

OTOMATİK BESLEMELİ KÖMÜR KAZANLARINDA ALEV FORMU İLE YANMA VERİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Cem Onat*

Yrd. Doç. Dr.

İnönü Üniversitesi,

Makina Mühendisliği Bölümü, Malatya

cem.onat@inonu.edu.tr

Muhammed Fatih Talu

Yrd. Doç. Dr.

İnönü Üniversitesi,

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya

fatih.talu@inonu.edu.tr

Mahmut Daşkın

Arş. Gör.

İnönü Üniversitesi,

Makina Mühendisliği Bölümü, Malatya

mahmut.daskin@inonu.edu.tr

Muharrem Mercimek

Yrd. Doç. Dr.

Yıldız Teknik Üniversitesi,

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü,

İstanbul

muharrem.mercimek@yildiz.edu.tr

ÖZ

Kazanlarda ısı veriminin iyileştirilmesi konusu, artan yakıt fiyatları ve çevresel kaygılardan dolayı mühendisler için her geçen gün daha büyük önem arz etmektedir. Bu çerçevede, verimli ve temiz çalışan kazanların ortak özellikleri, yakıt/hava oranını ideal değerinde denetleyen bir kapalı çevrim kontrol sistemine sahip olmalarıdır. Bu bakımdan, son zamanlarda yanma odasının kameralar aracılığıyla görüntülenmesi ve görüntü işleme teknikleri ile yanma verimliliğinin analizi konuları ilgi çekmektedir. Bu çalışmada, bir baca gazı ölçüm cihazı ile hava fazlalık katsayısı gerçek zamanlı olarak ölçülürken, bununla eş zamanlı olarak kazanın yanma odası bir Charge-Coupled Device (CCD) kamera aracılığıyla görüntülenmiştir. Ardından, alev görüntüleri işlenmiş görüntü, kaynak matrisinin sonsuz normu, izi, rankı ve alev büyüklüğü değerleri elde edilip değerlendirilmiştir. Sonuçta, en az %95 yanma verimi için gerekli görüntü şartlarının sayısal değer aralıkları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazan, verim, görüntü işleme

INVESTIGATION OF RELATIONSHIP BETWEEN FLAME FORM AND COMBUSTION EFFICIENCY IN AUTOMATICALLY FEEDING COAL BOILERS

ABSTRACT

The issue of improving thermal efficiency in boilers has day by day importance for engineers because of rising fuel prices and environmental concerns. In this context, common point of the boilers working efficiently and cleanly is to have a closed loop control system controlling fuel/air ratio on its ideal value. From this point of view, recently, monitorizing of combustion chamber by using the cameras and the efficiency analyze of combustion with image processing techniques are trendy topics in this field. In investigation, while measuring the air excess coefficient by a flue gas measuring device in real time, simultaneously the combustion chamber of the boiler has been displayed by a Charge-Coupled Device (CCD) camera. Then infinity norm, trace and rank of image source matrice and size of flame are obtained and evaluated. In result, numerical value gaps of required image conditions are specified for %95 of combustion efficiency.

Keywords: Boiler, efficiency, image processing

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 27.07.2015

Kabul tarihi : 01.10.2015

Onat, C., Talu, M. F., Daşkın, M., Mercimek, M. 2015. "Otomatik Beslemeli Kömür Kazanlarında Alev Formu ile Yanma Verimi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 669, s. .

1. GİRİŞ

Kazanlarda, yanma odasının görüntülenmesi suretiyle, gerçek zamanlı biçimde yakma işleminin analizi ve kontrolü mübadil yöntemlere göre düşük maliyetli ve bozucu reddi performansı daha yüksek olan bir tekniktir. Alevin geometrisi ve rengi gibi fiziksel karakteristiği yanma işleminin verimliliğine dair detaylı bilgiler sunmaktadır. Bu bilgilerden faydalanarak kapalı çevrim yanma kontrol sistemleri teşkil edilebilmektedir.

Yakıtın kimyasal enerjisinin yanma yoluyla ısı enerjisine dönüştüren ve bunu taşıyıcı akışkana aktaran makineler olarak tanımlanan kazanların verimi, yanma sonucu oluşan ısı enerjisinin ne kadar büyük olduğu ve hangi oranda kullanma mahalline taşındığına bağlıdır. Kazanlarda yanmanın iyileştirilerek veriminin yükseltilmesi aynı zamanda CO salınımını da azalttığından dolayı kazanı daha çevreci kılmaktadır (Onat 2014).

Yakıtların oksijen ile tepkimeye girerek ısı ve diğer yanma ürünlerinin oluşması prosesi olan yanma için oksijen kaynağı olarak ticari kazanlarda taze hava kullanılmaktadır. Yanma odasına sevk edilen hava miktarının gerekenden az olması, gerekenden çok olması ya da gerektiği kadar olması yanmanın özelliklerini ve dolayısıyla oluşan ısı miktarını ve diğer yanma ürünlerinin cins ve miktarlarını belirlemektedir. Bu sebeple, yakıt-hava karışımındaki havanın miktarına göre yanma; az hava ile yanma, fazla hava ile yanma ve tam yanma olarak isimlendirilmektedir. Az hava ile yanmanın en belirgin özelliği baca gazının çok koyu renkli ve isli olmasıdır. Ayrıca alev rengi de olması gerekenden daha koyu renkte olmaktadır. Ayrıca baca gazı analizörü ile baca gazı çözümlemesi yapıldığında fazla miktarda CO görülmektedir. Fazla hava ile yanma durumunda alev rengi çok açık ve parlak olmaktadır. Baca gazı hemen hemen gözle görülmemektedir. Bu durumda, ocak sıcaklığı düşer ve baca gazı sıcaklığı artar. Tam yanmada genellikle alev rengi açık sarı renktedir (BP 2014).

Homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla ligno-selülozik bitki parçalarından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içerisinde çoğunlukla C, az miktarlarda H, O, S ve N elementlerinin bulunduğu ama inorganik (kil, silt, iz elementleri gibi) maddelerin de olabildiği, bataklıklarda oluşan, kahverengi ve siyah renk tonlarında olan, yanabilen, katı fosil organik küteller olarak tanımlanan kömürlerin (Karaman, 2010) yanma prosesleri oldukça karmaşıktır (Wojcik vd. 2012; Sujatha vd. 2012). Kömürü oluşturan elementler ve uçucu madde bileşiminin aynı madenden elde edilen kömürlerde bile farklılıklar arz edebilmesi, kömür yakma sistemlerinin gerek modellenmesi, gerekse bunlar için kapalı çevrim yakıt/hava oranı kontrolcülerini tasarımı konularını karmaşıklaştıran bir başka olgudur. Yanma prosesindeki bu karmaşıklık, kömür yakma sistemlerinin modellenmesi ve kontrolü konusu araştırmacıların üzerinde çalıştığı güncel konular arasındadır. Yani bu

konularla ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, baca gazı analizi temeline dayalı modelleme ve kontrol tasarımı çalışmaları ve yanma odasının gözlenmesi temeline dayalı modelleme ve kontrol tasarımı çalışmaları şeklinde iki kategoride ele alınabilir. Çalışmalar kronolojik sıraya göre değerlendirildiğinde, son zamanlarda yanma odasının görüntülenmesi temeline dayalı çalışmaların çok daha fazla olduğu görülmektedir. Kontrol tasarımı çalışmaları da elde tutularak modelleme açısından literatüre bakıldığında, Astrom ve Eklund (1972), 160 MW'lık bir kazanda deneysel olarak doğrusal olmayan bir model elde etmişlerdir. Kocaarslan (1993), 750MW'lık bir kazan için uyarlamalı kontrol tasarlamış ve uygulamıştır. Önerdiği uyarlamalı kontrol yapısının, kazanın verimini artırdığını göstermiştir. Endüstriyel enerji ve güç üretiminde ileri kontrol uygulamalarına genel bir bakış için Donne vd. (2001), Rees ve Lu'nun (2002) araştırma makalelerine göz atılabilir. Genelde, mühendisler baca gazındaki oksijen konsantrasyonunu azaltmak yoluyla daha iyi ısı verim sağlamaktadırlar. Lee ve Jou (2011), baca gazındaki oksijen konsantrasyonunu %1 azaltmak suretiyle yanma verimini %0,6 geliştirdiklerini rapor etmişlerdir. Kauprianov vd. (1999), baca gazı konsantrasyonu ile ısı kayıpları arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir.

Yukarıda sözü edilen çalışmalar, "baca gazı analizi temeline dayalı modelleme ve kontrol tasarımı çalışmaları" kategorisindedirler. Bu çalışmaların en büyük problemi ise kaçınılmaz olarak, belirli bir zaman gecikmesi değeriyle yüzleşmesidir. Sistem, zaman gecikmeli olduğu için, emilen hava sıcaklığındaki değişimler veya yanma verimindeki yakıtla bağlı değişimler gibi bozucu etkiler sisteme etki ettiğinde, kapalı çevrim kontrol sistemi doğası gereği geç cevap vermek suretiyle kötü bir bozucu reddi performansı sergilemektedir. Buna karşın alev görüntüleri, yanma odasının anlık durumunu derhal yansıtabilir. Yamaguchi vd. (1997), farklı yakıt hava oranlarında spektral karakteristiklerin farklılıklarını keşfetmek için fiber optik sensörler kullanarak alevin emisyon yoğunluğunu analiz etmiştir. Son yıllarda, kazanlarda yanma problemlerine uygulanan görüntü işleme temeline dayalı analiz ve tasarımlarına giderek artan bir ilgi vardır. Burkardt (1992), Docquier ve Candel'in (2002) çalışmaları bu konuda iyi bir genel değerlendirme sunmaktadır. Ultraviyole ve kızılötesi ışınımlı bazı alev detektörleri yanma rejimini teşhis etmek için kullanılmaktadır; fakat bunlar, alevin sadece bir kısmını kapsarlar ve böylece yeterli alev bilgisi sağlayamazlar. Bununla birlikte, lazerli yanma odası gözleme sistemleri de yanma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu sistemler, yanma dinamiğinin parametrelerini kantitatif olarak ortaya koyabilmelerine karşın, karmaşıklıkları ve yüksek maliyetleri endüstride yaygınlaşmalarına engel oluşturmaktadır (Kohse vd. 2005; Lu vd. 2004). Lino vd. (1998), alevin dinamik davranışını belirlemek için görüntü işleme teknikleri kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Söz konusu çalışmada, alevin yüksek parlaklıktaki bölgesinin zamanla değişimi gözlenmiştir. Alev görüntü-

lerinde yanmanın kalitesini ortaya koyan bol miktarda önemli bilgi mevcuttur (Huang vd. 1999). Yukarıda anılan çalışmalarda kullanılan kazanlar, yakıtlarıyla birlikte değerlendirildiğinde kömür yakıtlı kazanlar ile yapılan çalışmaların göreceli olarak seyrek olduğu görülmektedir. Huang vd. (2010), toz kömür yakıtlı bir kazan için radyant enerji sinyalli bir kontrol sistemi önermiştir. Söz konusu kontrol sistemi aynı zamanda bir oksijen algılayıcısına da ihtiyaç duymaktadır.

Buraya kadar ifade edilen çalışmalar değerlendirildiğinde, kazanlarda verim artırma problemine yönelik güncel çözüm önerilerinin, sistemdeki zaman gecikmesini önemli ölçüde düşüren, yanma odasını gözlemek suretiyle oluşturulan kapalı çevrim kontrol sistemi tasarımlarına odaklandığı görülmektedir.

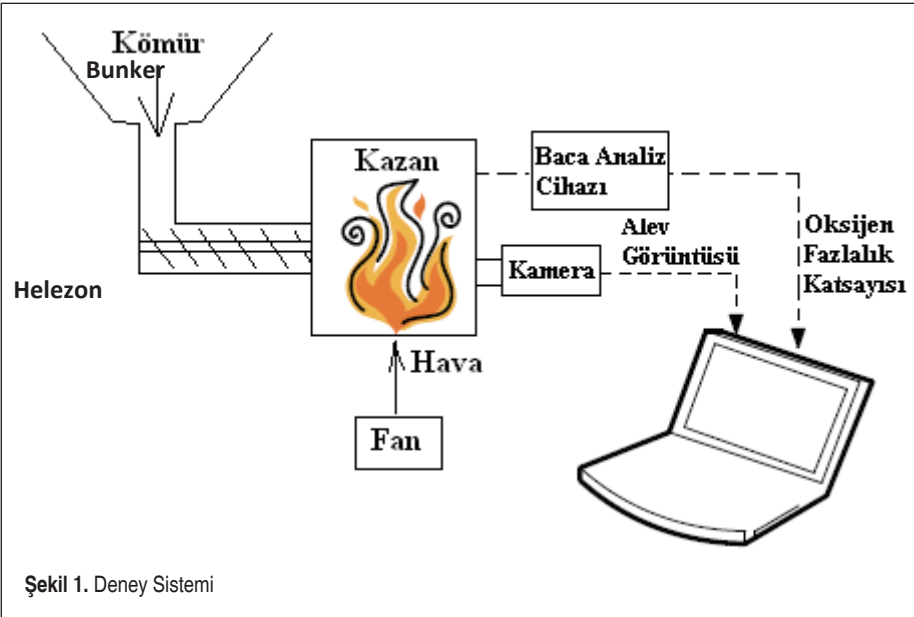
Bu çalışmada, düşük kapasiteli otomatik beslemeli kömür ka-

zanlarında, yanma odasının görüntülenmesi temeline dayalı kontrol sistemi geliştirilmesi ve uygulanması düşünülen çalışmalara veri teşkil edecek bilgilere ulaşılması amaçlanmıştır. Bu çerçevede, çalışmanın iki özel amacından söz edilebilir. Bunlardan birincisi, zamanla değişen alev formundan elde edilen sayısal bilgilerin yanma verimi ile ilişkisinin belirlenmesi ve tam yanmaya karşılık gelen sayısal alev hacmi ve rengi bilgilerine ilişkin verilerin elde edilmesidir. Diğeri ise baca gazı analiz cihazından alınan hava fazlalık katsayısı ve yanma verimi bilgilerinin ne kadar süreli bir gecikme ile alındığının, yani sisteme kaçınılmaz olarak getirdiği yapısal zaman gecikmesi değerinin deneysel olarak hesaplanmasıdır. Sonuç olarak, en az %95 verime işaret eden alev görüntüsü bilgilerinin sayısal değer aralıkları belirlenmiştir. Ayrıca görüntü işlemeli bir kontrol ünitesi ile oluşturulacak kapalı çevrim

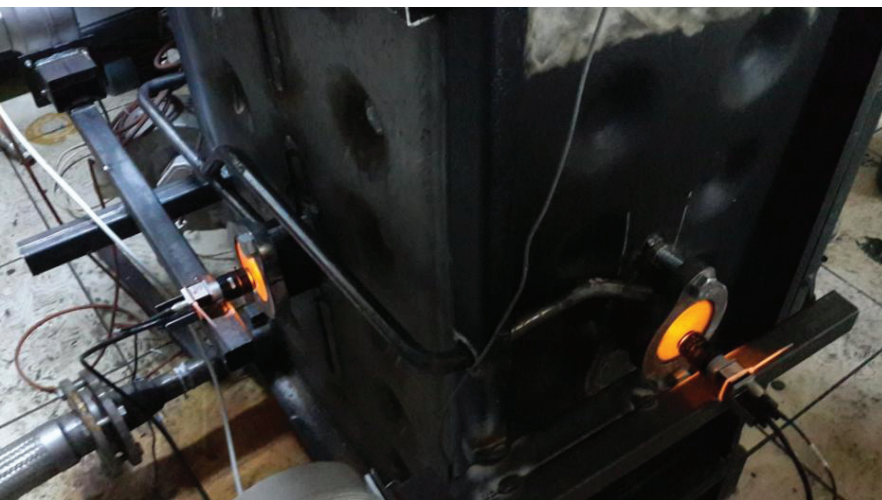
sisteminin zaman gecikmesi değerinin, geleneksel kapalı çevrim sistemin zaman gecikmesi değerine göre en az 7 saniye az olacağı deney sonuçlarıyla ortaya konmuştur.

2. DENEY SİSTEMİ

Çalışmada, optik sistem görüş açısı alanı (field of view-FOV), kazan içindeki yanmayı görüntüleyecek biçimde Şekil 1'de şeması verilen deney düzeneği kullanılmıştır. Şekil 2'de deney sisteminin genel görünüşünü yansıtan fotoğrafı verilmektedir. Deney düzeneğinde, bunkerdeki fındık kömür, bir elekten geçirilerek helezona gelmektedir. Helezon aracılığıyla da fındık kömür, yanma odasına sevk edilmektedir. Yanma için gerekli taze hava devir sayısı değiştirilebilen bir fan aracılığıyla sağlanmaktadır. Buna göre, gözetleme penceresine yerleştirilmiş kamera aracılığıyla yanma odası görüntülenmektedir. Sistemde kullanılan CCD yüksek hızlı kamera, sistemin ana parçasını oluşturmaktadır. Kamera, temel olarak optik lens grubu, CCD algılayıcı, elektronik görüntü birleştiriciyi barındırdığından kontrol ünitesi veya bilgisayara bağlı bir kablo yardımıyla anlık 2D görüntüleri direkt aktarabilmektedir. Söz konusu kamera, 659 (h) x 494 (v) çözünürlüğe sahiptir ve 120 çerçeve/sn (frame/s) hızındadır.



Şekil 1. Deney Sistemi

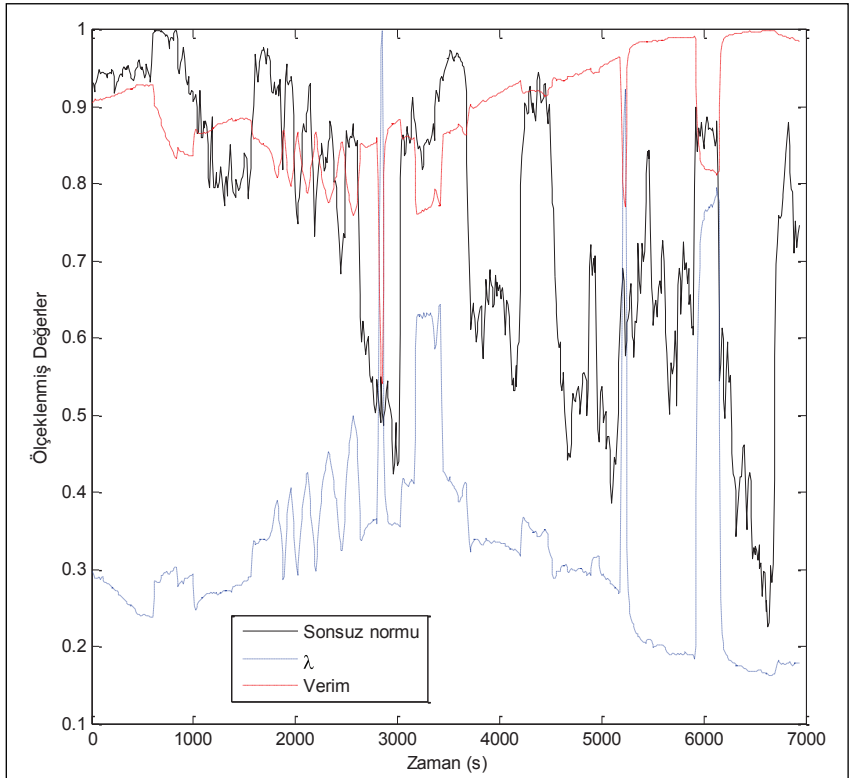


Şekil 2. Sistemin Genel Görünüşü

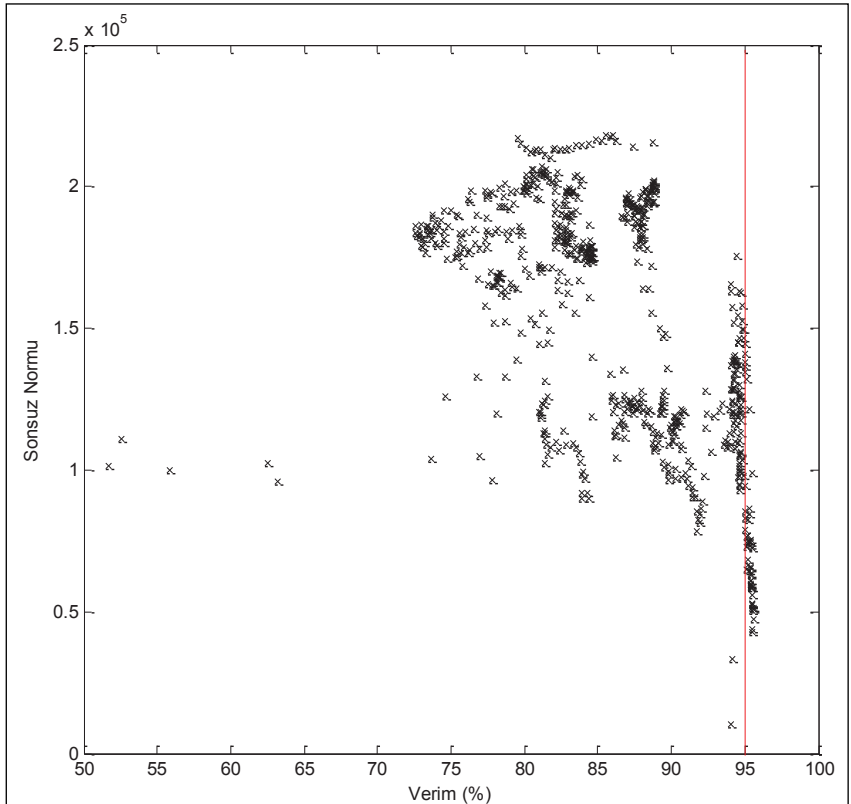
3. DENEYLER

Genel olarak kömür, içerdikleri organik madenin tipine, çökeltme ortamlarının konumuna, fiziksel özellikleri ve kullanım alanlarına ve kimyasal özelliklerine göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Ticari kömür sınıflamalarından en çok kullanılanı ASTM (American Society for Testing and Materials) kömür sınıflamasıdır. Bu sınıflamada kömürün sabit karbon içeriği ve ısı değeri esas alınır. Ülkemizdeki uygulamada, ticari kömürler kalori değerlerine göre etiketlenmektedir. ASTM sınıflamasına göre kömür, linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür (taş kömürü) ve antrasit olarak gruplara ayrılır. Ülkemizde en yaygın biçimde bulunan kömür, alt bitümlü kömürdür. Bu kömürün kalorisi 3500-6000 Kcal/kg ve C değeri %75-85 arasındadır. Bunun için bu çalışmada, alt bitümlü kömür kullanılmıştır.

Yaklaşık 7000 s boyunca yapılan deney, iki farklı seti bünyesinde barındırmaktadır. Birinci grup set, sabit helezon devir sayısına karşılık gelen kömür yüklemesinde farklı statik fan devir hızlarını içermektedir. Bu deney grubu, projenin birinci amacı olan, alev görüntüsünden elde edilen sayısal bilgilerin hava fazlalık katsayısı ile ilişkisinin belirlenmesi ve tam yanmaya karşılık gelen sayısal alev hacmi ve rengi bilgilerinin elde edilmesine ulaşmaya yöneliktir. Farklı statik hava debilerine karşılık yapılan bu deneylerde alev görüntüsü, sistem, sürekli rejime girdikten sonra değerlendirilmektedir. İkinci grup deneylerde, sabit debide kömür yüklemesine karşılık sinüzoidal olarak fan devir sayısı değiştirilmiştir. Bununla birlikte, hava fazlalık katsayısının sinüzoidal olarak dalgalanması sağlanarak elde edilen görüntülerdeki sinüzoidal değişimlere odaklanılmıştır. Bu deney grubu projenin ikinci amacı olan, baca gazı analiz cihazından alınan hava fazlalık katsayısı bilgisinin ne kadar süreli bir gecikme ile alındığının, yani sisteme kaçınılmaz olarak getirdiği yapısal zaman gecikmesi değerinin deneysel olarak hesaplanmasına ulaşmaya yöneliktir. Deney boyunca, baca gazı analiz cihazından kazanın yanma verimi ve hava fazlalık katsayısı bilgileri saniyede bir kaydedilmiştir. Bununla eş zamanlı biçimde, CCD kameradan



Şekil 3a. Görüntü Kaynak Matrisinin Sonsuz Normu ile Baca Gazı Analiz Cihazından Alınan Verim ve Hava Fazlalık Katsayısı Dataları



Şekil 3b. Kaynak Matrisin Sonsuz Normunun Verim ile Değişimi

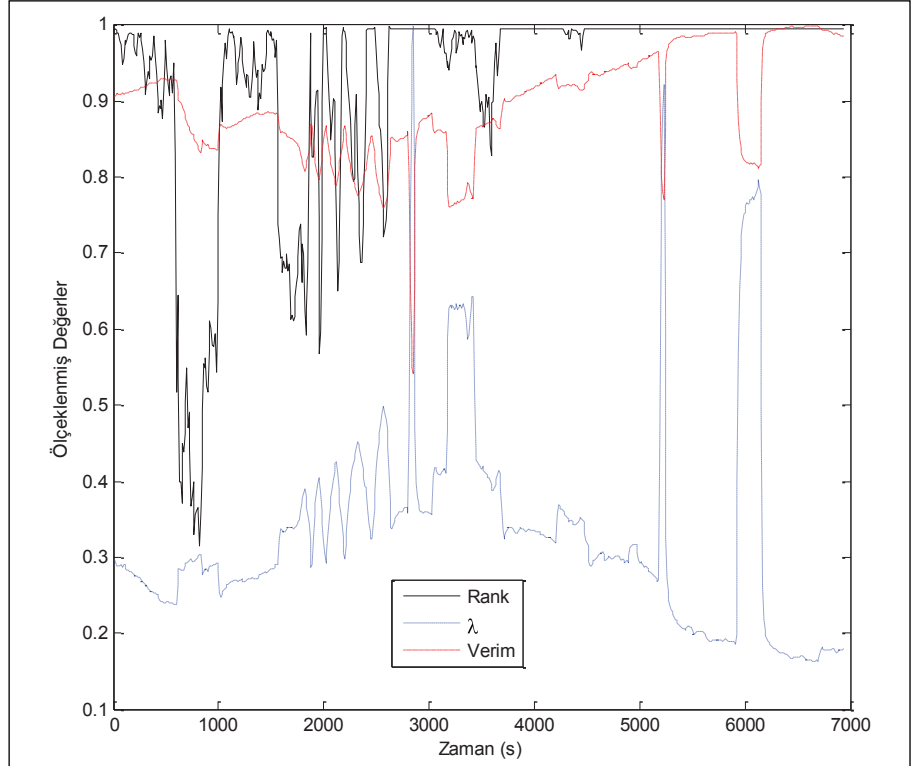
alınan görüntüler işlenerek görüntü kaynak matrisinin sonsuz normu, rankı, izi, alev büyüklüğü ve tekil değerlerinin toplamının sayısal bilgileri elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

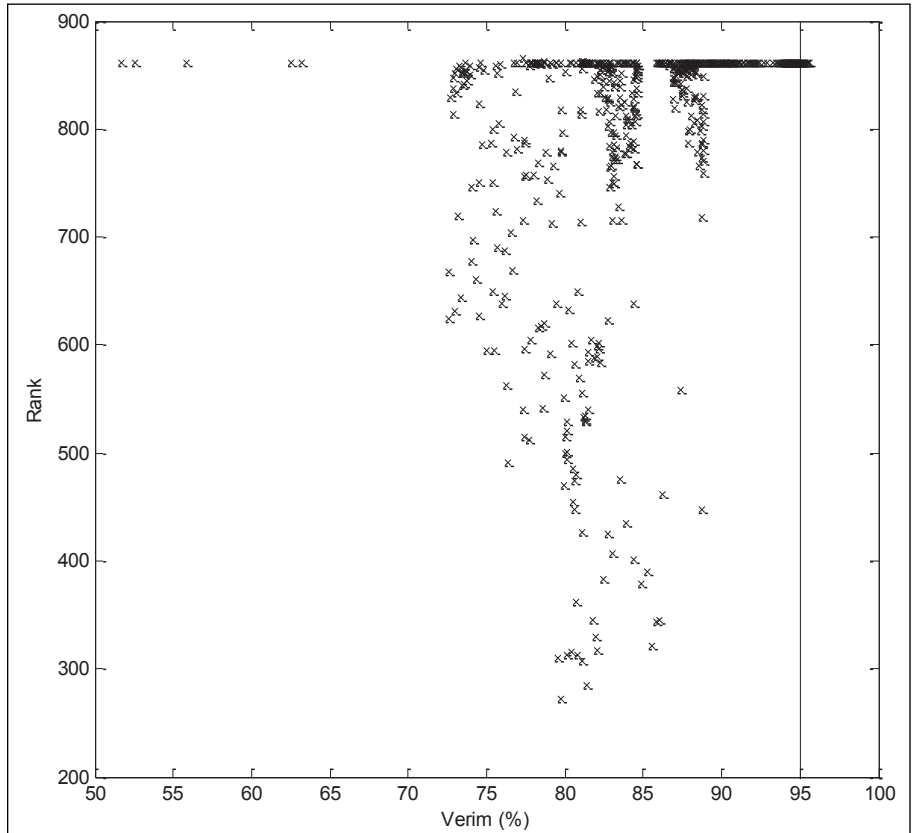
Şekil 3a'da, görüntü kaynak matrisinin sonsuz (∞) normu ile baca gazı analiz cihazından alınan verim ve hava fazlalık katsayısı (λ) dataları verilmektedir. Şekil 3b'de ise verim ile sonsuz norm arasındaki ilişki gösterilmektedir. Buna göre verimin, dinamik olarak değiştirildiği 2300-2900 s aralığında, sonsuz normu da verim ve hava fazlalık katsayısı gibi dalgalanmıştır. Sonsuz normunun %95 ve üzeri verimlerdeki değer aralığı ise 42.730- 121.700'dür. Sonsuz normu bilgisi verimdeki değişimi yaklaşık 3 saniye önceden bildirdiği, dolayısıyla sistemdeki yapısal zaman gecikmesi değerini en az 3 saniye azaltacağı görülmektedir.

Şekil 4a'da, görüntü kaynak matrisinin rankı ile baca gazı analiz cihazından alınan verim ve hava fazlalık katsayısı (λ) dataları verilmektedir. Şekil 4b'de, verim ile kaynak matrisinin rankı arasındaki ilişki gösterilmektedir. Buna göre verimin, dinamik olarak değiştirildiği 2300-2900 s aralığında rank verim ve hava fazlalık katsayısı gibi dalgalanmıştır. Kaynak matrisinin rankı, %95 ve üzeri verimler için önemli bir seçici özellik göstermektedir. Buna göre, %95 ve üzeri verimlerde kaynak matrisin rank değeri 861'dir. Rank bilgisi de beklendiği üzere, verimdeki değişimi yaklaşık 3 saniye önceden bildirdiği, dolayısıyla sistemdeki yapısal zaman gecikmesi değerini en az 3 saniye azaltacağı görülmektedir.

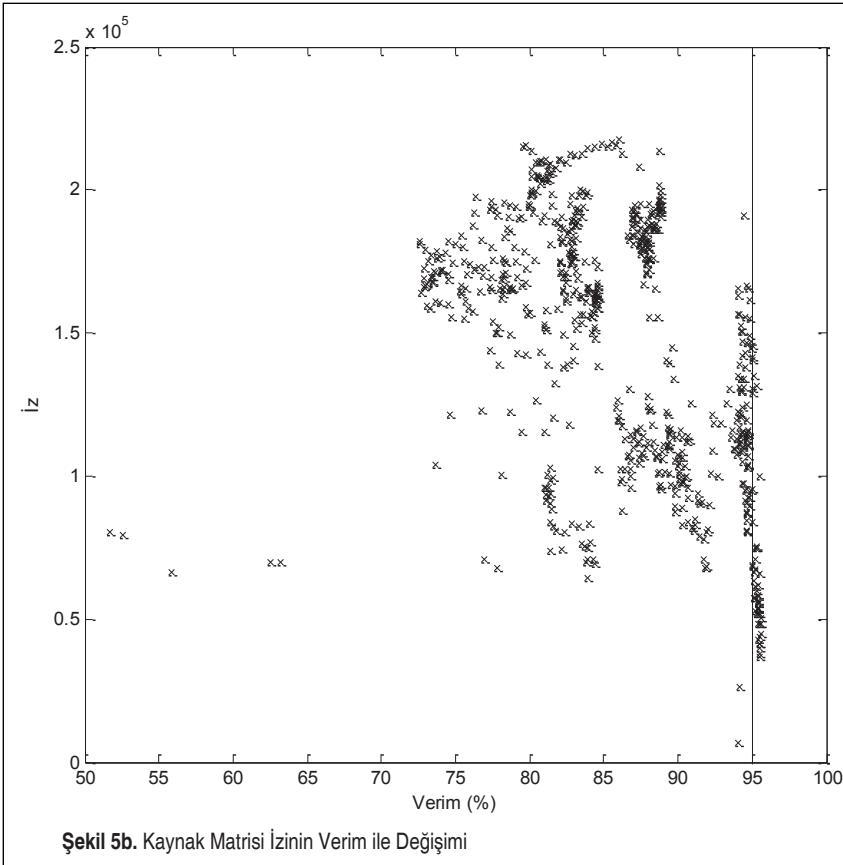
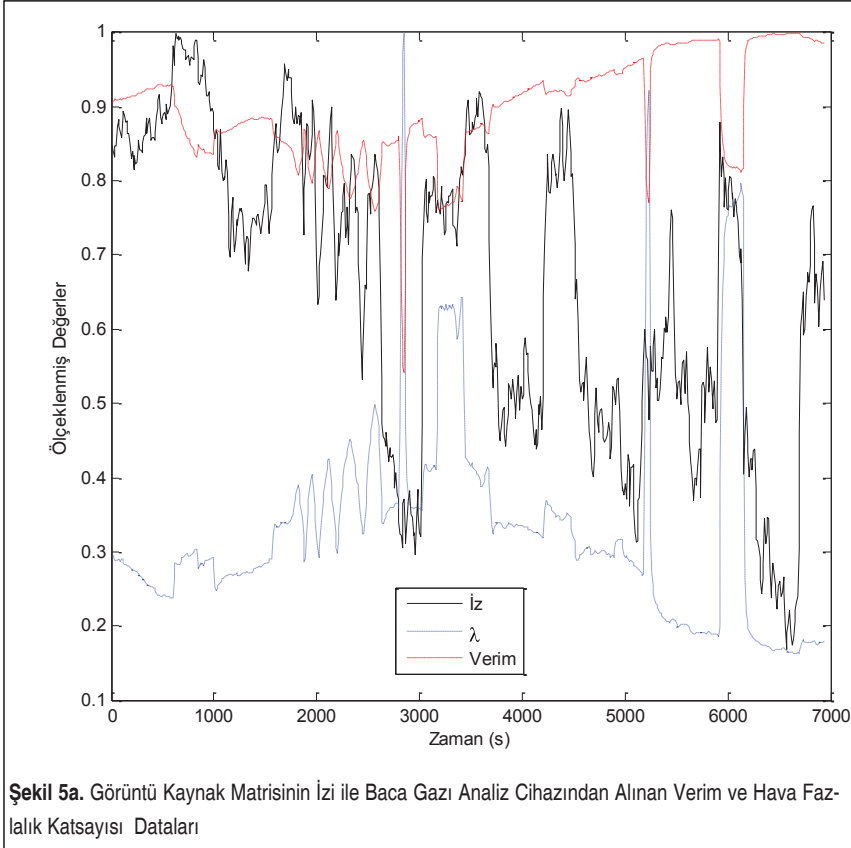
Şekil 5 a'da, görüntü kaynak matrisinin izi ile baca gazı analiz cihazından alınan verim ve hava fazlalık katsayısı (λ) dataları verilmektedir. Şekil 5b'de, verim ile kaynak matrisinin izi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Buna göre verimin, dinamik olarak değiştirildiği 2300-2900 s aralığında matris izi, ve-



Şekil 4a. Görüntü Kaynak Matrisinin Rankı ile Baca Gazı Analiz Cihazından Alınan Verim ve Hava Fazlalık Katsayısı Dataları



Şekil 4b. Kaynak Matrisin Rankının Verim ile Değişimi

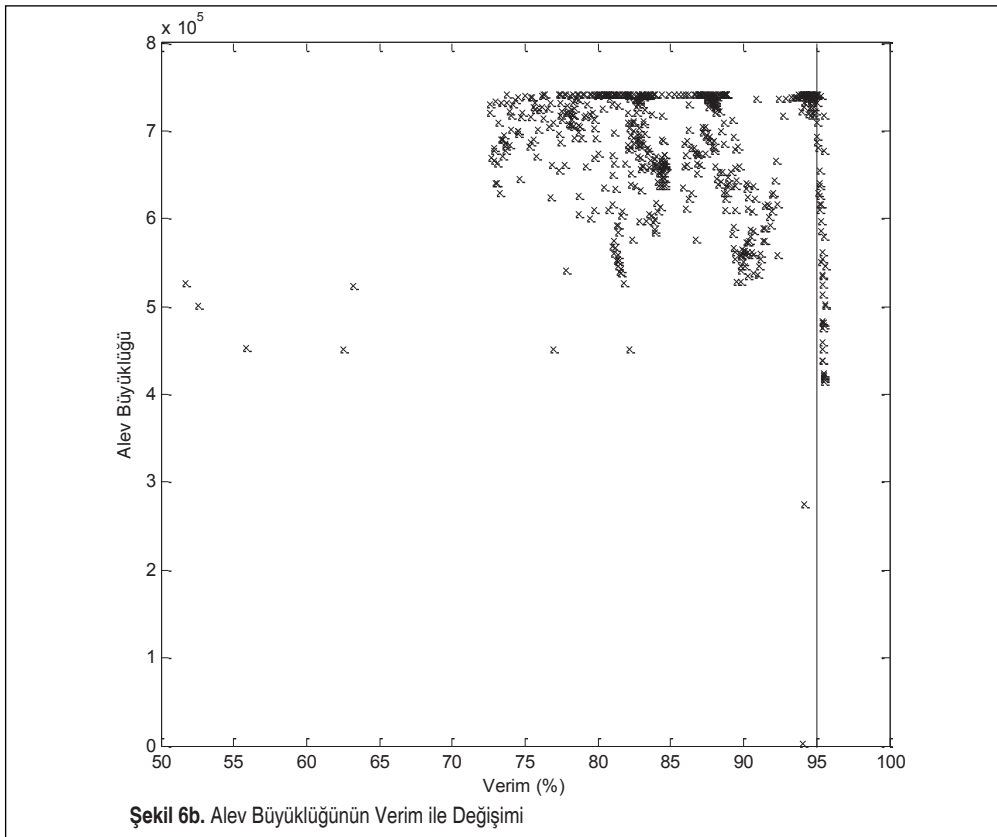
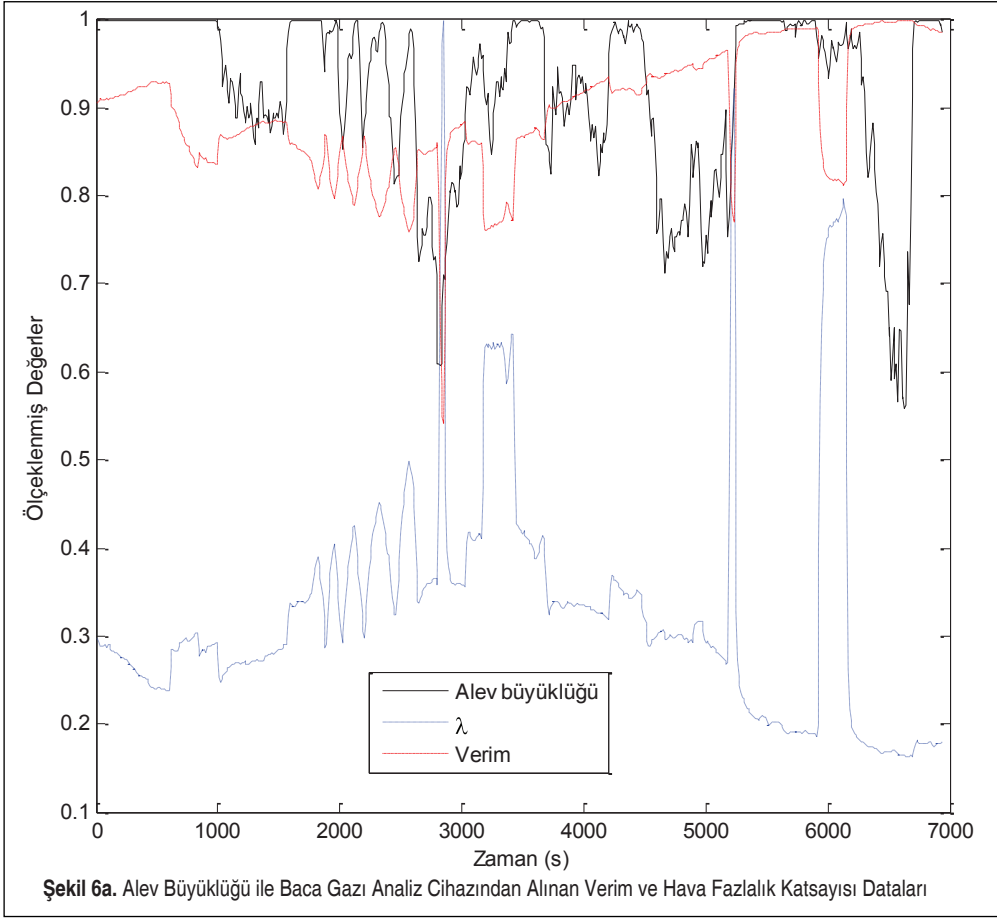


rim ve hava fazlalık katsayısı gibi dalgalanmıştır. Ayrıca %95 ve üzeri verimlerde kaynak matrisi iz değerinin değişim aralığı 36.730-131.300'dür. İz bilgisi de diğer görüntü bilgilerinde olduğu gibi, verimdeki değişimi yaklaşık 3 saniye önceden bildirdiği, dolayısıyla sistemdeki yapısal zaman gecikmesi değerini en az 3 saniye azaltacağı görülmektedir.

Şekil 6a'da, alev büyüklüğü ile baca gazı analiz cihazından alınan verim ve hava fazlalık katsayısı (λ) dataları verilmektedir. Alev büyüklüğü, görüntü kaynak matrisinde 30 değerinden büyük elemanların sayısı şeklinde sayısal bilgiye dönüştürülmüştür. Şekil 7'de, örnek bir alev görüntüsü resmedilmektedir. Buna göre, siyah renklere ve yakın tonlarına ilişkin piksel değerleri 0'a yakın değerlerdir. Şekil 6b'de, verim ile alev büyüklüğü arasındaki ilişki gösterilmektedir. Buna göre, %95 ve üzeri verimlerde alev büyüklüğü değerinin değişim aralığı 41.380-740.300'dür.

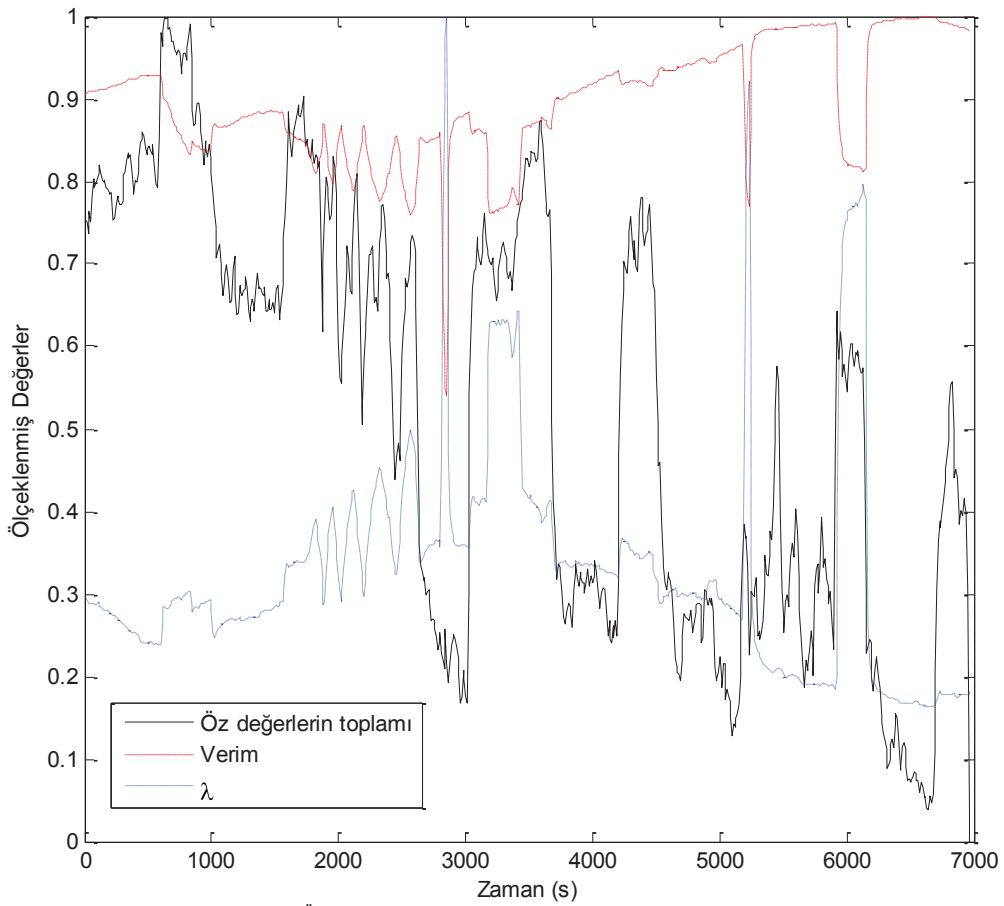
Şekil 8a'da, görüntü kaynak matrisinin öz değerleri toplamı ile baca gazı analiz cihazından alınan verim ve hava fazlalık katsayısı (λ) dataları verilmektedir. Şekil 8b'de, verim ile kaynak matrisinin öz değerleri toplamı arasındaki ilişki gösterilmektedir. Buna göre verimin, dinamik olarak değiştirildiği 2300-2900 s aralığında matrisin öz değerleri toplamı, verim ve hava fazlalık katsayısı gibi dalgalanmıştır. Ayrıca %95 ve üzeri verimlerde öz değerler toplamı değerinin değişim aralığı $1.84 \cdot 10^9 - 1.478 \cdot 10^{10}$ olmuştur.

Bu çalışma, otomatik yüklemeli kömür kazanlarında görüntü işleme temeline dayalı kontrol ünitesi tasarımına ilişkin ilk çalışma niteliğindedir. CCD kameradan alınan görüntüler baca gazı analiz cihazından alınan verim ve hava fazlalık katsayısı bilgileri ile eşleştirilip, yüksek verimlere tekabül eden görüntülerin sayısal bilgilerine erişilmiştir. Bu bilgilerin kapalı çevrim sistemi tasarımı çalışmalarında referans işaret bilgileri olarak kullanılması planlanmaktadır. Ayrıca ileriki çalışmalarda, bu çalışmada incelenen sayısal parametreler, oluşturulacak yapay sinir ağı yapılarına temel teşkil edecektir.

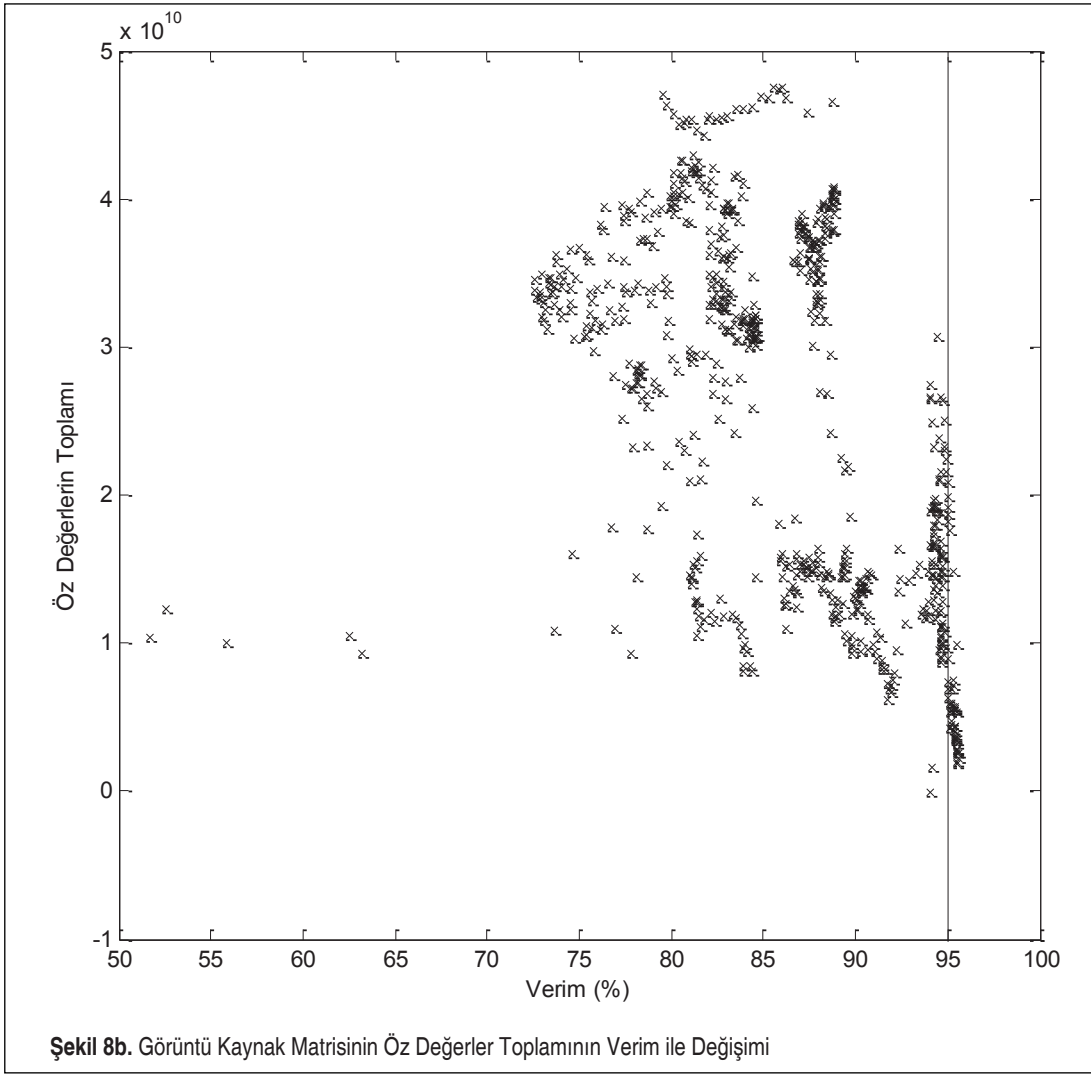




Şekil 7. Örnek Alev Görüntüsü



Şekil 8a. Görüntü Kaynak Matrisinin Öz Değerleri Toplamı ile Baca Gazı Analiz Cihazından Alınan Verim ve Hava Fazlalık Katsayısı Dataları



TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK (Proje numarası: 114M116), İnönü Üniversitesi BAP (Proje numarası: 2012-19) ve MİMSAN AŞ. tarafından desteklenmiştir. Çalışmamıza verdikleri destek için bu kurum ve kuruluşlara teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. Astrom, K. J., Eklund, K. 1972. "A simplified Non-Linear Model of a Drum Boiler-Turbine Unit," Int. Journal Control, vol.16, p. 145-9.
2. BP Petrolleri AŞ. 2014. "Kazanlar," http://www.bp.com/livessets/bp_internet/retail/retail_turkey/STAGING/local_assets/downloads_pdfs/a/abp_kazanlar_tr.pdf, son erişim tarihi: 04.02.2014.
3. Burkardt, H. 1992. "Image Analysis and Control of Combustion Processes," The International Seminar on Imaging in Transport Processes, 25-29 May 1992, Athen.
4. Docquier, N., Candel, S. 2002. "Combustion Control and Sensors: A Review," Prog. Energy Combust Science, vol. 28, p. 107-50.
5. Donne, M. S., Pike, A. W., Savry, R. 2001. "Application of Modern Methods in Power Plant Simulation and Control," IEE Computer Control Journal, vol. 12 (2), p. 75-84.
6. Huang, B., Luo, Z., Zhou, H. 2010. "Optimization of Combustion Based on Introducing Radiant Energy Signal in Pulverized Coal-Fired Boiler," Fuel Processing Technology, vol. 91, p. 660-668.
7. Huang, Y., Yan, Y., Lu, G., Reed, A. 1999. "On-Line Flicker Measurement of Gaseous Flames by Image Processing and Spectral Analysis," Meas Science Technology, vol. 10, p. 726-33.
8. Karaman, İ. 2010. "Soma Linyitinin Fiziksel Aktivasyonu ve

Aktiflenmiş Ürüne Boyarmadde Adsorpsiyonu,” Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.

9. **Kocaarslan, I.** 1993. “Application of Adaptive Control Concept in a 750MW Coal Fired Power Plant,” In: 12th Triennial World Congress, 18-23 July 1993, Sydney, Australia, p. 711–8.
10. **Kohse-Hoinghaus, K., Barlow, R. S., Alden, M., Wolfrum, J.** 2005. “Combustion at the Focus: Laser Diagnostic and Control,” *Proc. Combust Inst.* vol. 30, p. 89–123.
11. **Kouprianov, V., Chullabodhi, C., Kaewboonsong, W.** 1999. “Cost Based Optimization of Excess Air for Fuel Oil/Gas-Fired Steam Boilers,” *RERIC Int. Energy Journal*, vol. 21 (2), p. 83–91.
12. **Lee, C. L., Jou, C. J. G.** 2011. “Saving Fuel Consumption and Reducing Pollution Emissions for Industrial Furnace,” *Fuel Process Technology*, vol. 5, p. 2335–40.
13. **Lino, N., Tsuchino, F., Torii, S., Yano, T.** 1998. “Timewise Variation of Turbulent Jet Diffusion Flame Shape by Means of Image Processing,” *J. Flow Visual Image Process*, vol. 5, p. 275–81.
14. **Lu, G., Yan, Y., Colechin, M.** 2004. “A Digital Imaging Based Multifunctional Flame Monitoring System,” *IEEE Trans Inst. Meas*, vol. 53 (4), p. 1152–8.
15. **Onat, C.** 2014. “WGC Based Robust and Gain Scheduling PI Controller Design for Condensing Boilers,” *Advances in Mechanical Engineering*, Doi: 10.1155/2014/659051, p. 1-13.
16. **Rees, N. W., Lu, C. X.** 2002. “Some Thoughts on the Advanced Control of Electric Power Plants,” *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. 24 (2), p. 87–106.
17. **Sujatha, K., Venmathi, M., Pappa, N.** 2012. “Flame Monitoring in Power Station Boilers Using Image Processing,” *IC-TACT Journal on Image and Video Processing*, vol. 02, issue: 04, p. 427-434.
18. **Wojcik, W., Gromazsek, K., Kotyra, A., Lawicki, T.** 2012. “Pulverized Coal Combustion Boiler Efficient Control,” *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, ISSN: 0033-2097, R. 88 NR 11b/2012: 316-319.
19. **Yamaguchi, T., Grattan, K. T. V., Uchiyama, H., Yamada, T.** 1997. “A Practical Fiber Optic Air-Ratio Sensor Operating by Flame Color Detection,” *Rev. Sci. Instrum.* vol. 68, p. 197–202.