

Proje No: 104M200

**Biyokütle ile Kömürün
Akışkan Yataklı Yakıcılarda Birlikte Yakılması**

Prof. Dr. Nevin SELÇUK
Ahmet Bilge UYGUR
Mehmet MORALI

EYLÜL 2007
ANKARA

ÖNSÖZ

Bu araştırma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu tarafından MAG 104M200 kodlu proje ve kısmen Orta Doğu Teknik Üniversitesi tarafından BAP-2006-07-02-00-01 kodlu Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

Raporda sonuçları verilen deneyler ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nde kurulu 0.3 MW Atmosferik Kabarcıklı Akışkan Yataklı Yakıcı Test Ünitesi'nde yapılmıştır. Deneylerde kullanılan linyit Çanakkale'nin Çan yöresinden, kireçtaşı Park Termik Elektrik Sanayi ve Ticaret A.Ş. Çayırhan Termik Santrali'nden, biyokütlelerden zeytin artığı ile pamuk küspesi Aydın, fındık kabuğu ise Akçakoca bölgesindeki firmalardan temin edilmiştir. Çan linyiti istenilen boyutta temin edilmiş, kireçtaşı ise ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nde proje ekibi tarafından kırılıp elenmiştir. Biyokütleler ise piyasadan istenilen boyutta satın alındığından herhangi bir kırma ve eleme işlemi yapılmasına gerek kalmamıştır.

Deneylerde kullanılan kömür, biyokütle ve kireçtaşı analizleriyle, deneylerden çıkan katı akımlardan alınan örneklerin analizlerinin bir kısmı ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nde kalamı ise ODTÜ Merkez Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Bu projenin gerçekleşmesini sağlayan tüm kuruluşlara ve bu kuruluşların yardımlarını esirgemeyen elemanlarına katkıları için teşekkür ederiz.

15 Eylül 2007

Prof. Dr. Nevin Selçuk

Proje Yöneticisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
TABLO LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
3. GEREÇ VE YÖNTEM	5
3.1 ODTÜ 0.3 MW Kabarcıklı Akışkan Yataklı Yakıcı Test Ünitesi	6
3.2 Linyit, Biyokütle ve Kireçtaşı Karakteristikleri	11
3.3 İşletme Koşulları	16
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	19
4.1 Tane Boyut Dağılımları.....	19
4.2 Kül Bilançosu ve Dağılım Oranları.....	20
4.3 Kül Analizleri.....	26
4.4 Sıcaklık Dağılımları	26
4.5 Baca Gazı Emisyonları.....	34
4.6 Yanma Verimi	37
4.7 Kükürt Giderme Verimi	38
4.8 Yakıcının Görsel İncelemesi	39
5. SONUÇ	39
5.1 Sonuçlar.....	39
5.2 Öneriler.....	41
REFERANSLAR	42
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU	46

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Dünya elektrik üretimi (IEA, 2004).....	2
Tablo 2: Gaz analizörlerinin ölçüm aralıkları	8
Tablo 3: Yakıtların klor içerikleri, %	11
Tablo 4: Yakıt analizleri.....	13
Tablo 5: Yakıtların tane boyutu dağılımları	14
Tablo 6: Yakıtların kül analizleri	15
Tablo 7: Test süreleri.....	16
Tablo 8: İşletme koşulları.....	17
Tablo 9: Kül bilançosu ve dağılım oranları.....	25
Tablo 10: Baca gazı emisyonları	35
Tablo 11: Türk yönetmeliğine göre emisyon sınır değerleri.....	36
Tablo 12: Yanma verimleri	37
Tablo 13: Kükürt giderme verimleri	39

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: Dünya toplam primer enerji kaynaklarının payları (IEA, 2004).....	1
Şekil 2: Yakıtlara göre 2004-2030 yılları arasında dünya elektrik üretimi (IEO, 2007)	2
Şekil 3: ODTÜ 0.3 MW AKAYY ünitesinin proses akım şeması.....	7
Şekil 4: Gaz şartlandırma ve analiz sistemi	9
Şekil 5: ODTÜ 0.3 MW AKAYY ünitesinin proses ve enstrümantasyon şeması.....	10
Şekil 6: Biyokütlelerin fotoğrafları	12
Şekil 7: Test 1 ve 2'deki tüm akımların tane boyutu dağılımları.....	21
Şekil 8: Test 2, 3, 4 ve 5'teki tüm akımların tane boyutu dağılımları.....	22
Şekil 9: Test 2, 6, 7 ve 8'deki tüm akımların tane boyutu dağılımları.....	23
Şekil 10: Test 2, 9 ve 10'daki tüm akımların tane boyutu dağılımları.....	24
Şekil 11: Tüm deneylerin yatak altı külü analizleri	27
Şekil 12: Tüm deneylerin siklon külü analizleri	28
Şekil 13: Tüm deneylerin torba filtre külü analizleri	29
Şekil 14: Test 1 ve 2'de yakıcı boyunca sıcaklık dağılımları	30
Şekil 15: Test 2, 3, 4 ve 5'te yakıcı boyunca sıcaklık dağılımları	31
Şekil 16: Test 2, 6, 7 ve 8'de yakıcı boyunca sıcaklık dağılımları	32
Şekil 17: Test 2, 9 ve 10'da yakıcı boyunca sıcaklık dağılımları	33

ÖZET

Biyokütle ve kömürün akışkan yataklı yakıcılarda birlikte yakılması, emisyonları düşürerek kömürün çevre dostu olarak kullanılmasını ve biyokütle artıklarının değerlendirilmesini sağlayan umut verici bir alternatiftir. Bu nedenle, biyokütle miktarının kirletici gaz emisyonlarına etkisi, çeşitli biyoküteller ve yüksek kalorili kömürleri birlikte yakan akışkan yataklı yakıcılarda günümüze kadar yaygın bir şekilde incelenmiştir. Ancak, zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığının düşük kalorili, yüksek kükürt ve kül içeren linyitle kabarcıklı akışkan yataklı yakıcılarda birlikte yakılmasının etkisi üzerine bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, tipik Türk linyiti ile zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığının birlikte yakılması ODTÜ 0.3 MW ısıl gücündeki atmosferik kabarcıklı akışkan yataklı yakıcıda farklı yakıt karışımlarının yanma ve emisyon performanslarına ve kül davranışına etkisi açısından incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, birlikte yanmanın yanma verimini ve serbest bölge sıcaklıklarını kireçtaşı ilaveli linyit yakılmasına kıyasla arttırdığını göstermiştir. O_2 ve CO_2 emisyonlarının karışımdaki artan zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığı miktarına duyarlı olmadığı görülmüştür. Birlikte yanma SO_2 emisyonlarını azaltırken CO emisyonlarını artırmıştır. Zeytin artığı ve fındık kabuğu ile linyitin birlikte yakılması NO emisyonlarında önemli değişikliğe yol açmazken, N_2O emisyonlarını azaltmıştır. Pamuk artığının linyit ile birlikte yakılması NO ve N_2O emisyonlarını artırmıştır. Majör ve minör element dağılımlarına ilişkin olarak, linyit ve söz konusu biyokütellerin birlikte yakılması bu elementlerin dağılımlarını yatak altı külünden uçucu küle değiştirmiştir. Gerek EDX gerekse XRD analizlerinde külde klor bulunmadığı tesbit edilmiştir. Sonuç olarak, zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığı yüksek kül ve kükürt içeren linyit ile bitişme ve depozit problemleri olmaksızın kolayca birlikte yakılabilirler.

ABSTRACT

Co-firing of biomass with coal in fluidized bed combustors is a promising alternative which leads to environmentally friendly use of coal by reducing emissions and provides utilization of biomass residues. Therefore, effect of biomass share on gaseous pollutant emissions from fluidized bed co-firing of various biomass fuels with high calorific value coals have extensively been investigated to date. However, effect of co-firing of olive residue, hazelnut shell and cotton residue with low calorific value lignites having high ash and sulfur contents has not been studied in bubbling fluidized bed combustors.

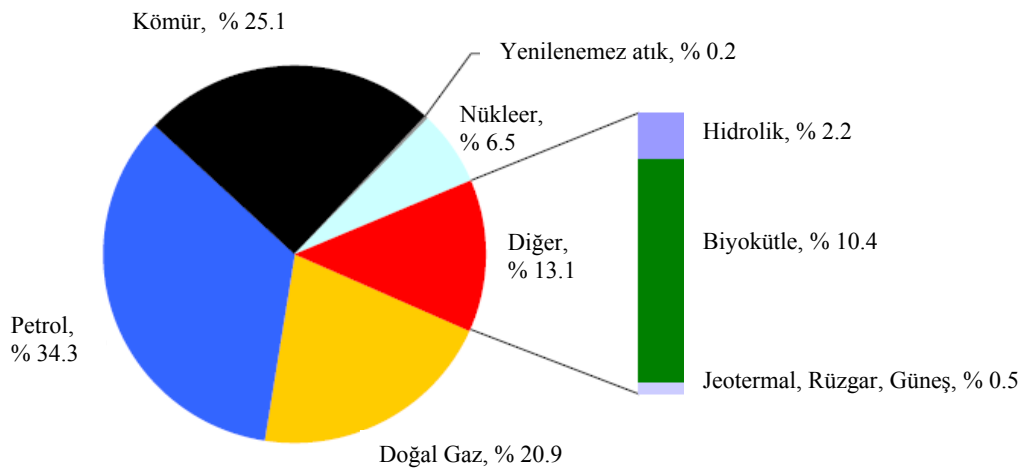
In this study, co-firing of typical Turkish lignite with olive residue, hazelnut shell and cotton residue in 0.3 MW_t METU Atmospheric Bubbling Fluidized Bed Combustion (ABFBC) Test Rig was investigated in terms of combustion and emission performance and ash behavior of different fuel blends.

The results reveal that co-firing of olive residue, hazelnut shell and cotton residue with lignite increase the combustion efficiency and freeboard temperatures compared to those of lignite firing with limestone addition. O₂ and CO₂ emissions are not found sensitive to increase in olive residue, hazelnut shell and cotton residue share in fuel blend. Co-firing lowers SO₂ emissions considerably while increasing CO emissions. Co-firing of olive residue and hazelnut shell has show no significant influence on NO emissions, however, reduces N₂O emissions. Co-firing cotton residue results in higher NO and N₂O emissions. Regarding to major and minor elements partitioning, co-firing lignite with biomasses under consideration shifts the partitioning of these elements from bottom ash to fly ash. No chlorine is detected in both EDX and XRD analyses of the ash deposits. In conclusion, olive residue, hazelnut shell and cotton residue can easily be co-fired with high ash and sulfur containing lignite without agglomeration and fouling problems.

1. GİRİŞ

Günümüzde elektrik gücüne olan talep nüfus artışı, teknolojik ve ekonomik gelişmelerden dolayı sürekli artmaktadır. Kömürün sürekli gelişen temiz kömür teknolojileri ve 909 milyar tonluk bilinen rezervleri (BP, 2007) ile enerji üretiminde daha onlarca yıl baskın bir fosil yakıt olacağı tahmin edilmektedir. Elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıtların küresel çevre etkileri dünya çapında ilgilenilen bir konu haline gelmiştir. Fosil yakıtların yanmasının etkilerini azaltmak için yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki payı artırılmaktadır. Yenilenebilir kaynaklar arasında, enerji üretiminde kullanmak için en az risk taşıyan ve en az sermaye gerektireni biyokütledir. Biyokütle, CO₂-nötr bir yakıt olması ve düşük kükürt ve nitrojen içeriğinden ötürü SO₂ ve NO emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmasından dolayı yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (SAMI, 2001).

Yukarıda sözü edilen avantajlara ek olarak, biyokütle, petrol, kömür ve doğal gazdan sonra dördüncü büyük enerji kaynağı olup dünya enerjisinin % 10-14'ünü karşılamaktadır. Şekil 1'de 2004 yılına ait dünyanın toplam primer enerji kaynaklarının payları gösterilmektedir. Afrika enerjisinin 2/3'ünü, Asya yaklaşık 1/3'ünü ve Latin Amerika 1/4'ünü biyokütleden elde etmektedir (SHEINKOPF, 1993). Biyokütlenin Avrupa ülkelerindeki rolü Finlandiya ve İsveç'te % 15, İngiltere'de % 1'den daha az olarak değişmektedir. Uzun vadede biyokütlenin Avrupa Birliği ülkelerinin primer enerji ihtiyacına % 20 oranında katkıda bulunacağı tahmin edilmektedir (GRASSI, 1993).

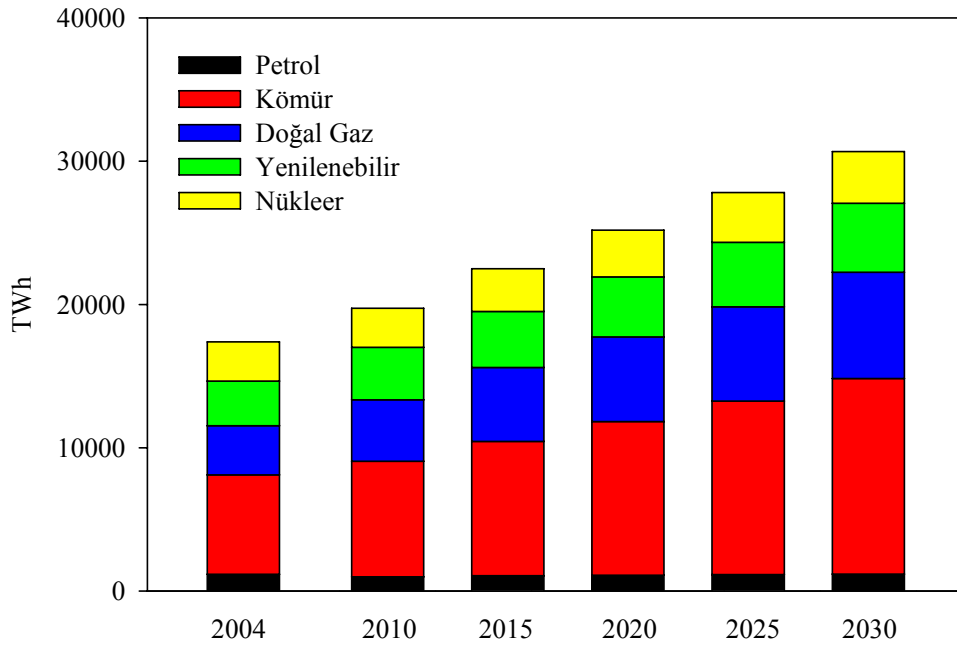


Şekil 1: Dünya toplam primer enerji kaynaklarının payları (IEA, 2004)

Biyokütle çok yönlü bir enerji kaynağı olup, depolanabilir ve elektrik ve/veya ısıya dönüştürülebilir. Tablo 1’de 2004 yılında dünyada elektrik üretiminde değişik kaynakların miktarları ve payları verilmektedir. Tablodan görüldüğü gibi elektrik üretimindeki baskın enerji kaynağı kömür olup yenilenebilir kaynakların payı daha azdır. Ancak, fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonları her geçen gün daha da kısıtlayan yasalar sebebiyle biyokütlenin payının ilerleyen yıllarda artması beklenmektedir. Elektrik üretimindeki kaynakların paylarının 2030 yılına kadar olan izdüşümleri Şekil 2’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi elektrik üretiminde kömür ve yenilenebilir kaynakların payı artmaktadır.

Tablo 1: Dünya elektrik üretimi (IEA, 2004)

Yakıt	TWh	%
Kömür	6944	39.7
Doğal Gaz	3419	19.6
Petrol	1170	6.7
Hidrolik	2889	16.5
Nükleer	2738	15.7
Biyokütle	149.8	0.9
Atık	77.5	0.4
Diğer	85.1	0.5
Toplam	17472	100.0



Şekil 2: Yakıtlara göre 2004-2030 yılları arasında dünya elektrik üretimi (IEO, 2007)

Ancak, biyokütlenin yanması bir takım işletme problemlerini beraberinde getirmektedir. Kazanlarda en yaygın görülen işletme problemleri biyokütle külünde yüksek miktarda bulunan alkali-klorürlerden kaynaklanan bitişme, bırakıntı ve korozyondur. Isı transfer yüzeylerini kaplayan kül birikintileri ısı transferini azaltarak, ısı verimini düşürür ve korozyona yol açar.

Biyokütle yakan sistemlerdeki bu problemler biyokütlenin değişik güçteki kimyasallarla süzülmesi yada kömür ile birlikte yakılması çözülebilir. İlk alternatif ekonomik olarak uygun bulunmamıştır. Fakat ikinci alternatif yakın vadeli, düşük risk içeren ve düşük bütçeli sürdürülebilir yenilenebilir enerji seçeneğidir (BAPAT, 1997, GUANYI, 1997, HUGHES, 1998, BAXTER, 2004). Bu alternatif, 100'ün üzerinde kömür yakan santralde uygulanmıştır. Birlikte yanmanın uygulandığı santrallerin kapasiteleri 50 MW_e ile 700 MW_e arasında değişmektedir (IEA, 2007).

Yüksek uçucu madde, nem ve düşük kül içeren biyokütleyi, düşük uçucu madde, nem ve yüksek kül içeren kömür ile birlikte yakmak için yakıt esnekliğine sahip bir temiz yakma teknolojisi gerekmektedir. Mevcut teknolojiler arasında, akışkan yatakta yanma (AYY) teknolojisi en iyi seçenek olarak gösterilmektedir. Bu seçeneğin uygunluğu çeşitli biyokütlelerin teknik ve ekonomik fizibilitesi üzerine yapılan yaygın deneysel çalışmalar (ANTHONY, 1995) ve artan sayıdaki endüstriyel uygulamalarla ispatlanmıştır (IEA, 2007).

Ülkemizin kendi öz varlığı olan enerji kaynakları arasında en önemli yeri 9.3 milyar ton bilinen rezervleri, düşük kalorisi ve yüksek kül ve kükürt içeren yapısı ile linyit almaktadır. Bir yandan yerel linyit ve biyokütle karışımlarının kabarcıklı akışkan yataklı yakıcılarda birlikte yakılması üzerine bir araştırma olmaması, diğer yandan biyokütlelerin yerel rezervlerle birlikte endüstriyel kazanlarda birlikte yakılması eğilimi, linyit ile biyokütlenin birlikte yakılmasının araştırılmasını gerektirmektedir.

Türkiye'deki en uygun biyokütle kaynakları zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığıdır. Türkiye 662 000 hektarlık zeytinlik alanı ve 1 200 000 tonluk yıllık zeytin üretimi ile dünyanın başlıca zeytin üreticileri arasında yer almaktadır (SYT, 2006). Türkiye'deki fındık üretimi 584 000 hektarlık ekili alanı ve 530 000 tonluk yıllık üretimi ile dünya fındık üretiminin % 70'ini karşılamaktadır (FİSKOBİRLİK, 2007). Ayrıca, Türkiye pamuk

retiminde 546 880 hektarlık ekili alanı ve yıllık 1 291 180 tonluk tiftik ve 863 700 tonluk pamuk tohumu üretimi ile dünyanın sayılı pamuk üretici ülkeleri arasında yer almaktadır. Bu yüzden, Türkiye’de birlikte yanma uygulamalarında kullanılmak üzere önemli miktarlarda zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığı bulunmaktadır. Zeytin artığı, zeytin yağı üretiminden elde edilen bir biyokütle olup, zeytinin preslenip yağının çıkarılmasından sonra arta kalan kısmıdır. Yıllık zeytin artığı üretimi yaklaşık 683 993 tondur (AGROWASTE, 2007). Fındık kabuğu, fındığın kırılıp içi çıkarıldıktan sonra kalan kısmı olup, yıllık üretimi 453 184 tondur (AGROWASTE, 2007). Pamuk genelde lif ve tiftiği için üretilmektedir, fakat pamuk tohumu önemli miktarda yağ içermektedir. Pamuk artığı, pamuk tohumunun yağı ıkarılırtan sonra geriye kalan kısmını ifade etmekte olup yıllık üretimi 593 972 tondur (AGROWASTE, 2007).

Bu artıkların ve linyit rezervlerinin önemli miktarlarda mevcut olması ile beraber giderek artan kısıtlayıcı yasalarla emisyon limitlerinin düşürülmesi, birlikte yanma seçeneğini çekici hale getirmektedir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmanın amacı, yerel biyoktlelerimizden pamuk artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığının tipik bir Türk linyiti ile birlikte ODTÜ 0.3 MW ısıl gücündeki atmosferik kabarcıklı akışkan yataklı yakıcıda farklı yakıt karışımlarının yanma ve emisyon performanslarına etkisi açısından incelenmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

Günümüzde akışkan yatakta yakma teknolojisinin temiz ve verimli bir yakma teknolojisi olduğu kanıtlanmış durumdadır (EKMANN, 1998, SAMI, 2001). Akışkan yataklı yakıcılar yakıt bileşimine esnek olma özelliği sayesinde, düşük kalorili kömürlerin verimli bir şekilde tek başına veya uçucu maddesi ve nemi yüksek, sabit karbonu düşük olan biyoktlerle birlikte daha da yüksek verimle (LAURSEN, 2002) evreye duyarlı şekilde yakılmasına olanak tanımaktadır (ARMESTO, 1997, EKMANN, 1998, SAXENA, 1998, LAURSEN, 2002, ARMESTO, 2003, GAYAN, 2004).

Türk linyitleri, düşük kalorili, kükürt ve nem oranını yüksek olması sebebiyle akışkan yatak teknolojisiyle verimli bir şekilde yakılabilmekte ancak yönetmeliklerde belirtilen emisyon sınırlarını sağlamak için sisteme kireçtaşı ilavesine ihtiyaç duymaktadır. Yanma veriminden feragat etmeden, daha az kireçtaşı ilavesiyle emisyon sınırlarını sağlamak için en uygun

seçenek yerel enerji kaynağımız olan linyiti, yerel biyokütlerle birlikte akışkan yatak teknolojisiyle yakmaktır. Kömür ve biyokütlenin birlikte yakılması sadece biyokütle yakılmasına kıyasla daha yüksek verimle enerji eldesine, sadece kömürün yakılmasına kıyasla da birim enerji başına daha düşük emisyonlara ve aynı zamanda artıkların kontrollü olarak bertarafına imkan vermektedir. Biyokütlerin karbon dioksit emisyonu açısından nötür olması, içeriğindeki kükürt ve azot miktarlarının kömüre oranla çok daha az olması ve ayrıca biyokütlerdeki alkali ve toprak alkali metallerin kükürdün tutulmasına yardımcı olması (HEIN, 1998, IEA, 2007) ve birlikte yanma esnasında çevre dostu yanma ürünlerinin çıkmasına ve tarımsal artıkların verimli bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır.

Dünyada biyokütle ve kömürün akışkan yatakta yakılmasıyla ilgi pek çok çalışma yapılmış, en yaygın olarak saman (HANSEN, 1998, ANDRIES, 1997, LIN, 1999, SANDELIN, 2001), kağıt atıkları (XIAODONG, 1997, TORII, 2001, TASI, 2002, BOAVIDA, 2003), ormansal artıklar (LECKNER, 1993, ARMESTO, 1997, KAKARAS, 2001), pirinç kabuğu (GUANYI, 1997, LIU, 1999, SHEN, 2003) ve pirina (ARMESTO, 2003, SUKSANKRAISORN, 2003, ATIMTAY, 2004) gibi biyoküteller kullanılmış ve bu teknolojinin iki farklı özellikteki yakıtın birlikte yakılması için en uygun teknoloji olduğu kanısına varılmıştır. Ülkemizin miktar yönünden başta gelen yerel zirai artıklarından fındık kabuğu, zeytin artığı ve pamuk artığının kabarcıklı akışkan yataklı bir yakıcıda tipik bir Türk linyiti ile birlikte yakılması üzerine literatürde yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla ODTÜ 0.3 MW ısı gücündeki akışkan yataklı test ünitesinde yapılması planlanan deneylerden elde edilecek sonuçların mühendislik uygulamalarına önemli katkıda bulunacağı ortaya çıkmaktadır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

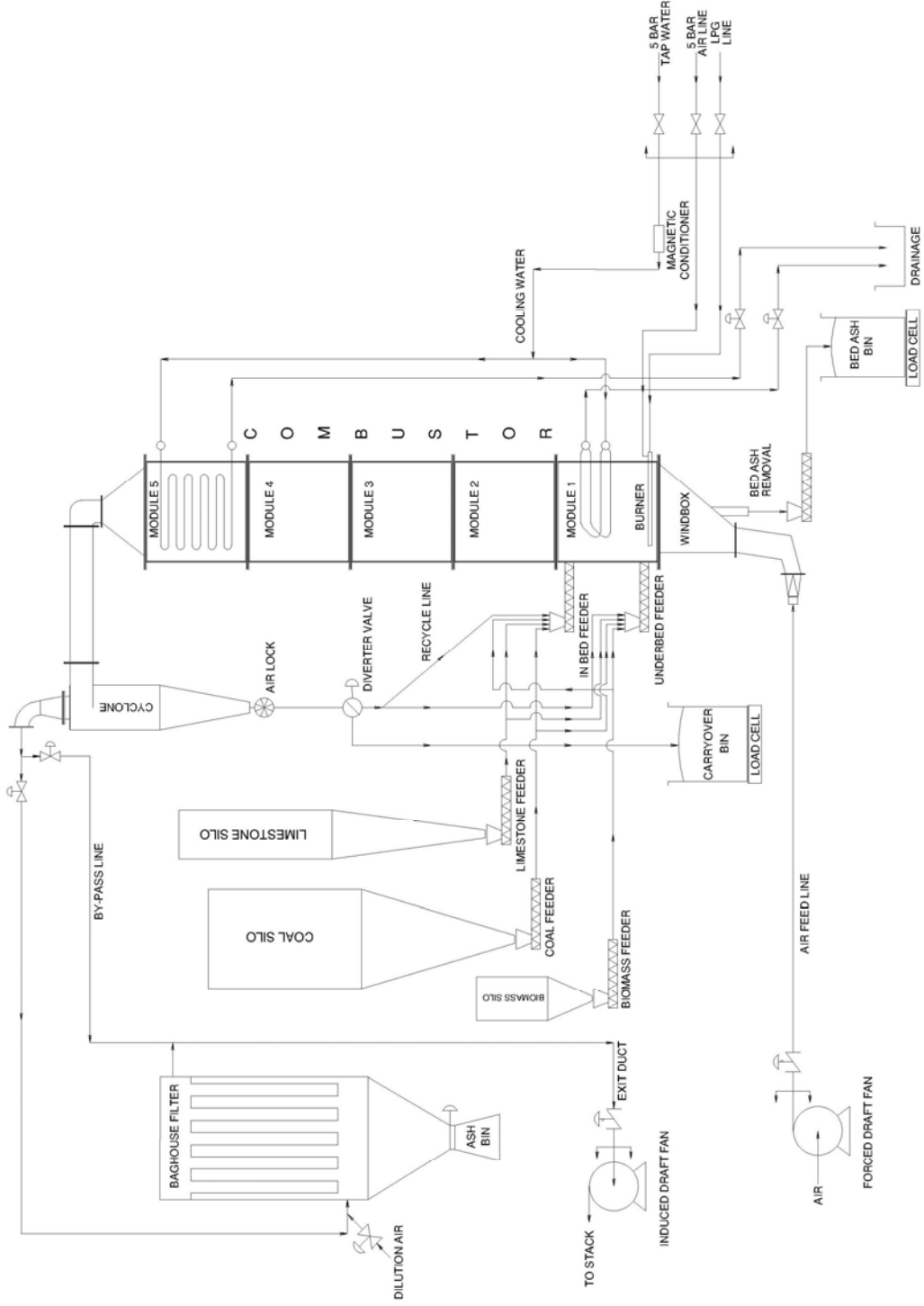
Proje kapsamında yapılan deneyler ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan 0.3 MW Atmosferik Kabarcıklı Akışkan Yataklı Yakıcı (AKAYY) test ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Test ünitesi esas olarak düşük kaliteli Türk linyitlerinin yanma ve desülfürizasyon karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla kurulmuş ve bugüne bir çok deneysel çalışma için kullanılmıştır. Bu nedenle, mevcut test ünitesinin biyokütle ve kömürün birlikte yakılması için modifiye edilmesi gerekmektedir. Söz konusu modifikasyonlar bu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

3.1 ODTÜ 0.3 MW Kabarcıklı Akışkan Yataklı Yakıcı Test Ünitesi

Şekil 3'te proses tasarımı ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nde yapılmış olan 0.3 MW AKAYY test ünitesinin proses akım şeması görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi test ünitesi temel olarak basma fanı, kül boşaltma sistemli hava kutusu, modüler yakıcı, geri döngü bağlantılı siklon, torba filtre, emme fanı ve bacadan oluşmaktadır. Yakıcı, değişik linyitlerin yakılabilmesi için modüler ve esnek bir yapıda tasarlanmış, birer metrelik beş modülden oluşmuştur. İç kesit alanı 0.45 m x 0.45 m olan bu modüllerin ilki yatak bölgesini, onu takip eden üçü serbest bölgeyi, sonuncusu ise soğutucuyu temsil etmektedir. Ünitenin iç yüzeyi ateş tuğlası ile kaplı olup dış yüzeyi yalıtılmıştır. Üniteye iki soğutma yüzeyi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi yatağı, diğeri serbest bölgeden çıkan gazı soğutmaktadır. Basma fanından sağlanan akışkanlaştırma havası sırasıyla hava kutusu ve dağıtıcı plakadan geçtikten sonra yatağa girer ve yataktaki malzemeyi akışkanlaştırır. Yakıcıdan çıkan yanma gazları içerdiği uçucu külün irilerini siklonda ve incelerini torba filtrede bırakarak emme fanı aracılığı ile bacaya verilmektedir. Torba filtrenin maksimum işletme sıcaklığı 260 °C olduğu için yanma gazlarının filtreye giriş sıcaklığı 220 °C'yi geçtiği zaman gazlar bypass hattından bacaya verilebilmektedir.

Kömür, biyokütle ve kireçtaşı, kendi silolarının altındaki hızı ayarlanabilen burgulu besleyicilerden geçerek dağıtıcı plakanın 22 cm veya 85 cm üzerindeki besleme noktasından yatağa verilir. Yatak külü, dağıtıcı plakaya bağlı olan drenaj borusu ile boşaltıcıya verilir. Yatak seviyesi bu boşaltıcı ile değiştirilebilir. Siklonda toplanan uçucu kül hava kilidi ile siklondan çekilir. Siklonda toplanan külün tamamı bir yönlendirici ile ya uçucu kül varillerine ya da yatağa geri döndürülür. Geri döngü oranı külün varillere ve yatağa geri besleme süreleri değiştirilerek ayarlanabilmektedir.

Gaz konsantrasyon ve sıcaklık profillerini çıkartmak amacıyla yakıcı boyunca 10 tane gaz sondası ve 14 tane de ısı çift yerleştirilmiştir. Bunlardan 4 gaz probu ve 5 ısı çift yatak modülünde diğerleri serbest bölgededir. Gaz örnekleme sondalarından çekilen gazlar elektrikle ısıtılmış hatlarla gaz şartlandırıcıya kadar getirildikten sonra şartlandırıcıda tanecik ve nemi alınmakta ve gaz analiz dolabına gönderilmektedir. Gaz analiz dolabında gaz numunesi soğutulmakta filtrelenmekte ve debisi ayarlandıktan sonra da gaz analizörlerine gönderilmektedir.



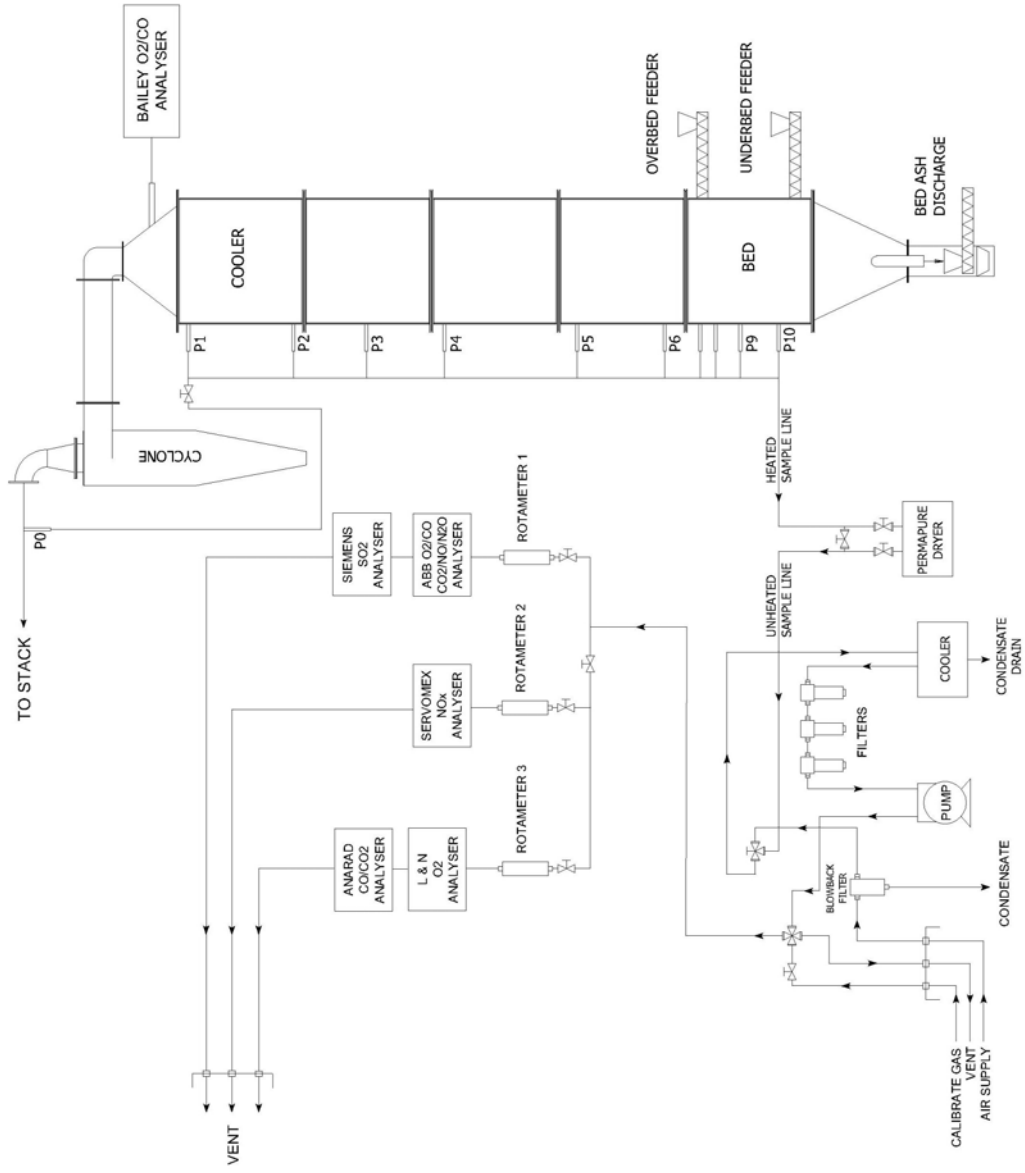
Şekil 3: ODTÜ 0.3 MW AKAYY ünitesinin proses akım şeması

Test ünitesinin gaz örnekleme ve şartlandırma sisteminin akım şeması Şekil 4’te gösterilmiştir. Şartlandırılan gaz numunesi birbirine seri bağlı 2 adet gaz analizöründen geçmektedir. Gaz önce ABB Advanced Optima 2000 sonra Siemens Ultramat 6 gaz analizörüne girmekte ve daha sonra atmosfere salınmaktadır. ABB Advanced Optima 2000 analizöründe CO₂, CO, NO ve N₂O derişimleri infrared (IR) yöntemle, O₂ ise paramanyetik yöntemle, Siemens Ultramat 6 analizöründe ise SO₂ derişimi dağıtıcı olmayan infrared (NDIR) yöntemle ölçülmektedir. Test ünitesinde ayrıca yakıcı çıkışında yerinde, ıslak bazda on-line O₂ ve CO ölçümü için bir Bailey SMA 90 analizörü bulunmaktadır. Bütün gaz analizörlerinde yapılan ölçümler 4-20 mA analog bağlantı aracılığıyla DCS sistemine gönderilmekte ve kaydedilmektedir. Test ünitesindeki gaz analizörlerin ölçüm aralıkları Tablo 2’de özetlenmiştir.

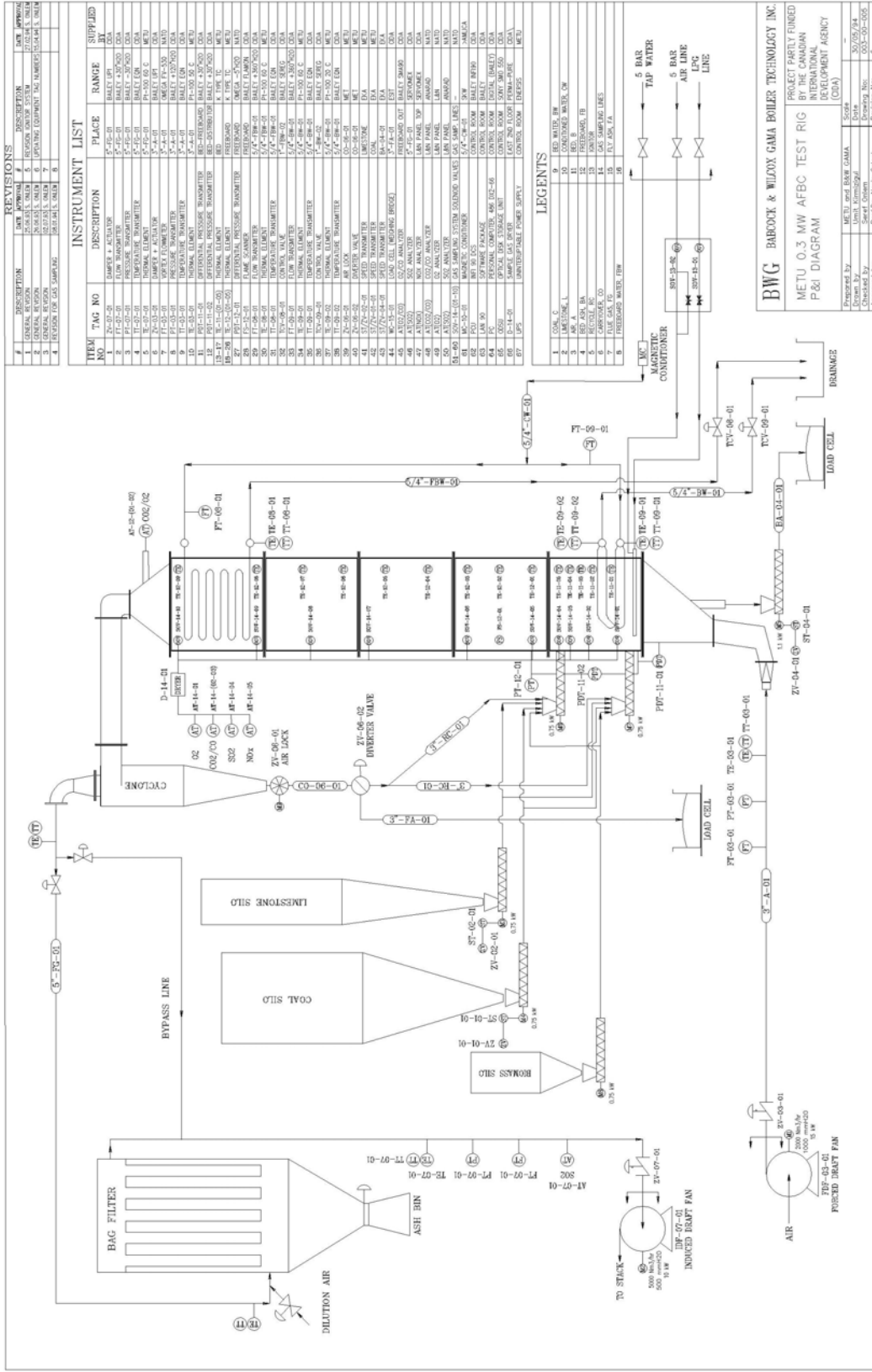
Tablo 2: Gaz analizörlerinin ölçüm aralıkları

Cihaz	Bileşen	Sensor Tipi	Ölçüm Aralığı
ABB Advanced Optima 2000	O ₂	Paramanyetik	0-10/0-25 % hacmen
	CO	IR	0-5 % hacmen
	CO ₂	IR	0-20 % hacmen
	NO	IR	0-1000/0-2000 ppmv
	N ₂ O	IR	0-500/0-1000 ppmv
Siemens Ultramat 6	SO ₂	NDIR	0-1 % hacmen
Bailey SMA 90	O ₂	Zirkonyum oksit	0-25 % hacmen
	CO	Katalitik RTD	0-2 % hacmen

Test ünitesinin proses ve enstrümantasyon şeması (P&ID) Şekil 5’te gösterilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi test ünitesi araştırma amacıyla birçok ölçüm cihazıyla donatılmıştır. Test ünitesi Bailey INFI 90 proses kontrol ve veri toplama ünitesine sahip olup bu ünite sayesinde gerçek zamanlı proses verisi izlenmekte, işlenmekte, kaydedilmekte ve IBM uyumlu PC 486 bilgisayarında QNX işletim sistemi üzerinde kurulu bulunan proses kontrol yazılımı Bailey LAN-90 Proses Kontrol Ekranı’nın yardımı ile toplanan veriler analiz edilmektedir. Kontrol sistemi, kendisine bağlı bütün enstrümanlardan gelen sinyalleri saniyeden daha küçük bir zaman diliminde tarayıp verileri kaydetmekte ve 30 saniye aralıklar ile bu verileri rapor etmektedir. Bailey INFI 90 sistemi ve bilgisayarı herhangi bir elektrik kesintisinde sistemin veri kaybı olmadan düzgün bir şekilde kapatılmasını sağlayabilmek amacıyla kesintisiz güç kaynağına bağlıdır.



Şekil 4: Gaz şartlandırma ve analiz sistemi



REVISIONS

NO.	DESCRIPTION	DATE	BY	APP'D.
1	GENERAL REVISION	20.04.15	U.S. OZDEMIR	27.04.15
2	GENERAL REVISION	20.04.15	U.S. OZDEMIR	27.04.15
3	GENERAL REVISION	20.04.15	U.S. OZDEMIR	27.04.15
4	REVISION FOR GAS SAMPLING	20.04.15	U.S. OZDEMIR	27.04.15

INSTRUMENT LIST

ITEM NO.	TAG NO.	DESCRIPTION	PLACE	RANGE	SUPPLIED BY
1	FT-02-01	DAMPERS + ACTUATOR	5" x 1/2" - 01	BAILEY LPT-01	BAILEY
2	FT-02-02	FLOW TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
3	FT-02-03	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
4	FT-02-04	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
5	FT-02-05	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
6	FT-02-06	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
7	FT-02-07	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
8	FT-02-08	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
9	FT-02-09	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
10	FT-02-10	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
11	FT-02-11	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
12	FT-02-12	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
13	FT-02-13	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
14	FT-02-14	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
15	FT-02-15	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
16	FT-02-16	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
17	FT-02-17	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
18	FT-02-18	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
19	FT-02-19	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
20	FT-02-20	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
21	FT-02-21	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
22	FT-02-22	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
23	FT-02-23	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
24	FT-02-24	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
25	FT-02-25	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
26	FT-02-26	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
27	FT-02-27	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
28	FT-02-28	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
29	FT-02-29	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
30	FT-02-30	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
31	FT-02-31	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
32	FT-02-32	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
33	FT-02-33	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
34	FT-02-34	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
35	FT-02-35	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
36	FT-02-36	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
37	FT-02-37	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
38	FT-02-38	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
39	FT-02-39	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
40	FT-02-40	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
41	FT-02-41	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
42	FT-02-42	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
43	FT-02-43	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
44	FT-02-44	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
45	FT-02-45	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
46	FT-02-46	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
47	FT-02-47	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
48	FT-02-48	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
49	FT-02-49	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
50	FT-02-50	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
51	FT-02-51	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
52	FT-02-52	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
53	FT-02-53	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
54	FT-02-54	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
55	FT-02-55	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
56	FT-02-56	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
57	FT-02-57	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
58	FT-02-58	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
59	FT-02-59	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
60	FT-02-60	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
61	FT-02-61	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
62	FT-02-62	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
63	FT-02-63	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
64	FT-02-64	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
65	FT-02-65	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
66	FT-02-66	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
67	FT-02-67	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
68	FT-02-68	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
69	FT-02-69	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
70	FT-02-70	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
71	FT-02-71	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
72	FT-02-72	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
73	FT-02-73	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
74	FT-02-74	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
75	FT-02-75	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
76	FT-02-76	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
77	FT-02-77	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
78	FT-02-78	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
79	FT-02-79	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
80	FT-02-80	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
81	FT-02-81	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
82	FT-02-82	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
83	FT-02-83	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
84	FT-02-84	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
85	FT-02-85	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
86	FT-02-86	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
87	FT-02-87	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
88	FT-02-88	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
89	FT-02-89	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
90	FT-02-90	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
91	FT-02-91	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
92	FT-02-92	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
93	FT-02-93	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
94	FT-02-94	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
95	FT-02-95	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
96	FT-02-96	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
97	FT-02-97	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
98	FT-02-98	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
99	FT-02-99	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY
100	FT-02-100	PRESSURE TRANSMITTER	5" x 1/2" - 01	BAILEY A-20000	BAILEY

LEGENDS

1	CONV. CO.
2	CONV. CO.
3	CONV. CO.
4	CONV. CO.
5	CONV. CO.
6	CONV. CO.
7	CONV. CO.
8	CONV. CO.
9	CONV. CO.
10	CONV. CO.
11	CONV. CO.
12	CONV. CO.
13	CONV. CO.
14	CONV. CO.
15	CONV. CO.
16	CONV. CO.
17	CONV. CO.
18	CONV. CO.
19	CONV. CO.
20	CONV. CO.
21	CONV. CO.
22	CONV. CO.
23	CONV. CO.
24	CONV. CO.
25	CONV. CO.
26	CONV. CO.
27	CONV. CO.
28	CONV. CO.
29	CONV. CO.
30	CONV. CO.
31	CONV. CO.
32	CONV. CO.
33	CONV. CO.
34	CONV. CO.
35	CONV. CO.
36	CONV. CO.
37	CONV. CO.
38	CONV. CO.
39	CONV. CO.
40	CONV. CO.
41	CONV. CO.
42	CONV. CO.
43	CONV. CO.
44	CONV. CO.
45	CONV. CO.
46	CONV. CO.
47	CONV. CO.
48	CONV. CO.
49	CONV. CO.
50	CONV. CO.
51	CONV. CO.
52	CONV. CO.
53	CONV. CO.
54	CONV. CO.
55	CONV. CO.
56	CONV. CO.
57	CONV. CO.
58	CONV. CO.
59	CONV. CO.
60	CONV. CO.
61	CONV. CO.
62	CONV. CO.
63	CONV. CO.
64	CONV. CO.
65	CONV. CO.
66	CONV. CO.
67	CONV. CO.
68	CONV. CO.
69	CONV. CO.
70	CONV. CO.
71	CONV. CO.
72	CONV. CO.
73	CONV. CO.
74	CONV. CO.
75	CONV. CO.
76	CONV. CO.
77	CONV. CO.
78	CONV. CO.
79	CONV. CO.
80	CONV. CO.
81	CONV. CO.
82	CONV. CO.
83	CONV. CO.
84	CONV. CO.
85	CONV. CO.
86	CONV. CO.
87	CONV. CO.
88	CONV. CO.
89	CONV. CO.
90	CONV. CO.
91	CONV. CO.
92	CONV. CO.
93	CONV. CO.
94	CONV. CO.
95	CONV. CO.
96	CONV. CO.
97	CONV. CO.
98	CONV. CO.
99	CONV. CO.
100	CONV. CO.

BWG BARBOCK & WILCOX GAMA BOILER TECHNOLOGY INC.
 PROJECT PARTLY FUNDED
 BY THE CANADIAN
 INTERNATIONAL
 DEVELOPMENT AGENCY
 (CIDA)

Prepared by: U.S. OZDEMIR
 Drawn by: Samed Ozdemir
 Checked by: Samed Ozdemir
 Approved by: Prof.Dr. Huzun Setek

Date: 30/05/14
 Drawing No: 003-01-005
 Revision No: 0

Şekil 5: ODTÜ 0.3 MW AKAYY ünitesinin proses ve enstrümantasyon şeması

3.2 Linyit, Biyokütle ve Kireçtaşı Karakteristikleri

Deneyler tipik bir Türk linyiti olan Çan linyiti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan linyit Çanakkale ilinin Çan yöresinden yaklaşık 1 tonluk büyük torbalarda temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan biyokütlelerden zeytin yağı ve pamuk artığı Aydın yöresinden, fındık kabuğu ise Akçakoca bölgesinden 40 kg'lık çuvallarda temin edilmişlerdir. Laboratuvara geldikten sonra kömür ve biyokütlelerden temsili olarak alınan örnekler tane boyutu dağılımı analizi ile kısa ve elementel analize tabii tutulmuşlardır. Deneylerde kullanılan biyokütlelerin fotoğrafları Şekil 6'te gösterilmektedir.

Kömür, kireçtaşı ve biyokütlelerin tane boyutu dağılımları ASTM test elekleri ile tayin edilmiştir. Kısa analizler LECO TGA-701 kullanılarak, elementel analizler ise LECO CHNS-932 kullanılarak tayin edilmiştir. Kömür ve biyokütlelerin ısı değerleri LECO AC-500 bomba kalorimetresiyle ölçülmüştür. Yapılan tüm analizlerin sonuçları ölçülen kaba yoğunluklar ve ısı değerleri ile birlikte Tablo 4 ve 5'te özetlenmiştir. Tablo 4'ten de görülebileceği gibi linyit yüksek kül içeriği (~ % 25) ve yüksek toplam kükürt içeriği (~ % 4) ile biyokütleler ise yüksek uçucu madde içerikleriyle (~% 75) karakterize olmaktadır. Linyit ve biyokütlelerin kül bileşenleri içerikleri Tablo 6'da verilmiştir. Kül içeriklerine göre, linyitin külü esas itibariyle asidik oksitlerde, biyokütlelerin külleri ise bazik oksitlerden oluşmaktadır.

Linyitin klor içeriği EDX (Energy Dispersive X-Ray Analysis) metodu kullanılarak JSM-6400 Elektron Mikroskopu (JEOL) ile biyokütlelerin klor içerikleri ise ED-XRF (Spectro Xepos) kullanılarak tayin edilmiştir. Klor analizlerinin sonuçları Tablo 3'te özetlenmiştir. Tablodan görülebileceği gibi gerek linyit gerekse biyokütleler oldukça düşük klor içeriğine sahiptirler.

Tablo 3: Yakıtların klor içerikleri, %

Zeytin artığı	0.11
Fındık kabuğu	0.02
Pamuk artığı	0.05
Linyit	0.06

Zeytin Artığı



Fındık Kabuğu



Pamuk Artığı



Şekil 6: Biyokütlelerin fotoğrafları

Tablo 4: Yakıt analizleri

Kısa Analiz (Özgül Örnek)	Test 1 Linyit	Test 2 Linyit	Test 3 Linyit	Test 4 Linyit	Test 5 Linyit	Test 6 Linyit	Test 7 Linyit	Test 8 Lignite	Test 9 Linyit	Test 10 Linyit	Zeytin Artığı	Fındık Kabuğu	Pamuk Artığı
Nem, %	16.35	16.48	16.98	16.60	16.75	17.19	16.05	17.14	17.05	17.47	6.07	7.62	6.93
Kül, %	28.78	26.74	24.56	22.68	23.89	25.29	24.36	27.46	27.06	24.29	4.24	1.46	5.38
Uçucu madde, %	29.79	31.05	31.58	32.52	32.04	31.22	32.17	30.36	30.97	31.44	75.69	73.04	75.57
Sabit karbon, %	25.17	25.74	26.88	28.20	27.33	26.30	27.42	25.04	24.93	26.80	14.00	17.89	12.14
ρ_{Bulk} , kg/m ³	905	905	905	905	905	905	905	905	905	905	591	320	364
Elementel Analiz (Kuru Örnek)													
C, %	44.60	44.93	45.42	43.81	44.83	46.47	42.22	41.92	39.87	40.04	50.22	49.77	46.79
H, %	3.95	4.09	4.37	3.86	4.00	4.26	4.23	4.01	3.89	3.84	6.38	5.86	6.48
N, %	1.09	1.14	1.11	1.16	1.20	1.15	1.01	0.96	0.88	0.98	1.72	0.56	4.40
O, % (farktan)	11.97	13.96	15.85	20.64	17.66	13.95	19.35	15.64	18.28	21.42	37.03	42.15	36.23
S _{Yanabilir} , %	3.98	3.86	3.67	3.34	3.61	3.63	4.17	4.33	4.46	4.29	0.14	0.08	0.32
Kül, %	34.41	32.02	29.58	27.19	28.70	30.54	29.02	33.14	32.62	29.43	4.51	1.58	5.78
S _{Toplam} , %	4.17	4.07	3.67	3.92	3.66	3.63	4.17	4.33	4.46	4.35	0.14	0.11	0.32
AİD, MJ/kg	12.3	13.3	13.6	14.6	14.0	13.4	13.9	12.5	12.5	13.4	18.1	17.5	17.4

Tablo 5: Yakıtların tane boyutu dağılımları

Elek Açıklığı, mm	Test 1 Linyit	Test 2 Linyit	Test 3 Linyit	Test 4 Linyit	Test 5 Linyit	Test 6 Linyit	Test 7 Linyit	Test 8 Lignite	Test 9 Linyit	Test 10 Linyit	Zeytin Artığı	Fındık Kabuğu	Pamuk Artığı
19.000													0.000
16.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.668
12.700	1.078	2.033	0.504	0.879	0.458	0.954	1.293	1.267	0.880	1.091	0.880	9.040	6.351
8.000	3.042	8.434	3.986	3.897	4.450	8.145	8.138	5.059	7.186	3.788	7.186	64.454	31.647
6.300	4.896	9.236	7.816	9.837	7.982	11.764	8.862	7.101	6.399	5.155	0.000	13.874	12.523
4.750	6.103	10.413	10.167	11.444	10.380	13.420	9.685	7.810	5.935	6.152	0.128	5.841	7.596
3.350	16.859	23.378	25.301	29.548	26.056	27.003	23.405	18.750	13.784	16.308	11.966	5.157	14.561
2.000	13.565	13.265	14.438	14.233	14.099	13.124	12.980	13.200	10.686	13.340	21.510	0.633	7.896
1.000	21.478	14.160	15.462	13.321	15.252	11.475	14.530	17.778	18.022	20.997	20.840	0.307	7.903
0.500	10.851	5.553	6.248	4.839	6.142	3.949	6.163	9.069	11.099	11.408	13.599	0.189	2.986
0.355	5.823	2.687	3.242	2.259	3.167	1.931	3.166	4.929	6.580	6.185	9.314		
0.180	5.553	2.555	3.541	2.498	3.298	1.918	3.258	5.173	7.280	6.441	9.327	0.055	5.495
0.106	4.094	2.681	3.960	3.431	3.950	2.120	2.931	3.495	4.635	3.716	6.177		
0.000	6.659	5.606	5.334	3.815	4.766	4.198	5.588	6.367	7.515	5.420	7.139	0.452	1.374

Tablo 6: Yakıtların kül analizleri

% ağırlıkça	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Zeytin	Fındık	Pamuk
	Linyit	Linyit	Linyit	Linyit	Linyit	Linyit	Linyit	Lignite	Linyit	Linyit	Artığı	Kabuğu	Artığı
SiO ₂	57.29	56.56	51.33	55.26	52.70	50.02	51.43	51.91	55.55	50.11	31.19	2.28	0.00
Al ₂ O ₃	19.67	17.49	21.84	20.43	19.14	23.81	22.80	21.83	21.35	22.57	5.29	2.59	0.81
Fe ₂ O ₃	12.05	10.99	10.59	10.42	11.26	12.03	12.28	12.15	11.71	11.46	5.17	7.11	4.95
CaO	4.85	9.21	9.06	7.50	7.78	8.19	7.26	7.92	5.42	7.79	17.52	38.84	10.83
MgO	0.82	0.57	0.63	0.59	0.52	0.63	0.52	0.58	0.53	0.55	2.51	6.60	14.77
SO ₃	2.00	2.05	3.49	2.63	5.23	2.43	2.23	2.31	2.71	4.24	2.64	5.50	0.00
Na ₂ O	1.58	1.45	1.24	1.34	1.62	1.05	1.59	1.60	1.05	1.51	5.21	7.40	10.29
K ₂ O	0.21	0.31	0.27	0.19	0.21	0.24	0.26	0.33	0.20	0.18	27.95	27.86	57.51
TiO ₂	1.53	1.38	1.55	1.63	1.54	1.59	1.63	1.37	1.48	1.58	2.52	1.81	0.85

3.3 İşletme Koşulları

Linyit biyokütle karışımı içindeki biyokütle payının test ünitesinin emisyon performansına etkisini araştırmak için kireçtaşı katkısız/katkılı değişik biyokütle paylarında toplam 10 test yapılmıştır. Test 1’de kömür kireçtaşı katkısız ve biyokütle ilavesiz olarak yakılmıştır. Test 2’de ise kömür biyokütle ilavesi olmadan sadece kireçtaşı katkısıyla yakılmıştır. Test 3, 4 ve 5’te ise kömür kireçtaşı katkılı olarak ağırlıkça % 15, 31 ve 49 zeytin artığı ilavesiyle, zeytin artığı ile birlikte yakılmıştır. Test 6, 7 ve 8’de ise kömür kireçtaşı katkılı olarak ağırlıkça % 11, 30 ve 42 fındık kabuğu ilavesiyle, fındık kabuğu ile birlikte yakılmıştır. Son olarak Test 9 ve 10’da ise kömür kireçtaşı katkılı olarak ağırlıkça % 30 ve 41 pamuk artığı ilavesiyle, pamuk artığı ile birlikte yakılmıştır. Testlerin toplam süresi yaklaşık 40 saati bulmuştur. Test süreleri Tablo 7’de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi testin başlangıcında yaşanan besleme sorunlarından dolayı en kısa deney Test 10 olmuştur. Tüm testlerde linyit biyokütle karışımı kendi külü içinde yanmıştır. Testlerin işletme koşulları Tablo 8’de özetlenmiştir. Testler boyunca, biyokütle payı dışındaki parametreler mümkün olabildiğince sabit tutulmaya çalışılmış, aynı test boyunca ise biyokütle payı sabit tutulmuştur. Tüm testlerde yakıt beslemesi uzun yatakta kalış süreleri sağlayabilmek amacıyla dağıtıcı plakanın 22 cm üzerindeki yatak içi besleyicisinden yapılmıştır.

Tablo 7: Test süreleri

Test 1	5 saat 52 dakika
Test 2	6 saat 5 dakika
Test 3	3 saat 58 dakika
Test 4	2 saat 13 dakika
Test 5	2 saat 29 dakika
Test 6	3 saat 28 dakika
Test 7	1 saat 56 dakika
Test 8	1 saat 4 dakika
Test 9	1 saat 31 dakika
Test 10	22 dakika

Tablo 8: İşletme koşulları

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
Kömür debisi, kg/h	76.5	68.7	56.6	40.9	30.2	54.3	41.0	32.4	46.0	35.7
Biyokütle debisi, kg/h	0.0	0.0	10.0	18.8	28.8	7.0	17.2	23.3	19.7	25.2
Biyokütle payı, % ağırlıkça	0	0	15	31	49	11	30	42	30	41
Biyokütle payı (ısı bazda), %	0	0	19	36	55	14	35	50	37	48
Kireçtaşı debisi, kg/h	0.0	22.4	19.1	13.9	11.2	18.6	14.1	13.9	16.7	12.9
Ca/S oranı (toplam S baz alınarak)	0	2.7	3.1	2.9	3.3	3.2	2.8	3.3	2.7	2.7
Yatak altı kütle debisi, kg/h	6.9	8.3	8.0	3.6	1.5	5.5	2.5	2.2	5.5	0.0
Siklon kütle debisi, kg/h	14.2	19.4	16.6	12.5	11.0	17.1	14.5	12.1	17.3	18.0
Torba filtre kütle debisi, kg/h	0.4	1.2	0.8	1.3	1.7	1.0	1.4	1.9	0.0	0.0
Hava debisi, kmol/h	16.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.2	14.0	14.0	14.1	15.0
Baca gazı debisi, kmol/h	16.8	14.6	14.5	14.2	14.3	14.4	14.1	14.3	14.5	15.1
Hava fazlası, %	23	21	18	23	28	20	21	22	10	21
Gaz hızı, m/s	2.2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0

Tablo 8: İşletme koşulları (Devamı)

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
Ortalama yatak sıcaklığı, °C	894	848	860	846	852	857	853	854	860	857
Ortalama serbest bölge sıcaklığı, °C	866	817	839	832	849	831	832	835	849	843
Yatak yüksekliği, m	1.02	1.12	1.18	1.14	1.10	1.22	1.16	1.10	1.15	1.15
ΔP_{Yatak} , cm H ₂ O	54	63	65	63	61	66	63	60	65	63
$\Delta P_{\text{Dağıtıcı plakalar}}$, cm H ₂ O	11	11	11	12	12	12	12	12	13	13
Yatak yüzey basıncı, cm H ₂ O	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Yatak soğutma suyu debisi, kg/h	3629	2842	3435	3378	3165	3094	3526	4073	3301	4802
Serbest bölge soğutma suyu debisi, kg/h	1792	2767	2917	2884	2691	2634	2840	2423	3281	3170
Soğutma suyu giriş sıcaklığı, °C	12.9	13.0	12.9	12.9	12.9	13.0	12.9	13.0	12.9	13.0
Yatak soğutma suyu çıkış sıcaklığı, °C	35.5	40.3	37.0	37.0	39.0	40.4	37.2	34.2	39.4	31.2
Serbest bölge soğutma suyu çıkış sıcaklığı, °C	41.2	28.1	27.7	27.7	29.6	29.2	27.7	30.7	26.9	27.0

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Biyokütle türü ve yakıt karışımı içindeki biyokütle payının yanma ve emisyon performansına etkisi tane boyut dağılımları, kül analizleri ve dağılım oranı, yanma verimi, kükürt giderme verimi, yakıcı boyunca sıcaklık profili ve emisyonlar açısından incelenmiştir. Çan linyiti deneylere baz oluşturması açısından önce kireçtaşı katkısız daha sonra kireçtaşı katkılı (Test 1 ve 2) olarak yakılmıştır. Deneylerin devamında Çan linyiti kireçtaşı katkılı olarak ağırlıkça % 15, 31 ve 49 zeytin artığı ile (Test 3, 4 ve 5), ağırlıkça % 11, 30 ve 42 fındık kabuğu ile (Test 6, 7 ve 8) ve son olarak ağırlıkça % 30 ve 41 pamuk artığı ile (Test 9 ve 10), linyit/biyokütle karışımının kendi külü içinde yakılmıştır. Deneyler boyunca yakıt içindeki biyokütle payı dışındaki parametreler mümkün olduğunca sabit tutulmuş olup bir testten diğerine geçişte sadece yakıt içindeki biyokütle payı değiştirilmiştir.

4.1 Tane Boyut Dağılımları

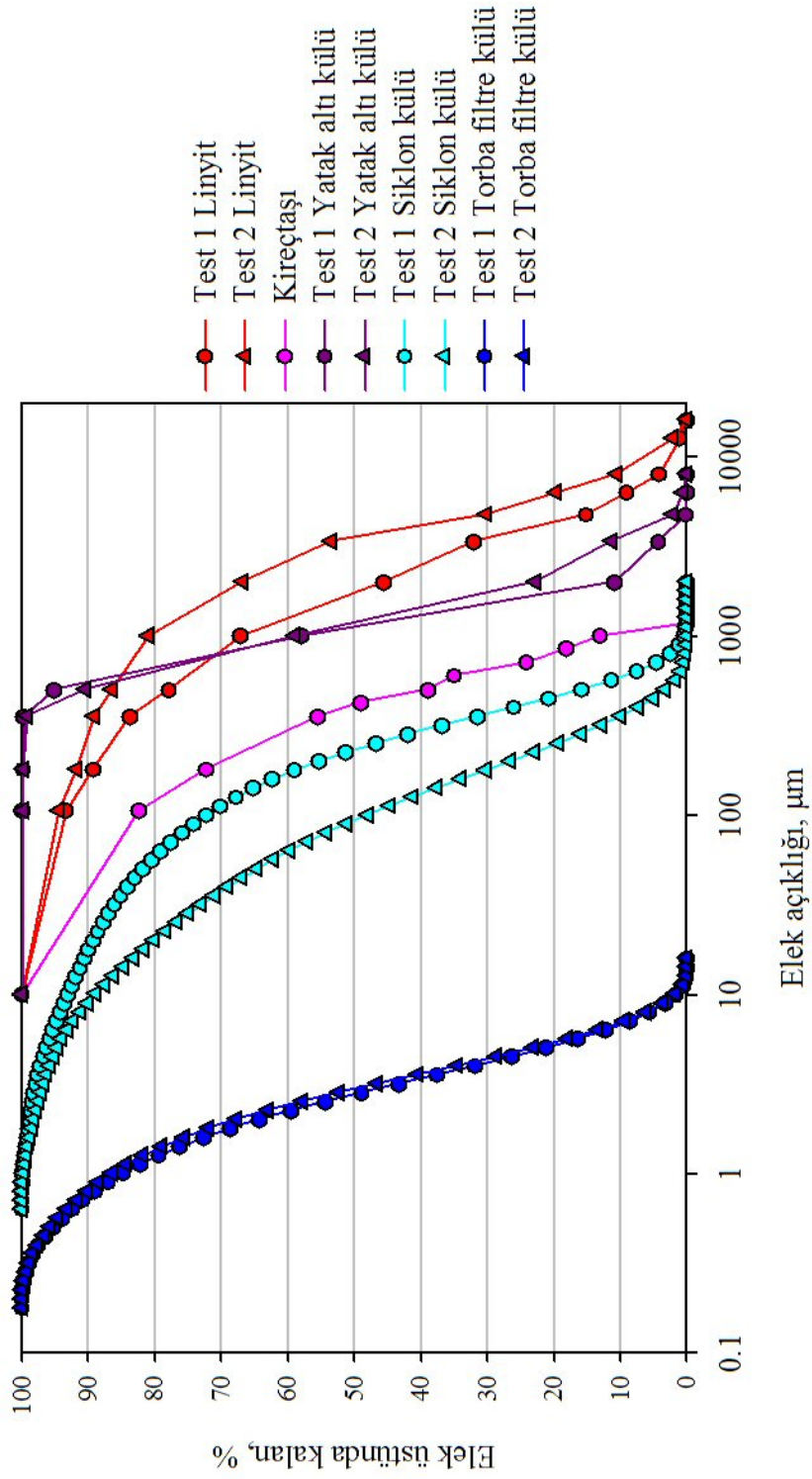
Linyitin kireçtaşı katkılı ve katkısız yakıldığı testlerdeki (Test 1 ve 2) yakıcıya giren ve çıkan akımların tane boyutu dağılımları Şekil 7’te gösterilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi tane boyutu beklenildiği şekilde şu sırayla azalmaktadır: linyit, yatak altı külü, siklon külü ve torba filtre külü. Test 2’de ince kireçtaşı ilavesi ile Test 2’nin siklon külü tane boyutu Test 1’in siklon külü tane boyutuna kıyasla küçülmüştür. Bu durum ince kireçtaşı tanelerinin gazla taşınmasından kaynaklanmaktadır

Biyokütle ile linyitin birlikte yakıldığı testlerin yakıcıya giren ve çıkan akımlarının tane boyut dağılımları Şekil 8, 9 ve 10’da kireçtaşı katkılı sadece linyit yakılan test (Test 2) ile birlikte gösterilmiştir. Bu şekillerde kireçtaşı katkılı sadece linyit yakılan test (Test 2) referans durumu temsil etmektedir. Şekil 8 zeytin artığı ilavesi ile yapılan testler ile referans durumun tane boyutu dağılımlarını göstermektedir. Yakıtta zeytin artığı ilave edilmesi her ne kadar zeytin artığının tane boyutunun linyitin tane boyutundan küçük olmasına rağmen, kireçtaşı katkılı sadece kömür yakılan (Test 2) referans duruma göre daha iri siklon külü tanelerinin oluşmasına yol açmıştır. Bu durum zeytin artığının yığın yoğunluğunun (591 kg/m^3) linyitin yığın yoğunluğundan (905 kg/m^3) daha düşük olması sonucu gazla taşınan taneciklerin boyutlarının artmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yakıt karışımı içinde artan zeytin artığı payı ile azalan kireçtaşı debisi de siklon külündeki ince tanelerin azalmasına yol açmıştır.

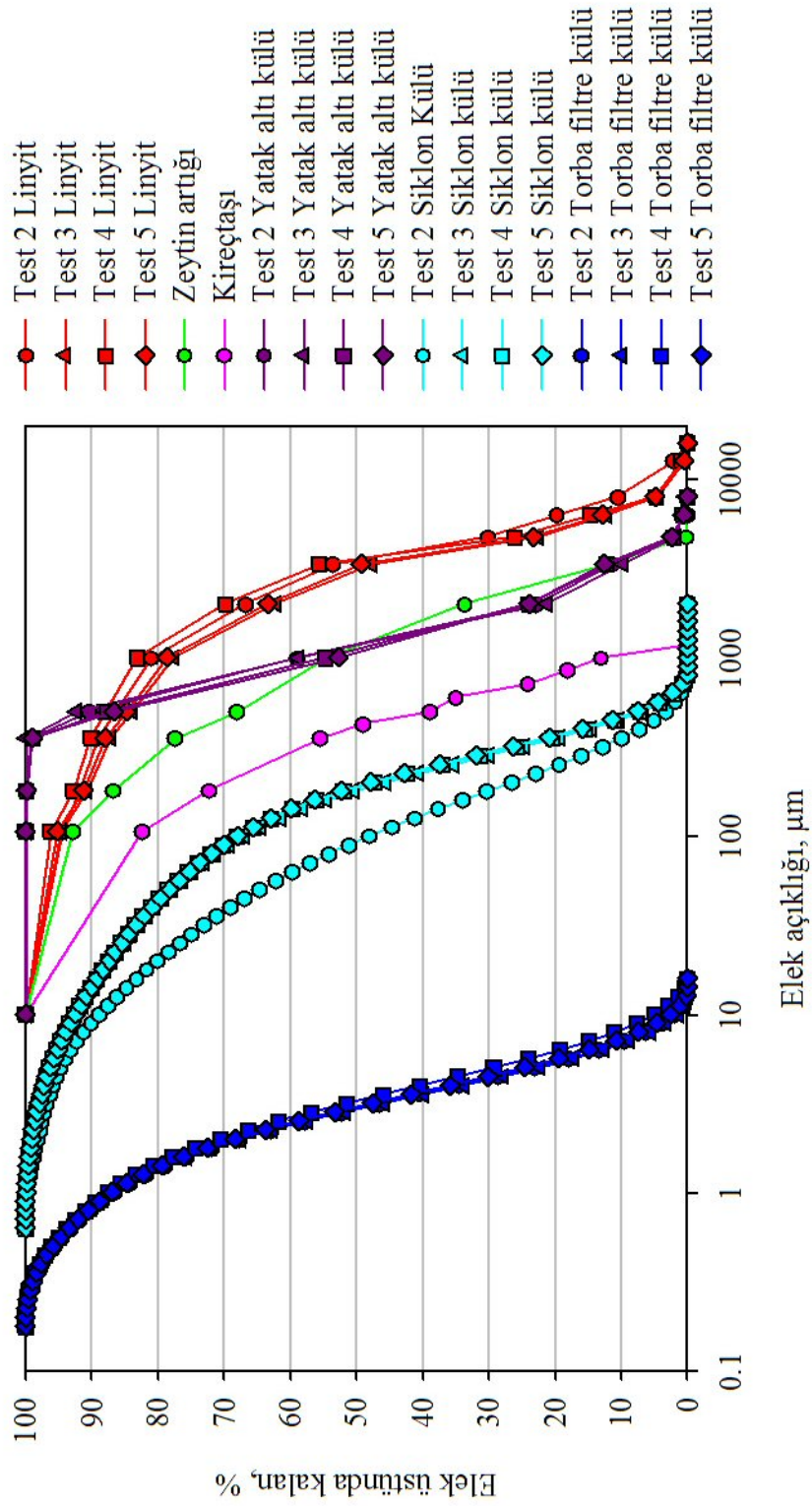
Yakıt karışımı içindeki zeytin artığı payının % 15'den % 49'a artışı kül akımlarının (yatakaltı, siklon ve torba filtre) tane boyut dağılımlarında hemen hemen hiç bir değişikliğe yol açmamıştır. Şekil 9 fındık kabuğu ilavesi ile yapılan testler ile referans durumun tane boyutu dağılımlarını göstermektedir. Şekilden görülebileceği kayda değer tek etki özellikle yakıt karışımında yüksek fındık kabuğu payının olduğu durumda siklon külü tane boyut dağılımında görülmektedir. Bu durum fındık kabuğunun düşük yığın yoğunluğundan (320 kg/m^3) ve linyite kıyasla daha büyük tane boyutuna sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Son olarak Şekil 10 pamuk artığı ile linyitin birlikte yakıldığı testlerin yakıcıya giren ve çıkan akımlarının tane boyut dağılımlarını göstermektedir. Pamuk artığı ile yapılan testlerdeki tane boyutu dağılımları fındık kabuğu ile yapılanlarla benzer bir eğilim göstermektedir.

4.2 Kül Bilançosu ve Dağılım Oranları

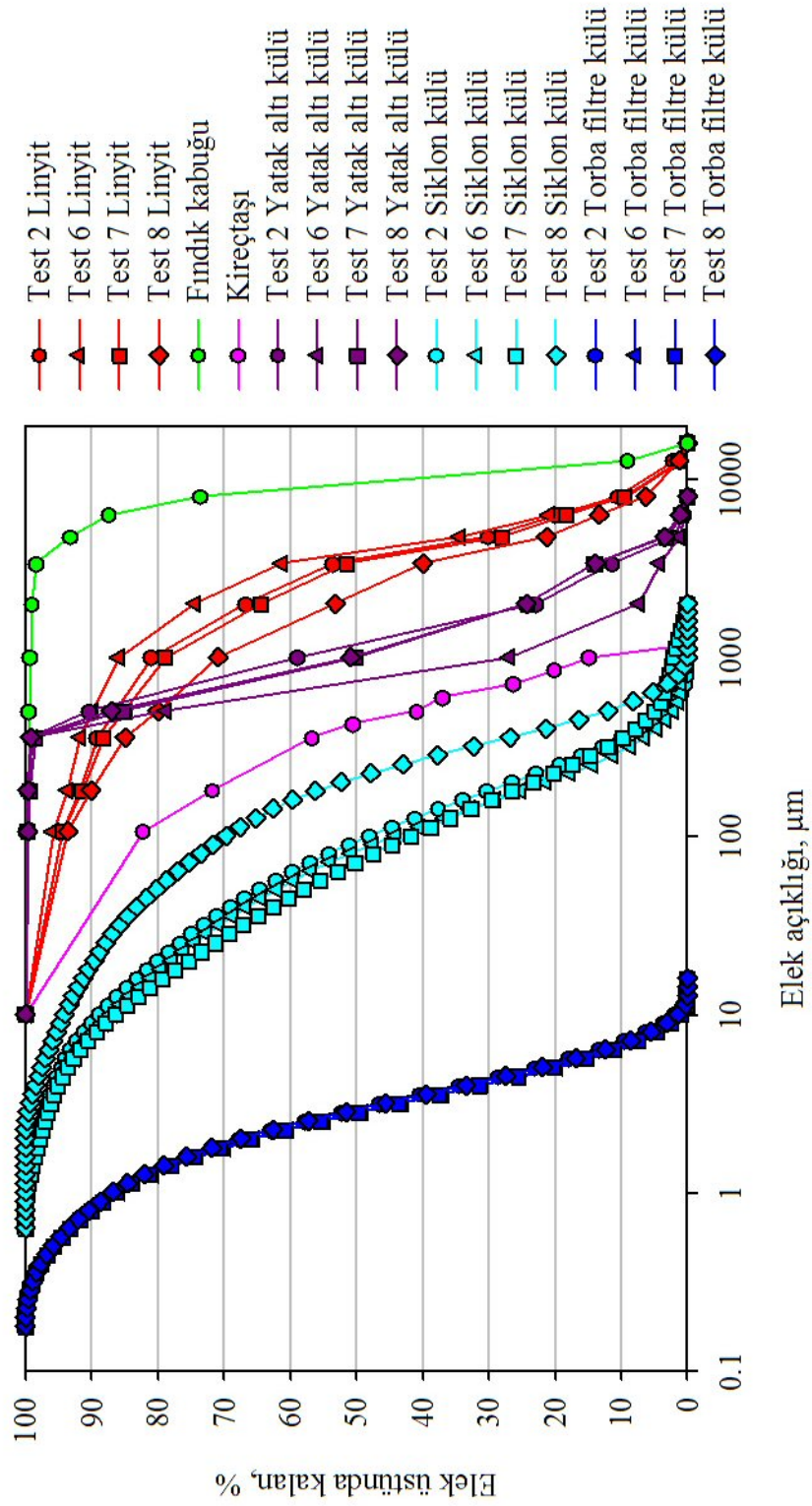
Tüm testler için yakıcı üzerinde yapılan kül bilançosu Tablo 9'da verilmiştir. Tablodan görülebileceği gibi teslerdeki kül geri kazanma oranları birbirleriyle tutarlı olup oranlar % 90'ın üzerindedir. Literatürde rapor edilen kül geri kazanma oranlarıyla karşılaştırıldıklarında ve ayrıca akışkan yataklı yakıcılar üzerinde yapılan toplam katı malzeme bilançolarının kapanmasındaki zorluk göz önüne alındığında, tüm testlerdeki kül bilançolarının kapanma oranları kabul edilebilir seviyededir. Linyit yakılan testlerde yakıcıdan çıkan külün yaklaşık % 70'i uçucu kül olup biyokütle ilavesiyle bu oran daha da artmıştır. Zeytin artığı ile yapılan testlerde, yakıt karışımı içindeki zeytin artığı payının % 15'ten % 49'a artışı toplam çıkan kül içindeki uçucu kül oranının % 69'dan % 89'a artmasına yol açmıştır. Benzer eğilim fındık kabuğu ile yapılan birlikte yanma testlerinde de gözlemlenmiştir. Yakıt karışımı içindeki fındık kabuğu payının % 11'den % 42'ye artışı toplam çıkan kül içindeki uçucu kül oranının % 77'den % 87'ye artmasına yol açmıştır. Pamuk artığı ile yapılan birlikte yanma testlerinde ise, toplam çıkan kül içindeki uçucu kül oranı, yakıt karışımı içindeki pamuk artığı oranı % 30 olduğunda % 76 olup, yakıt karışımı içindeki pamuk artığı oranı % 42'ye arttırıldığında hemen hemen oluşan tüm kül yakıcıyı uçucu kül olarak terk etmiştir. Yakıt karışımına biyokütle ilavesi ile yakıcıdan çıkan külün dağılımının yatak altı külünden uçucu küle kayması esas itibariyle biyokütlelerin yığın yoğunluğunun linyite kıyasla daha düşük olmasından ve bunun neticesinde de gazla taşınan tanecik miktarının artmasından kaynaklanmaktadır.



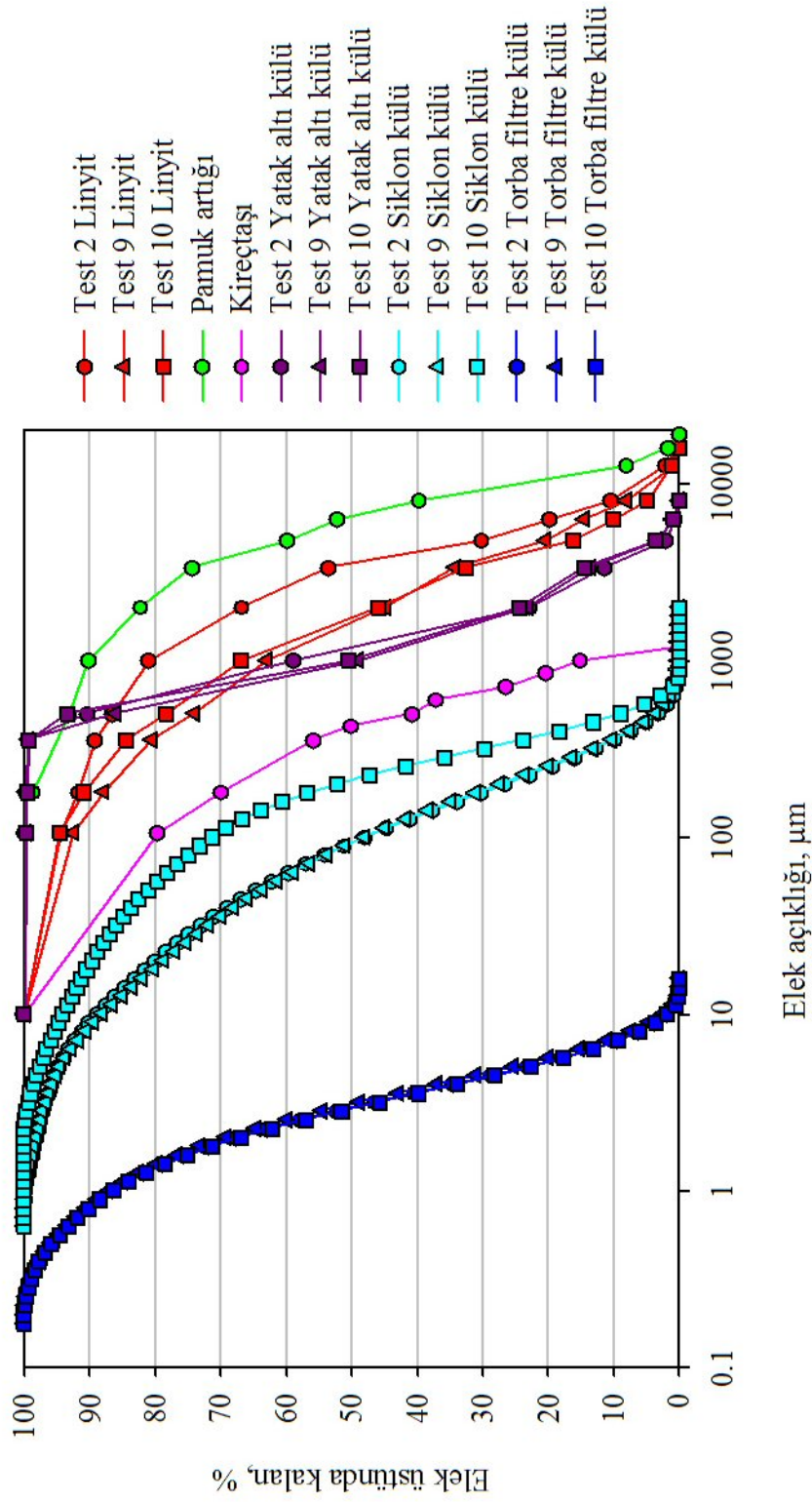
Şekil 7: Test 1 ve 2'deki tüm akımların tane boyutu dağılımları



Şekil 8: Test 2, 3, 4 ve 5'teki tüm akımların tane boyutu dağılımları



Şekil 9: Test 2, 6, 7 ve 8'deki tüm akımların tane boyutu dağılımları



Şekil 10: Test 2, 9 ve 10'daki tüm akımların tane boyutu dağılımları

Tablo 9: Kül bilançosu ve dağılım oranları

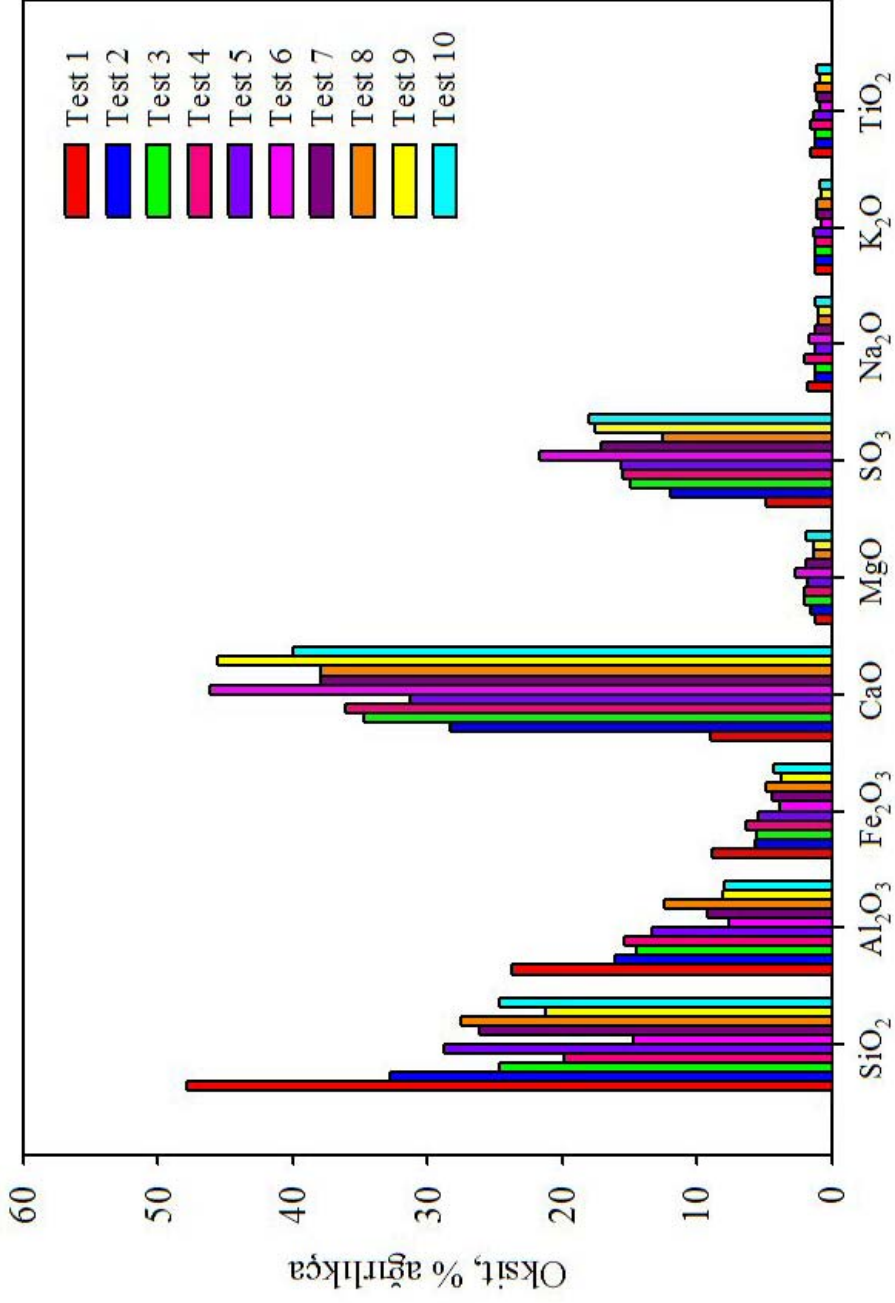
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
Giren (kg/h)										
Kömür külü	22.01	18.37	13.91	9.26	7.21	13.74	10.00	8.90	12.45	8.68
Biyokütle külü	0.00	0.00	0.42	0.80	1.22	0.10	0.25	0.34	1.06	1.35
Kireçtaşı	0.00	12.92	11.03	8.03	6.82	10.71	8.12	8.01	9.60	7.44
Toplam Giren Katı	22.01	31.29	25.37	18.09	15.25	24.55	18.37	17.25	23.11	17.47
Çıkan (kg/h)										
Yatak altı külü	6.91	8.28	7.97	3.55	1.50	5.51	2.50	2.16	5.53	0.00
Siklon külü	14.15	19.36	16.61	12.45	10.95	17.11	14.47	12.09	17.25	18.00
Torba filtre külü	0.39	1.20	0.75	1.31	1.71	1.01	1.41	1.93	0.00	0.00
Toplama Çıkan Katı	21.45	28.84	25.33	17.31	14.16	23.63	18.38	16.18	22.78	18.00
Kül Balansı Dengesi, %	98	92	100	96	93	96	100	94	99	103
Uçucu Kül Dağılım Oranı, %	68	71	69	80	89	77	76	87	76	100

4.3 Kül Analizleri

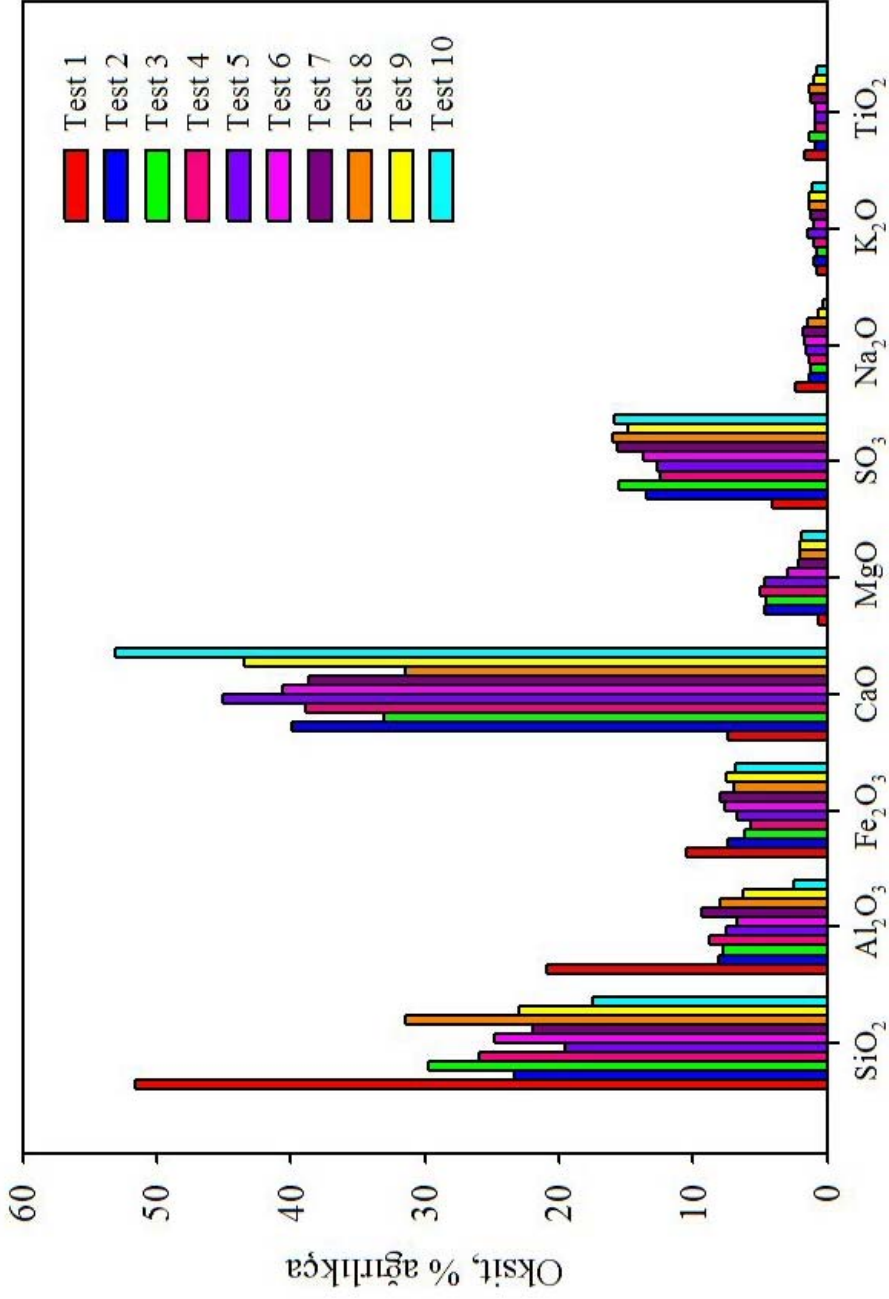
Yatak altı, siklon ve torba filtre küllerinin analizleri Şekil 11, 12 ve 13'te sırasıyla gösterilmiştir. Kül akımlarının analizleri incelendiğinde, yatak altı, siklon ve torba filtre küllerinde oksit miktarlarının benzer olduğu görülmektedir. Ayrıca şekillerde görülebileceği gibi, biyokütle ilavesiyle kül içindeki SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 miktarları biyokütlenin tipinden bağımsız olarak azalmıştır. Yapıtılan EDX ve XRD analizlerinde külde klor bulunmadığı tesbit edilmiştir.

4.4 Sıcaklık Dağılımları

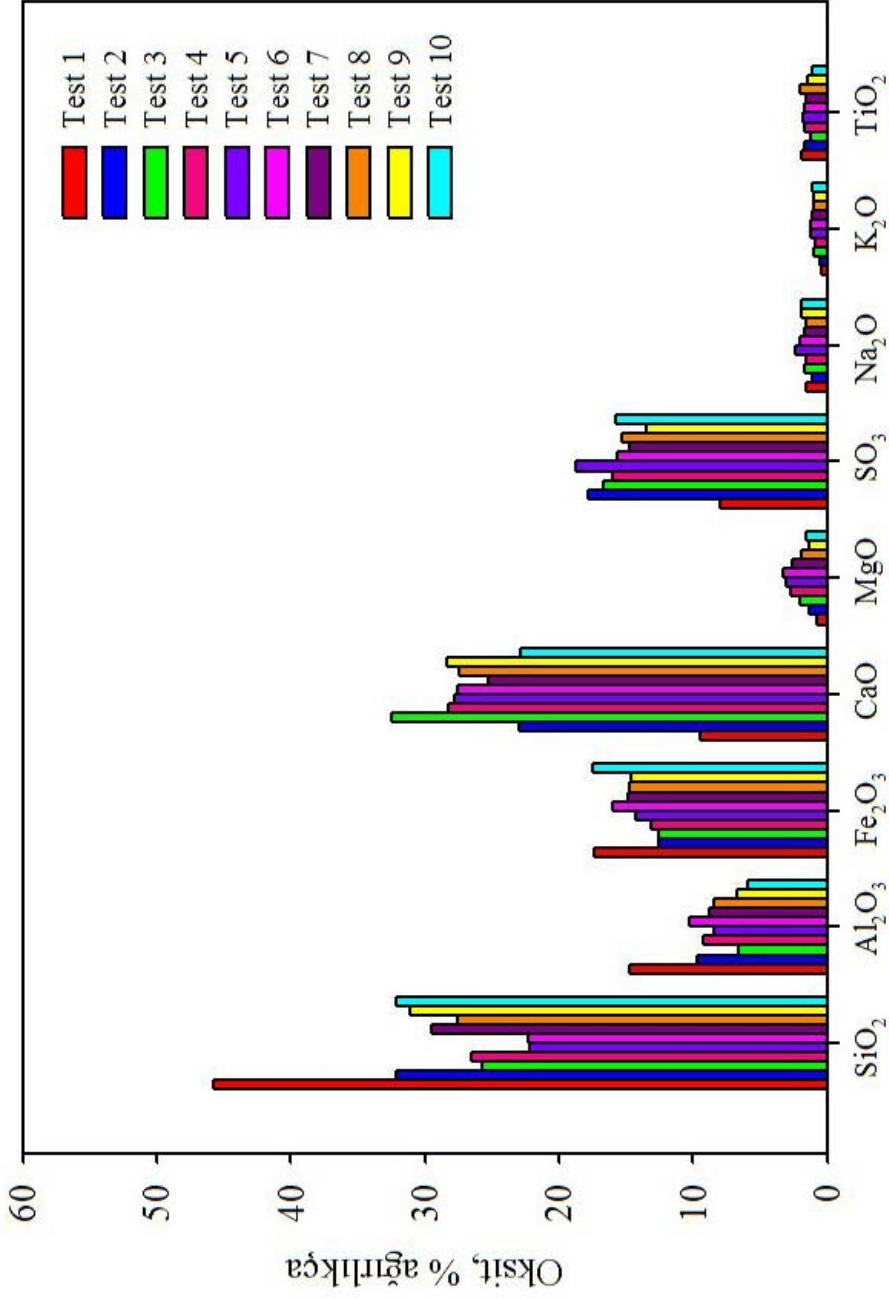
Kireçtaşı ilaveli ve ilavesiz linyit yakılan testlerdeki (Test 1 ve 2) yakıcı boyunca yapılan sıcaklık ölçümleri Şekil 14'te gösterilmiştir. Kireçtaşı katkılı ve katkısız deneylerin yakıcı boyunca sıcaklık profilleri incelendiğinde kireçtaşı ilavesiyle gerek yatak gerekse serbest bölgede sıcaklıkların kayda değer miktarda düştüğü görülmektedir. Kireçtaşı ilavesiyle sıcaklığın düşüşü beklenen bir durum olup sisteme ilave soğuk katı beslenmesi ve kireçtaşının kalsinasyon için ısıya ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır. Yakıcının çıkışına doğru sıcaklıklarda görülen azalma ise yakıcının son modülünde bulunan soğutma tüplerinden kaynaklanmaktadır. Zeytin artığı ilavesinin sıcaklık profillerine etkisi Şekil 15'te gösterilmiştir. Şekilde 'ZA' zeytin artığının kısaltması olarak kullanılmıştır. Referans durumla (Test 2) yapılan kıyaslama yakıt karışımı içinde artan zeytin artığı payı ile özellikle serbest bölgede sıcaklıkların çok hafif arttığını göstermiştir. Bu durum daha önce yapılan çalışmalar (LECKNER, 1993, CLIFFE, 2001) ile uyum içerisinde olup zeytin artığının yüksek uçucu madde içeriğinden (özgün örnekte % 76) kaynaklanmaktadır. Fındık kabuğu ilavesinin sıcaklık profillerine etkisi ise Şekil 16'da gösterilmiştir. Şekilde 'FK' fındık kabuğunun kısaltması olarak kullanılmıştır. Referans durumla (Test 2) yapılan kıyaslama yakıt karışımı içinde artan fındık kabuğu payı ile özellikle serbest bölgede sıcaklıkların çok hafif arttığını ancak serbest bölge sıcaklıklarının fındık kabuğu payından bağımsız olarak sabit kaldığını göstermiştir. Son olarak, pamuk artığı ilavesinin sıcaklık profillerine etkisi ise Şekil 17'de gösterilmiştir. Şekilde 'PA' pamuk artığının kısaltması olarak kullanılmıştır. Referans durumla (Test 2) yapılan kıyaslama yakıt karışımı içinde artan pamuk artığı payı ile özellikle serbest bölgede sıcaklıkların çok hafif arttığını ancak serbest bölge sıcaklıklarının fındık kabuğu payından bağımsız olarak sabit kaldığını göstermiştir.



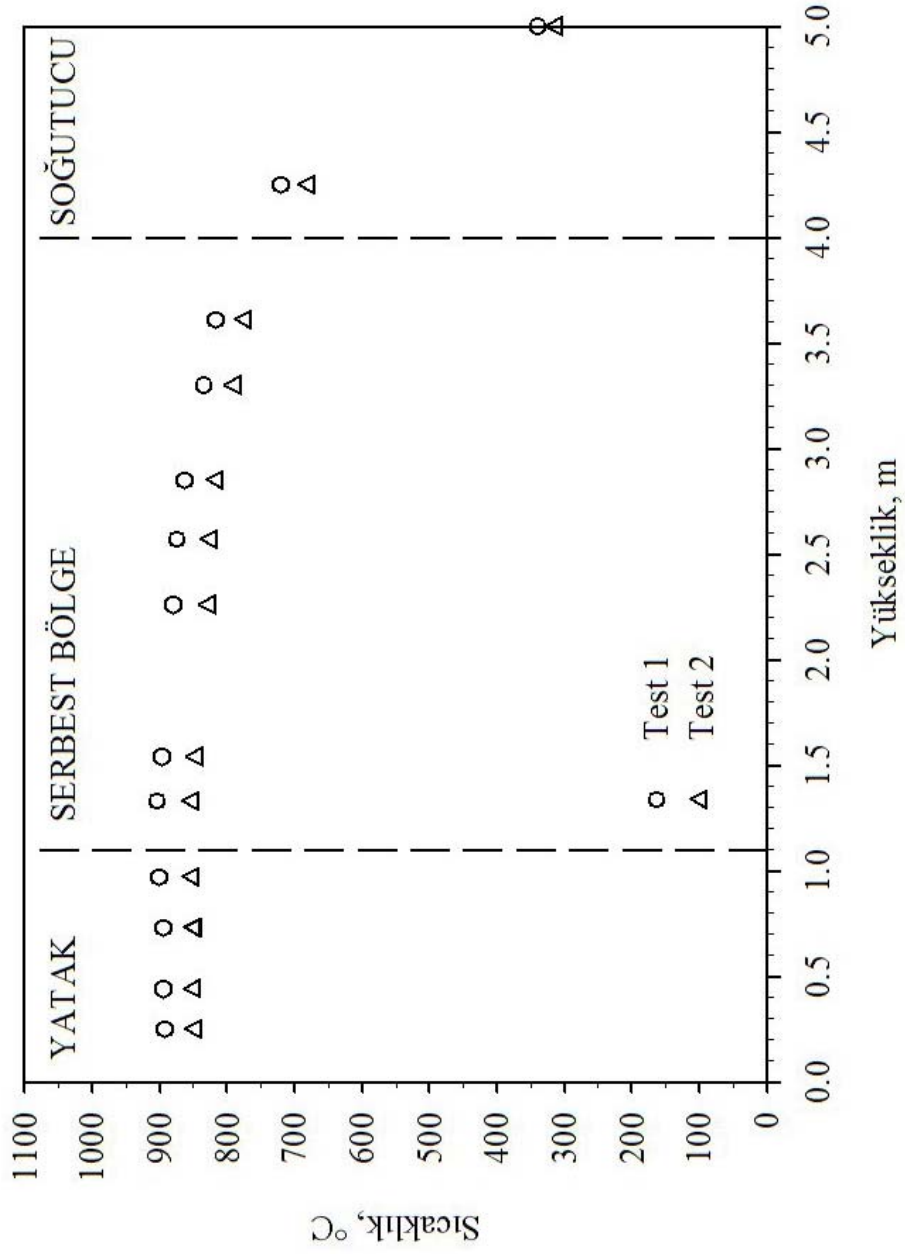
Şekil 11: Tüm deneylerin yatak altı külü analizleri



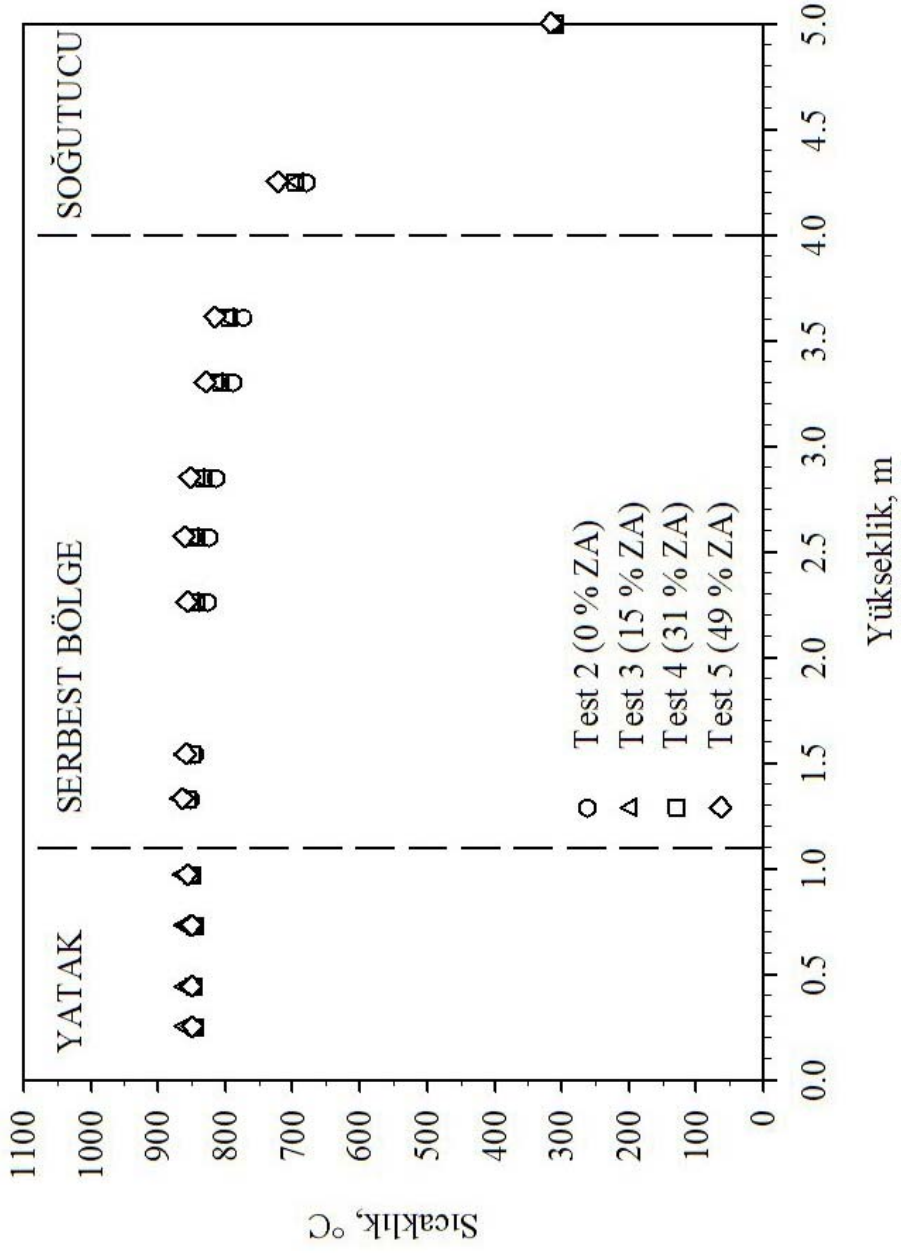
Şekil 12: Tüm deneylerin siklon küllü analizleri



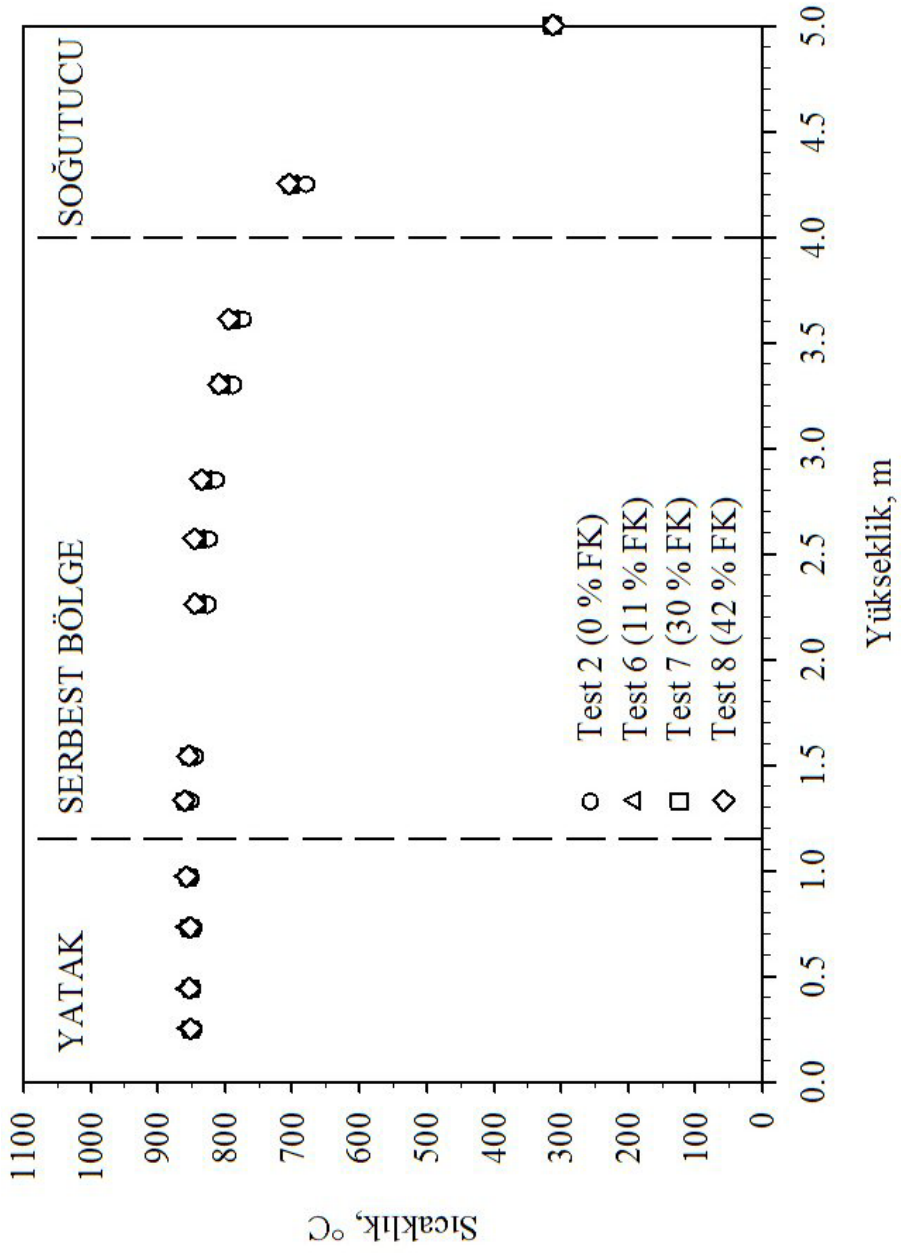
Şekil 13: Tüm deneylerin torba filtre külü analizleri



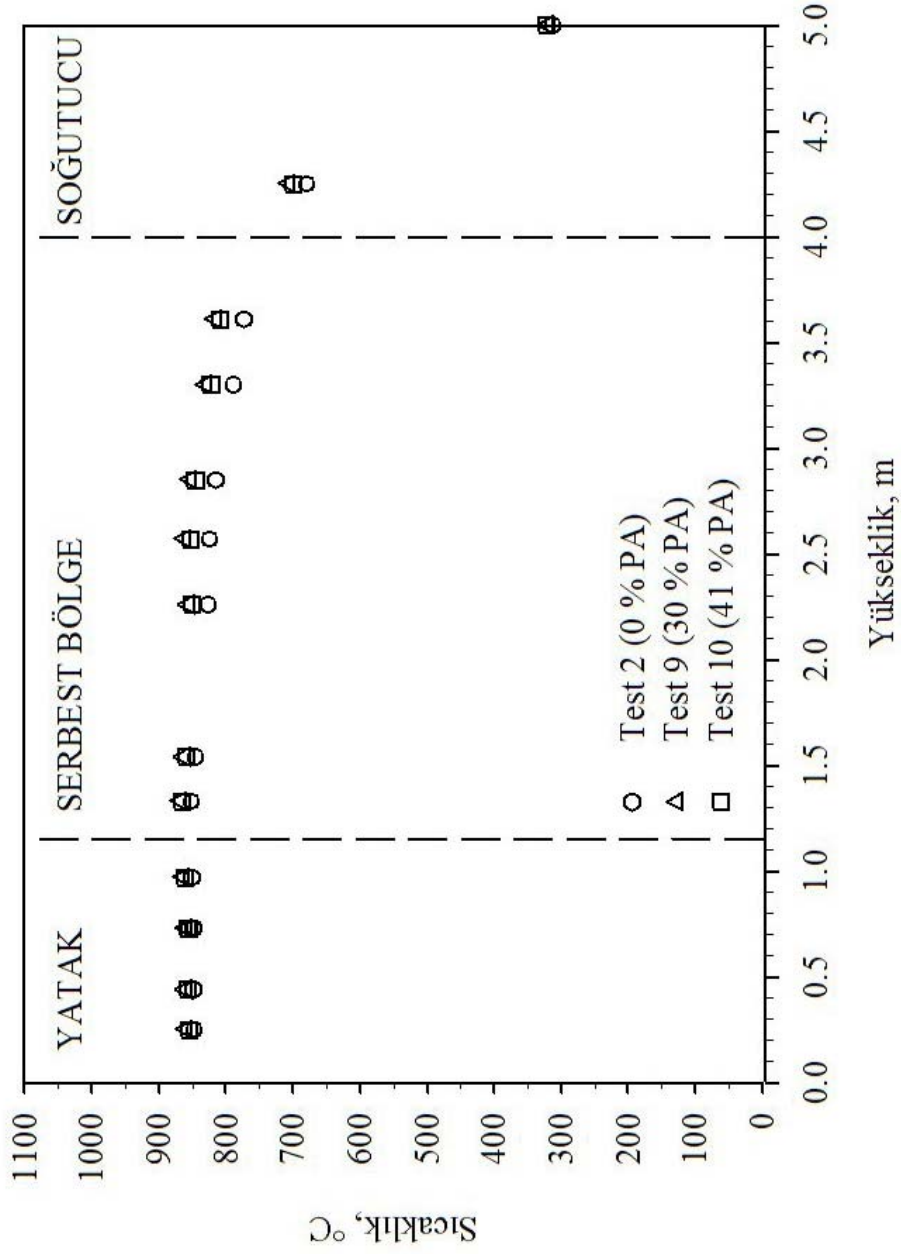
Şekil 14: Test 1 ve 2'de yakıcı boyunca sıcaklık dağılımları



Şekil 15: Test 2, 3, 4 ve 5'te yakıcı boyunca sıcaklık dağılımları



Şekil 16: Test 2, 6, 7 ve 8'de yakıcı boyunca sıcaklık dağılımları



Şekil 17: Test 2, 9 ve 10'da yakıcı boyunca sıcaklık dağılımları

4.5 Baca Gazı Emisyonları

Bütün testlerde siklon sonrasında ölçülen emisyonlar Tablo 10'da verilmiştir. Tablo incelendiğinde, Test 1 ve 2 için CO, O₂ ve CO₂ emisyonlarının birbirine benzer olduğu ve kireçtaşı ilavesinin bu bileşenlerin emisyonlarına bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Yakıt karışımı içerisinde zeytin artığı payının % 15'ten % 49'a artması sadece linyitin yakıldığı testlere kıyasla daha fazla CO emisyonuna yol açmıştır. Bu durum linyite kıyasla zeytin artığının daha fazla uçucu maddeye (özgün örnekte % 76) sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Zeytin artığı ile yapılan birlikte yanma testlerinde O₂ ve CO₂ emisyonları hemen hemen sabit kalmıştır. Fındık kabuğu ile yapılan birlikte yanma testlerinde ise fındık kabuğu ilavesinin CO, O₂ ve CO₂ emisyonlarına kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür. CO emisyonlarının fındık kabuğu ilavesine duyarsızlığı ise fındık kabuğunun zeytin artığına kıyasla daha az uçucu madde içeriğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Pamuk artığı ilavesi ise diğer testlere (Test 1-8) kıyasla daha fazla CO emisyonuna yol açmıştır. CO emisyonundaki bu artış pamuk artığının yüksek uçucu madde içeriği ile pamuk artığı beslenmesinde yaşanan zorluklardan kaynaklanmaktadır. Pamuk artığı ilavesinin O₂ ve CO₂ emisyonlarına önemli bir etkisi olmamıştır.

Test 2'de kireçtaşı ilavesi ile SO₂ emisyonları büyük miktarda azalmıştır. Biyokütle ilavesinin yapılmasıyla ise SO₂ emisyonlarında daha da fazla bir azalma gerçekleşmiştir. Çünkü biyokütlelerin kükürt içerikleri oldukça düşüktür. Yakıt karışımındaki zeytin artığı payının % 15'ten % 49'a artışı SO₂ emisyonlarında ciddi bir azalmaya yol açmıştır. Fındık kabuğu ile yapılan birlikte yanma testlerinde (Test 6, 7 ve 8) SO₂ emisyonları zeytin artığı ile yapılan testlerden bile düşük çıkmıştır. Zira, fındık kabuğunun kükürt içeriği (kuru bazda % 0.08) zeytin artığının kükürt içeriğinden (kuru bazda % 0.14) daha düşüktür. Yakıt karışımındaki fındık kabuğu payının % 11'den % 42'ye artışı yakıtla içeri giren kükürt miktarı azaldığından dolayı SO₂ emisyonlarında ciddi bir azalmaya yol açmıştır. Pamuk artığı ile yapılan testler (Test 9 ve 10) esnasında yaşanan besleme sorunlarının giderilmesi esnasında sisteme düşük kireçtaşı katkılı linyit beslenmesinden dolayı, pamuk artığı ile yapılan birlikte yanma testlerinin (Test 9 ve 10) SO₂ emisyonları zeytin artığı ve fındık kabuğu ile yapılan testlerin emisyonlarından yüksek çıkmıştır.

Tablo 10: Baca gazı emisyonları

Yakıcı Çıkışı	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
O ₂ , %	5.1	4.8	4.2	5.1	5.1	4.9	5.0	5.1	3.3	5.1
CO içeriği, ppm	506	496	532	550	771	503	494	489	903	590
CO içeriği ¹ , ppm	477	459	475	519	728	468	465	460	764	558
CO emisyonu ¹ , mg/Nm ³	596	574	594	649	910	585	581	575	955	697
CO ₂ içeriği, %	14.8	15.9	16.6	15.6	15.7	16.2	16.0	15.0	17.2	15.3
CO ₂ içeriği ¹ , %	13.9	14.8	14.9	14.8	14.8	15.0	15.0	15.0	14.6	14.5
SO ₂ içeriği, ppm	4346	744	444	321	228	294	269	214	925	486
SO ₂ içeriği ¹ , ppm	4097	689	397	303	215	273	253	201	783	459
SO ₂ emisyonu ¹ , mg/Nm ³	11717	1970	1136	866	616	780	723	576	2240	1312
NO içeriği, ppm	229	246	230	253	232	235	228	218	185	285
NO içeriği ¹ , ppm	216	228	206	239	219	219	214	205	157	269
NO emisyonu ¹ , mg/Nm ³	443	467	422	490	449	449	439	421	321	552
N ₂ O içeriği, ppm	25	22	16	11	5	7	6	3	43	60
N ₂ O içeriği ¹ , ppm	23	20	14	10	4	7	5	3	37	57
N ₂ O emisyonu ¹ , mg/Nm ³	45	39	28	20	8	13	11	5	72	112

¹ % 6 O₂ için düzeltilmiş

Zeytin artığıyla yapılan testlerde NO emisyonu yakıt karışımı içindeki yüksek azot miktarının kömür koku ve uçucu maddesiyle denkleşmesinden dolayı hemen hemen sabit kalmıştır. Yakıt karışımı içindeki fındık kabuğu payının artması fındık kabuğunun düşük azot içeriğinden dolayı NO emisyonlarının bir miktar azalmasını sağlamıştır. Linyitin pamuk artığı ile birlikte yakılması (Test 9) daha düşük NO emisyonlarına yol açmakla birlikte, yakıt karışımı içindeki pamuk artığı payının artışı ile birlikte NO emisyonları artmıştır. Zira pamuk artığı payının artmasıyla yakıt karışımının azot içeriği de artmaktadır.

Tablo 11’de verilen N₂O emisyonları incelendiğinde, linyite zeytin artığı ilavesiyle N₂O emisyonlarının azaldığı, fındık kabuğu ilavesiyle ise daha da azaldığı görülmektedir. Ancak pamuk artığı ile yapılan testlerde, pamuk artığı ilavesiyle yakıt içinde artan azot miktarı neticesinde N₂O emisyonları artmıştır. Çünkü pamuk artığının azot içeriği linyite kıyasla oldukça büyüktür (kuru bazda % 4.4).

Her ne kadar pilot ölçekli test ünitesinin emisyonları ticari boyuttaki büyük üniteleri gazın daha kısa yakıcı kalış süresi nedeniyle temsil etmemekle birlikte, yapılan testlerin emisyon performansları en son Türk yönetmeliğince (Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği) belirlenen emisyon sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yönetmeliklere göre uyulması gereken emisyon sınır değerleri Tablo 11’de listelenmiştir.

Tablo 11: Türk yönetmeliğine göre emisyon sınır değerleri

ETKHKK Yönetmeliği			
	CO mg/Nm ³	SO ₂ mg/Nm ³	NO _x mg/Nm ³
Test 1	200	2000	800
Test 2	200	2000	800
Test 3	249	1658	724
Test 4	294	1347	655
Test 5	343	1008	579
Test 6	237	1741	743
Test 7	290	1376	661
Test 8	331	1096	599
Test 9	297	1329	651
Test 10	324	1140	609

Tablo 11’de verilen emisyon sınır değerleri ile Tablo 10’da verilen emisyon değerleri karşılaştırıldığında CO emisyonlarının gerek kademeli hava beslemesinin yapılmamasından gerekse test ünitesindeki düşük yakıcı kalış zamanlarından dolayı limitlerin üzerinde olduğu görölmektedir. Pamuk artığı ile yapılan testler (Test 9 ve 10) esnasında yaşanan besleme sorunlarının giderilmesi esnasında sisteme düşük kireçtaşı katkılı linyit beslenmesinden dolayı pamuk artığı beslenen testlerde SO₂ emisyonu sınır değerlerin üstünde diğer tüm testlerde ise SO₂ emisyonları yönetmelikçe belirlenen sınır değerlerin altında bulunmuştur. Tüm testlerde NO emisyonları sınır değerlerin altında kalmıştır. Sonuç olarak, zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığı Türk linyitleri ile çevre dostu bir şekilde en son Türk yönetmeliğine uygun olarak birlikte yakılabilirler.

4.6 Yanma Verimi

İşletme parametrelerinin yanma kayıplarının büyüklüğüne etkisi tüm katı akımlarının karbon miktarlarının ve baca gazındaki CO emisyonlarının analizi ile incelenmiştir. Her testteki yanma kaybı oranları, baca gazındaki CO emisyonu ve yatak altı, siklon ve torba filtredeki yanmamış yanabilir madde miktarlarından kaynaklanan ısı kaybının beslenen kömürdeki potansiyel yanma ısısına olan oranından hesaplanmıştır. Yanma kaybı oranlarından hesaplanan yanma verimleri Tablo 12’de verilmiştir. Tablodan göröldüğü gibi siklonda kül çevrimi olmadığı halde sözkonusu reaktif linyit için yanma verimleri oldukça yüksek (~97 %) bulunmuştur. Yanma verimi kireçtaşı ilavesi ile % 97’den (Test 1) % 96’ya (Test 2) düşmüştür.

Tablo 12: Yanma verimleri

Test 1	% 97
Test 2	% 96
Test 3	% 98
Test 4	% 98
Test 5	% 98
Test 6	% 97
Test 7	% 97
Test 8	% 98
Test 9	% 97
Test 10	% 97

Yanma verimindeki % 1'lik azalma daha önce benzer bir linyit ile aynı test ünitesinde benzer koşullarda yapılan deneylerin bulgularıyla örtüşmektedir (SELÇUK, 2004). Yanma veriminin kireçtaşı ilavesiyle düşmesi, daha soğuk bir maddenin sisteme girmesinden kaynaklanan ısı kaybı ile Ca/S mol oranı 3 iken, endotermik kalsinasyon ve ekzotermik sülfatlanma reaksiyonlarından kaynaklanan net ısı kaybının birlikte etkisine dayanmaktadır.

Biyokütle ile linyitin birlikte yanması, linyitin tek başına yanmasına kıyasla daha yüksek yanma verimi elde edilmiştir. Yanma veriminin biyokütle ilavesi ile artması, biyokütlenin yüksek uçucu madde içermesinden kaynaklanmaktadır (~75 % özgün örnek). Yüksek uçucu madde hızla yanarak, yüksek gözenekli biyokütle kokunun yanmasını da hızlandırmaktadır (SAMI, 2001, SENNECA, 2007). Biyokütle ilavesi ile yanma veriminin artması diğer çalışmalarda uyum içindedir (LIU, 1999, KAKARAS, 2001, ARMESTO, 2003, ADANEZ, 2003, GAYAN, 2004). Zeytin artığının linyit ile birlikte yakılmasında yanma verimi % 98 olarak hesaplanmış ve yakıt karışımındaki zeytin artığı oranıyla değişmemiştir. Yanma veriminin yakıt karışımı yatak altından beslendiğinde karışımındaki zeytin artığı oranı ile değişmediği daha öncede rapor edilmiştir (ARMESTO, 2001).

Fındık kabuğu ve linyitin birlikte yakıldığı testlerde yanma verimi karışımındaki fındık kabuğu oranı % 30'a kadar artırıldığında % 97 olarak sabit kalmış ve yakıt karışımındaki fındık kabuğu miktarı % 42'ye çıkarıldığında % 98'e çıkmıştır. Pamuk artığı ve linyitin birlikte yakıldığı testlerde yanma verimi karışımındaki pamuk artığı miktarına bağlı olmaksızın % 97 olarak bulunmuştur.

4.7 Kükürt Giderme Verimi

Tüm testlerdeki kükürt giderme verimleri Tablo 13'te verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi linyit kireçtaşı ilavesi ile yakıldığında siklon külü çevrimi olmadığı halde % 84 gibi yüksek bir kükürt giderme verimi elde edilmiştir. Bu yüksek verim kireçtaşının yüksek reaktivitesinden çok yakıtın yatak altından beslenmesinden kaynaklanan yüksek yatakta kalma süresine dayandırılmıştır. Çünkü, daha önce benzer koşullarda aynı kireçtaşı ile yatak üstünden besleme yapılan deneylerde kükürt giderme verimi % 69 olarak bulunmuştur (SELÇUK, 2004).

Zeytin artığı ile linyitin birlikte yakıldığı testlerde kükürt giderme verimi % 88'e artmıştır. Yakıt karışımındaki zeytin artığı oranının % 49'a çıkması kükürt giderme veriminin % 89'a arttırmıştır. Bu artışın sebebi biyokütle külünde bulunan CaO miktarına bağlanabilir (NORDIN, 1995, SPLIETHOFF, 1998, KOKKO, 2005, OKASHA, 2007). Fındık kabuğu ile linyitin birlikte yakılması yakıt karışımındaki fındık kabuğu oranına bağlı olmaksızın % 92 olarak bulunmuştur. Yakıt karışımındaki pamuk artığı oranının % 30'dan % 41'e artırılması kükürt giderme verimini % 76'dan % 83'e çıkarmıştır.

Tablo 13: Kükürt giderme verimleri

Test 1	% 8
Test 2	% 84
Test 3	% 88
Test 4	% 88
Test 5	% 89
Test 6	% 92
Test 7	% 92
Test 8	% 92
Test 9	% 76
Test 10	% 83

4.8 Yakıcının Görsel İncelemesi

Testler sonrasında yanma odası açılmış ve gözle kontrol edilmiştir. Görsel inceleme sonrasında yakıcı duvarlarında, soğutucu yüzeylerinde ve dağıtıcı plaka üzerinde ne cüruflaşma ve birikintiye ne de depozit formasyonuna rastlanmamıştır. Ayrıca yanma odasında hiçbir bitişmiş malzemeye de rastlanmamıştır. Bu durum katı tanelerin birbirine yapışmadan yatak içinde rahatça hareket ettiğinin bir göstergesidir.

5. SONUÇ

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, tipik Türk linyiti ile zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığının birlikte yakılması ODTÜ 0.3 MW ısı gücündeki atmosferik kabarcıklı akışkan yataklı yakıcıda farklı

yakıt karışımlarının yanma ve emisyon performanslarına ve kül davranışına etkisi açısından incelenmiştir. Bu çalışmadan aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Linyit yanmasına kıyasla linyitin zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığı ile birlikte yanması siklon külündeki parçacık boyutunu artırmıştır.
- Linyitin zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığı ile birlikte yanması yatak altı, siklon ve torba filtre küllerindeki SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 içeriklerinin düşmesine, CaO ve SO_3 içeriklerinin artmasına yol açmıştır.
- Birlikte yanma major ve minor elementlerin dağılımını yatak altı külünden uçucu küle değiştirmiştir.
- Linyitin zeytin artığı ve pamuk artığı ile birlikte yanması yakıt karışımındaki biyokütle oranına bağlı olmaksızın yanma verimini sırasıyla % 98 ve % 97'ye arttırmıştır. Linyitin fındık kabuğu ile birlikte yanması sırasında ise yakıt karışımındaki fındık kabuğu oranının % 42'ye arttırılması yanma verimini % 98'e arttırmıştır.
- Birlikte yanma serbest bölge sıcaklıklarında az miktarda artışa sebep olmuştur.
- Birlikte yanma toplam CO_2 emisyonlarında önemli bir değişikliğe yol açmazken, net CO_2 emisyonlarını düşürmüştür.
- Birlikte yanma CO emisyonlarında artışa sebep olmuştur.
- Linyitin zeytin artığı ile birlikte yanması sırasında yakıt karışımındaki zeytin artığı oranı artırıldığında NO emisyonları değişmezken, SO_2 ve N_2O emisyonları düşmüştür. Linyitin fındık kabuğu ile birlikte yanması sırasında yakıt karışımındaki fındık kabuğu oranının artması NO , SO_2 ve N_2O emisyonlarını azaltmıştır. Diğer yandan, linyitin pamuk artığı ile birlikte yanması sırasında yakıt karışımındaki pamuk artığı oranının % 30'dan % 41'ye artırılması NO ve N_2O emisyonlarının artmasına sebep olmuştur.

- Linyitin zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığı ile birlikte yanması yatak malzemesinde bitişme ve ısı transfer yüzeylerinde bırakıntı problemlerine yol açmamıştır.

Sonuç olarak, düşük kalorili, yüksek kül ve kükürt içeren Türk linyitinin zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığı ile birlikte yanması, yanma ve emisyon performansları açısından teknik olarak uygun bulunmuştur. Ancak, biyokütlelerin mevsimsel olması nedeniyle, birlikte yanmanın biyokütlenin üretim alanına yakın olan akışkan yataklı kazanlarda emisyonları azaltmak amacıyla uygulanması daha uygun görülmüştür.

5.2 Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen bilimsel veriler ve deneyim ile bu çalışmanın uzantısı olabilecek geleceğe yönelik öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- NO and CO emisyonları kademeli yanma ile azaltılabilir.
- Birlikte yanma deneyleri siklon külünün geri çevrimi ile yapılabilir. Bu alternatif yatakta kalma süresini artırarak kireçtaşı kullanımını daha etkili hale getirebilir.
- Hava fazlası, Ca/S oranı ve sıcaklık üzerine ideal işletme koşullarını belirlemek amacıyla linyit ile zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığının birlikte yanması üzerine parametrik bir çalışma yapılabilir.

REFERANSLAR

ADANEZ J., Diego L.F., Gayà P., Garcio-Labiano F., Cabanillas A., Bahillo A., “Co-Combustion of Biomass and Coal in Circulating Fluidized Bed. Modeling and Validation”, in *Proceedings of 17th International Conference on Fluidized Bed Combustion* (Ed. Pisupati, S.), FBC2003-064 in CD-ROM, ASME, Jacksonville, Florida, USA, May 18-21, 2003.

AGROWASTE, Exploitation of Agricultural Residues in Turkey, <http://www.agrowaste-tr.org/ablife/index.php?lang=en/>, (Last accessed date: 26.08.07).

ANDRIES J., Verloop M., Hein K., Co-Combustion of Coal and Biomass in a Pressurized Bubbling Fluidized Bed, *Proceedings of 14th International Fluidized Bed Combustion Conference*, Vancouver, Canada (1997).

ANTHONY E.J., “Fluidized Bed Combustion of Alternative Solid Fuels: Status, Success and Problems of the Technology”, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 21, 239–268, 1995.

ARMESTO L., Veijonen K., Bahillo A., Cabanillas A., Plumed A., Salvador L., Co-Combustion of Coal and Biomass Wastes in Fluidized Bed, *Proceedings of 17th International Fluidized Bed Combustion Conference*, Florida, USA, (2003).

ARMESTO L., Cabanillas A., Bahillo A., Segovia J.J., Escalada R., Martinez J.M., Carrasco J.E., Coal and Biomass Co-Combustion on Fluidized Bed: Comparison of Circulating and Bubbling Fluidized Bed Technologies, *Proceedings of 14th International Fluidized Bed Combustion Conference*, Vancouver, Canada (1997).

ARMESTO L. et al, Co-Combustion of Coal and Olive Oil Industry Residues in Fluidized Bed, *Fuel*, 82 , pp. 993-1000, (2003).

ARMESTO L., Veijonen K., Bahillo A. Cabanillas A., Plumed A., Salvador L., “Co-Combustion of Coal and Biomass Wastes in Fluidized Bed”, in *Proceedings of 16th International Conference on Fluidized Bed Combustion* (Ed. Geiling D.W.), FBC01-0044 in CD-ROM, ASME, Reno, Nevada, USA, May 13-16, 2001.

ATIMTAY A.T., Topal H., Co-Combustion of Olive Cake with Lignite Coal in a CFB, *Fuel*, 83, pp. 859-867, (2004).

BAXTER L., Koppejan J., “Biomass-Coal Co-combustion: Opportunity for Affordable Renewable Energy”, *Euro Heat & Power*, Vol. 1, 2004.

BAPAT D.W, Kulkarni S.V., Bhandarkar V. P., “Design and Operating Experience on Fluidized Bed Boiler Burning Biomass Fuels with High Alkaline Ash”, in *Proceedings of 14th International Conference on Fluidized Bed Combustion* (Ed. Preto F.D.S.), Vol. 1, 165-174, ASME, Vancouver, Canada, May 11-14, 1997.

BP Statistical Review of World Energy June 2007, <http://www.bp.com/statisticalreview>, (Last accessed date: 26.08.07).

BOAVIDA D., Abelhe P., Gulyurtlu I., Cabrita I., Co-Combustion of Coal and Non-Recyclable Paper and Plastic Waste in a Fluidized Bed Reactor, *Fuel*, 82, pp. 1931-1938, (2003).

CLIFFE K.R., Patumsawad S., “Co-Combustion of Waste from Olive Oil Production with Coal in a Fluidised Bed”, *Waste Management*, Vol. 21, 49-53, 2001.

EKMANN J.M., Winslow J.C., Smouse S.M., Ramezan M., International Survey of Co-Firing Coal with Biomass and Other Wastes, *Fuel Processing Technology*, 54, pp. 171-188, (1998).

FİSKOBİRLİK, <http://www.fiskobirlik.org.tr/>, (Last accessed date: 26.08.07).

GAYAN P., Adanez J., Diego L. F., Garcia-Labiano F., Cabanillas A., Bahillo A., Aho M., Veijonen K., Circulating Fluidized Bed Co-Combustion of Coal and Biomass, *Fuel*, 83, pp. 277-286, (2004).

GRASSI G., “The Biomass Research and Development Program of the Commission of the European Communities”, Klass D. L. (Editor), *Energy from Biomass and Wastes, Institute of Gas Technology*, Chicago, IL, USA, Vol. 16, 15-37, 1993.

GUANYI C., Mengxiang F., Zhongyang L., Xuantian L., Zhenglun S., Kefa C., Mingjiang N., Experimental Research on Rice Husk Combustion in CFB Boiler and The Design of a 35 T/H Rice Husk Fired CFB Boiler, in *Proceedings of 14th International Conference on Fluidized Bed Combustion* (Ed. Preto F.D.S.), Vol. 1, 175-181, ASME, Vancouver, Canada, May 11-14, 1997.

HANSEN P.F.B., Andersen K.H., Wieck-Hansen K., Overgaard P., Rasmussen I., Frandsen F.J., Hansen L.A., Dam Johansen K., Co-Firing Straw and Coal in a 150 MW_e Utility Boiler: In Situ Measurements, *Fuel Processing Technology*, 54, pp. 207-225, (1998).

HEIN K.R.G., Bemtgen J.M., EU Clean Coal Technology-Co-Combustion of Coal and Biomass, *Fuel Processing Technology*, 54, pp. 159-169, (1998).

HUGHES E.E., Tillman D.A., “Biomass Co-firing: Status and Prospects 1996”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 54, 127-142, 1998.

IEA, International Energy Agency Statistics 2004, <http://www.iea.org/Textbase/stats/index.asp>, (Last accessed date: 26.08.07).

IEA, “International Energy Agency Co-firing Database”, <http://www.ieabcc.nl/>. (Last accessed date: 26.08.07).

IEO, International Energy Outlook 2007, http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/graphic_data_electricity.html, (Last accessed date: 26.08.07).

KAKARAS E., Vourliotis P., Grammelis P., Co-Combustion of Lignite with Waste Wood in a Lab-Scale Fluidized Bed, Proceedings of 16 th International Fluidized Bed Combustion Conference, Reno, Nevada, USA, (2001).

KOKKO A., Nylung M., “Biomass and Coal Co-Combustion in Utility Scale - Operating Experience of Alholmens Kraft”, in *Proceedings of 18th International Conference on Fluidized Bed Combustion* (Ed. Jia L.), FBC2005-035 in CD-ROM, ASME, Toronto, Ontario, Canada, May 22-25, 2005.

LAURSEN K., Grace J.R., Some Implications of Co-Combustion of Biomass and Coal in a Fluidized Bed Boiler, *Fuel Processing Technology*, 76, pp. 77-89, (2002).

LECKNER B., Karlsson M., Emissions from Circulating Fluidized Bed Combustion of Mixtures of Wood and Coal, Proceedings of 12 th International Fluidized Bed Combustion Conference, San Diego, California, (1993).

LIN W., Dam-Johansen K., Agglomeration in Fluidized Bed Combustion of Biomass-Mechanisms and Co-Firing with Coal, Proceedings of 15 th International Fluidized Bed Combustion Conference, Savannah, Georgia, (1999).

LIU D.C., Wang J.H., Chen H., Zhang S., Huang L., Lu J., Emission Control of N₂O by Co-Combustion of Coal and Biomass and Narrow Pulse Corona Discharge, Proceedings of 15 th International Fluidized Bed Combustion Conference, Savannah, Georgia, (1999).

NORDIN A., “Optimization of Sulfur Retention in Ash when Co-Combusting High Sulfur Fuels and Biomass Fuels in a Small Pilot Scale Fluidized Bed”, *Fuel*, Vol. 74, 615-622, 1995.

OKASHA F., “Enhancing Sulphur Self-Retention by Building-in CaO in Straw-Bitumen Pellets”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 88, 401-408, 2007.

SAMI M., Annamalai K., Wooldridge M., “Co-firing of Coal and Biomass Fuel Blends”, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 27, 171-214, 2001.

SAXENA S.C., Fluidized Bed Incineration of Solid Pellets: Combustion and Co-Combustion, *Energy Conversion Management*, 39, pp. 127-141, (1998).

SHEINKOPF K., “Global Biomass Opportunities”, *Independent Energy (USA)*, Vol. 23, No. 8, 50-53, 1993.

SANDELIN K., Coda B., Backman R., Berger R., Hein K.R.G., Melting of Ash Components When Co-Firing Coal, Straw, and Paper Sludge under Bubbling Fluidized Bed Conditions, Proceedings of 16 th International Fluidized Bed Combustion Conference, Reno, Nevada, USA, (2001).

SELÇUK N., Gogebakan Y., Harmandar H., Altindag H., “Effect of Recycle on Fluidized-Bed Combustion and Emission Characteristics of High-Sulfur Lignite” *Combustion Science and Technology*, Vol. 176, 959-975, 2004.

SENNECA O., “Kinetics of Pyrolysis, Combustion and Gasification of Three Biomass Fuels”, *Fuel processing Technology*, Vol. 88, 87-97, 2007.

SPLIETHOFF H., Hein K. R. G, “Effect of co-combustion of biomass on emissions in pulverized fuel furnaces”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 54, No. 1-3, 189-205, 1998.

SHEN B.X., Mi T.M., Feng B., Yao Q., Winter F., N₂O Emission under FBC Condition, *Fuel Processing Technology*, 84, pp. 13-21, (2003).

SUKSANKRAISORN K., Patumsawad S., Fungtammasan B., Combustion Studies of High Moisture Content Waste in a Fluidized Bed, *Waste Management*, 23, pp. 433-439, (2003).

SYT, Statistical Yearbook of Turkey 2006, http://www.turkstat.gov.tr/yillik/yillik_ing.pdf, (Last accessed date: 26.08.07).

XIAODONG L., Xuguang J., Jianhua Y., Tinghua Z., Yong C., Jialin Y., Guoquan H., Guoqing P., Mingjiang N., Kefa C., Experimental Study and Design Considerations for Co-Firing Paper Mill Sludge in CFB Boiler, *Proceedings of 14 th International Fluidized Bed Combustion Conference*, Vancouver, Canada (1997).

TORII I., Tagashira K., Myouyou K., Yokoshiki T., Shirahata T., Development Paper Sludge and Coal Co-Fired Bubbling Fluidized Bed Boiler, *Proceedings of 16th International Fluidized Bed Combustion Conference*, Reno, Nevada, USA, (2001).

TSAI, M.Y., Wu K.T., Huang C.C., Lee H.T., Co-Firing of Paper Mill Sludge and Coal in an Industrial Circulating Fluidized Bed Boiler, *Waste Management*, 22, pp. 439-442, (2002).

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 104M200
Proje Başlığı: Biyokütle ile Kömürün Akışkan Yataklı Yakıcılarda Birlikte Yakılması
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof. Dr. Nevin Selçuk, Ahmet Uygur , Mehmet Moralı
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, 06531 ANKARA
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531 ANKARA
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15.04.2005 – 15.07.2007
Öz: Bu çalışmada, tipik Türk linyiti ile zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığının birlikte yakılması ODTÜ 0.3 MW ısı gücündeki atmosferik kabarcıklı akışkan yataklı yakıcıda farklı yakıt karışımlarının yanma ve emisyon performanslarına ve kül davranışına etkisi açısından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, birlikte yanmanın yanma verimini ve serbest bölge sıcaklıklarını kireçtaşı ilaveli linyit yakılmasına kıyasla artırdığı göstermiştir. O ₂ ve CO ₂ emisyonlarının karışımdaki artan zeytin artığı, fındık kabuğu ve pamuk artığı miktarına duyarlı olmadığı görülmüştür. Birlikte yanma SO ₂ emisyonlarını azaltırken CO emisyonlarını artırmıştır. Zeytin artığı ve fındık kabuğu ile linyitin birlikte yakılması NO emisyonlarında önemli değişikliğe yol açmazken, N ₂ O emisyonlarını azaltmıştır. Pamuk artığının linyit ile birlikte yakılması NO ve N ₂ O emisyonlarını artırmıştır. Majör ve minör element dağılımlarına ilişkin olarak, linyit ve söz konusu biyokütlelerin birlikte yakılması bu elementlerin dağılımlarını alt külden uçucu küle değiştirmiştir. Gerek EDX gerekse XRD analizlerinde külde klor bulunmadığı tesbit edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Akışkan yataklı yakıcı, yanma, linyit, biyokütle
Projeden Yapılan Yayınlar: Gögebakan, Z., Gögebakan, Y. and Selçuk, N., “Co-Firing of Olive Residue with Lignite in Bubbling FBC”, Proceedings of the 5th Mediterranean Combustion Symposium (in CDROM), Monastir, Tunisia , September 2007.