript EE 05 012, Vol VIII, 45-49.
- Jenkins BM (1998). Combustion Properties of Biomass, Fuel Processing Technology, 54, 17-46.
- Kargbo FR, Xing J and Zhang Y (2009). Pretreatment for Energy Use of Rice Straw: A Review, African Journal of Agricultural Research, Vol. 4 (13), 1560-1565.
- Kirubakaran V, Sivaramakrishnan V, Nalini R, Sekar T, Premalatha M and Subramanian P (2009). A Review on Gasification of Biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 13 , 179-186.
- Krishnarao RV, Subrahmanyam J and Jagadish Kumar T (2001). Studies on the Formation of Black Particles in Rice Husk Silica Ash, Journal of the European Ceramic Society, 21, 99-104.
- Pathak BS and Jain AK (1985). Gasification of rice husk in an updraft reactor. Energy Management, NPC, Vol 3, 38-45.
- Rajvanshi AK (1986). "Alternative energy in Agriculture", CRC Press, Vol II, Chapter No:4, 83-102.
- Rozainee M, Ngo SP, Salema AA, Tan KG, Ariffin M and Zainura ZN (2008). Effect of Fluidizing Velocity on the Combustion of Rice Husk in Bench Scale Fluidized Bed Combustor for the Production of Amorphous Rice Husk Ash , Bioresource Energy, 99, 703-713.
- Wang L, Weller CL, Jones D, Hanna MA (2007). Contemporary Issues in Thermal Gasification of Biomass and Its Application to Electricity and Fuel Production, Biomass and Energy, 32, 573-581.