

Laboratuvar Tipi Gazlaştırıcılar İçin PLC Tabanlı Prototip Veri Toplama ve Kontrol Sisteminin Geliştirilmesi

Figan DALMIŞ^{1,*}

Serkan TUĞ²

İ. Savaş DALMIŞ³

Türkan AKTAŞ⁴

Birol KAYIŞOĞLU⁴

¹Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 59030, Tekirdağ, Türkiye

²Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, 59030, Tekirdağ, Türkiye

³Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 59860, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

⁴Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 59030, Tekirdağ, Türkiye

*Sorumlu yazar: E-mail: fdalmis@nku.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 25.04.2017

Kabul Tarihi (Accepted): 12.07.2017

Bu araştırmada farklı tip gazlaştırıcılar üzerine monte edilerek gazlaştırma süreçlerinin izlenmesini sağlayacak PLC kontrollü bir veri toplama ve kontrol sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem, modüler yapıda olup genişletilmeye uygun analog ve dijital giriş/çıkış modülleri ile donatılmıştır. Araştırmada gerçekleştirilen prototip sistem ile termokupllar, yük hücreleri ve basınç sensörleri gibi farklı tip algılayıcılardan gelen analog ve dijital veriler algılanabilmektedir. Ayrıca PLC'nin analog çıkış kanallarından gönderilen sinyaller ile reaktörler üzerindeki fan, motor ve oransal vanaların kontrolleri sağlanarak çalışma hızları denetlenebilmektedir. Geliştirilen prototip veri toplama ve kontrol sistemi ile laboratuvar ölçekli bir gazlaştırıcıda gerçekleştirilen gazlaştırma süreçleri, bir operatör paneli üzerinden takip edilirken, süreç değişkenleri 60s periyot ile USB belleğe kaydedilebilmektedir. Sistem, genişleme modülleri ile donatılarak endüstriyel amaçlı büyük tesislerin kontrolü için de kullanılabilir mimari yapıya sahiptir. Geliştirilen sistemin başarısı yürütülen deneysel çalışmalar ile test edilmiş ve elde edilen sıcaklık, basınç, debi ve kütle değişimi grafikleri metin içerisinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, Gazlaştırma reaktörü, PLC, Veri toplama, Otomasyon

Development of PLC Based Prototype Data Acquisition and Control System for Laboratory Type Gasifiers

In this research, a PLC controlled data acquisition and control system has been designed which is installed on different types of gasifiers to monitor the gasification processes. It is a modular system and equipped with analog and digital input / output expansion modules. The prototype system in the research can detect analogue and digital data coming from different types of sensors such as thermocouples, load cells and pressure sensors. In addition, operating speeds of the fans, motors and proportional valves on the reactors can be controlled by providing signals from the analog output channels of the PLC. With the developed prototype data acquisition and control system, the process variables can be saved to USB memory with 60 s period and monitored on a HMI touch panel during gasification processes performed in a laboratory scale gasifier. By equipping with expansion modules, this system can be used to control large industrial plants. The developed system has been tested successfully in experimental studies and the obtained graphs of temperature, pressure, flow and mass change are presented in the text.

Key Words: Biomass, Gasification reactor, PLC, Data acquisition, Automation

Giriş

Son yıllarda biyokütleden elektrik üretilebilme olasılığı nedeni ile araştırmalar küçük ölçekli gazlaştırıcılar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Küçük ölçekli bir gazlaştırıcı ile biyokütleden ekonomik ve verimli bir şekilde sentez gazı elde edebilmenin yolu gazlaştırma süreçlerini etkin bir şekilde takip ve kontrol edebilmekten geçmektedir. Bu

noktadan hareketle geliştirilen gazlaştırıcıların uygun ve ekonomik otomasyon sistemleri ile donatılmaları önemlidir.

Biyokütlenin gazlaştırılması, sınırlı oksijen koşullarında gerçekleştirilen kısmi yanma sonucunda CO, H₂, CH₄ gibi yanıcı içeriğe sahip sentez gazı adı verilen gaz elde etme işlemidir. Bu işlemin yapıldığı reaktöre gazlaştırıcı denmektedir.

Sabit yataklı gazlaştırıcılar yukarı, aşağı, yatay ve sürüklemeli akışlı olarak sınıflandırılmaktadır. En önemli termokimyasal çevrim yöntemlerinden birisi olan gazlaştırma yöntemi genel olarak, çeşitli biyokütle kaynaklarının 850 °C'nin üzerinde bir sıcaklıkta az oksijenli ortamda kısmi olarak yakılması ile yanıcı gaza ya da karbon monoksit ve hidrojen açısından zengin gaz ürününe dönüşmesi olarak tarif edilmektedir. Gazlaştırma; kuruma, piroliz, yanma ve indirgeme aşamalarını içermektedir (Rajvanshi, 1986).

Araştırma, tarımsal atıkların gazlaştırılmasında kullanılmak üzere geliştirilen gazlaştırıcıların çalışma koşullarını kaydedebilen bir görüntüleme sisteminin tasarlanarak gerçekleştirilmesi üzerine odaklanmıştır. Tasarlanan sistem, analog sinyal çıkışları sayesinde aynı zamanda denetim görevi de görebilecek yapıdadır.

Literatür incelendiğinde, benzer veri toplama sistemlerinin farklı araştırmacılar tarafından da kullanılmış olduğu görülmektedir. Pedroso ve ark., (2013), alt beslemeli yukarı akışlı bir gazlaştırıcı üzerinde yaptıkları çalışmada, gazlaştırıcı üzerine yerleştirdikleri farklı yüksekliklerdeki 8 adet termokupl ile kullanılan bir data logger yardımı ile veri toplama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Sistem ayrıca basınç, motor devri ve debi ölçümü de yapabilmektedir. Fakat bu sistem PLC tabanlı endüstriyel uygulamalara da adapte edilebilecek yapıda değildir. Striugas ve ark., (2014) çalışmalarında, aşağı akışlı bir gazlaştırıcı ile farklı yakıt ve atıkların gazlaştırılmasını incelemişlerdir. Çalışmanın yürütüldüğü gazlaştırıcı 4 üniteden oluşmaktadır. Bu üniteler, biyokütle besleme ünitesi, aşağı akışlı gazlaştırma reaktörü, ön ısıtıcı ve brülörlü bir kazan ünitesinden oluşmaktadır. Gazlaştırıcı otomasyonu kapalı çevrim PID kontrol sistemine dayalı olarak çalışmaktadır. Kullanılan sistem reaktör sıcaklığına bağlı olarak hava giriş debisini kontrol ederek reaktörü belirlenen çalışma sıcaklıklarında tutmaktadır. Sharma ve ark., (2014), akışkan yataklı gazlaştırıcılara reaksiyon esnasında püskürtülen buharın verimliliğe olan etkisini araştırmışlardır. Araştırmada veri toplama işlemi LabView veri toplama ve izleme sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Weiland ve ark., (2014) yaptıkları araştırmada PLC kontrollü bir otomasyon sistemi ile donatılmış pilot bir gazlaştırma sistemi kullanmışlardır. Çalışmalarında yürütülen bu araştırmaya benzer şekilde, güvenilir bir proses kontrol ve otomasyon için PLC kontrollü bir sistemi tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Araştırmalarında, deneme

koşullarını bir veri bankasında depolamışlardır. Erlich ve Fransson, (2011) çalışmalarında, aşağı akışlı bir reaktör için verimli bir gazlaştırma için hazırlanan ön char yatağını ve bu yatak oluşumundaki yatak bölgesi basınç düşüşünü gösteren bir ölçüm düzeneği kullanmışlardır. Gobel ve ark., (2007) yaptıkları araştırmada sabit yataklı bir gazlaştırıcı için bilgisayar modeli geliştirmişler ve bunu gazlaştırıcı optimizasyonu ve kontrolü için kullanmışlardır. Kullandıkları char gazlaştırma reaktörünü bir veri toplama kontrol sistemi ile donatmışlardır. Jain ve Gros, (2000) yaptıkları deneysel çalışmada, boğazsız tip pirinç kavuzu gazlaştırıcısı için reaktör ölçek faktörünü saptamışlardır. Denemelerin yürütüldüğü gazlaştırıcı düzeneğinde sıcaklık ölçümü için K tipi termokupl kullanmışlardır. Verileri, HP veri toplama sistemi ile elde etmişlerdir. Sistemde basınç ve debi ölçümünü de kullandıkları sensörler ile gözlemlemişlerdir. Ayrıca farklı bölgelerdeki isteğe bağlı sıcaklık ölçümleri için de bir adet el tipi dijital termometre kullanmışlardır.

İncelenen önceki araştırmalardaki ortak nokta gazlaştırma reaktörleri ile yürütülecek araştırmalarda veri toplama ve kontrol sistemlerinin kullanılmış olmasıdır. Araştırmacılar deney koşullarının izlenebilmesi ve kaydedilebilmesi için kurdukları laboratuvar tipi gazlaştırıcılarını görüntüleme ve kontrol sistemleri ile donatmışlardır.

Bu araştırmada geliştirilen PLC tabanlı veri toplama ve kontrol sistemi modüler yapıda tasarlandığı için farklı reaktörlerde kullanılabilir yapıdadır. Üzerindeki veri toplama modülleri ihtiyaca bağlı olarak genişletilebilmektedir. Bu sayede sistem farklı sayı ve tiplerdeki algılayıcılar ile donatılabilmektedir. Bu da sisteme esneklik kazandırmaktadır.

Materyal ve Yöntem

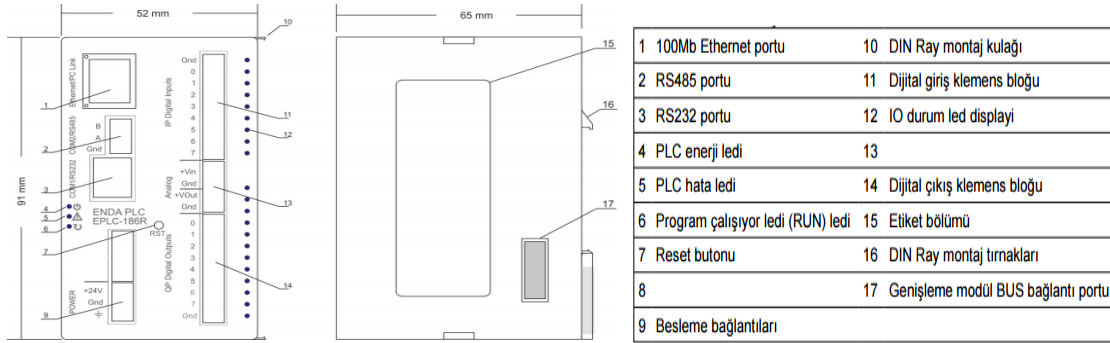
Materyal

Yürütülen bu çalışma ile küçük ölçekli gazlaştırıcılar üzerine monte edilerek gazlaştırma süreçlerinin izlenmesini sağlayacak PLC kontrollü bir veri toplama ve kontrol sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem analog ve dijital giriş/çıkış modülleri ile donatılmış olup genişletilmeye uygun bir yapıdadır. Şekil 1'de PLC tabanlı veri toplama ve kontrol sisteminin gazlaştırıcı üzerine monte edilmiş hali sunulmuştur.



Şekil 1. Sistemde kullanılan ölçüm ve kontrol sisteminin reaktör üzerindeki görünümü

Figure 1. Appearance of the used measuring and control system on the reactor



Şekil 2. PLC bölümleri ve isimleri

Figure 2. PLC partitions and names

Geliştirilen bu sistemde; debi, sıcaklık, ağırlık ve basınç ölçümü yapılabilmektedir. Sistem ayrıca gazlaşma prosesinin ihtiyaç duyduğu vakum koşullarının oluşması için bir adet vakum blowerin devir kontrolünü de yapmaktadır. Ölçülen değerler sistem üzerinde 7" TFT ekran üzerinden görüntülenmektedir ve bilgisayar bağlantısı olmaksızın ekranın USB portuna takılan USB belleğe kaydedilmektedir.

Sistem bileşenleri

PLC

Kontrol sisteminde CPU modülü olarak Enda ELC-186R (Şekil 2) kullanılmıştır. PLC 24VDC enerji ile beslenmektedir. PLC ünitesi CPU, 8 dijital giriş, 6 röle çıkışı noktalarından oluşmaktadır. Giriş-çıkış kapasitesi genişleme modülleri ile 256 noktaya

kadar arttırılabilmektedir. Çıkış birimi 6 adet 220 V 3A çıkışlı rölelerdir.

PLC genişleme modülleri

İki adet GXM-40U, bir adet GXM-40A ve bir adet de GXM-10L genişleme modülü kullanılmıştır. Bu modüller CPU modülü ile birlikte çalışmaktadır ve CPU modülü tarafından dahili olarak beslenirler.

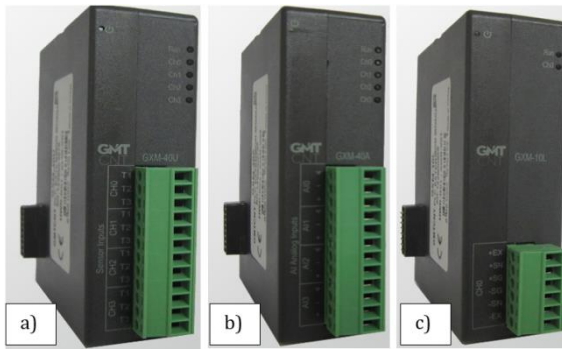
GXM-40U sıcaklık sensörü genişleme modülü: 4 kanal universal girişe sahiptir. 15 bit çözünürlük, 0.1°C okuma hassasiyetindedir. Modülün uyumlu olduğu algılayıcılar; B, C, E, J, K, N, R, S, T tipi termokupllar, PT-100 veya PT-1000 tipi RTD'ler (rezistans ısı direnç) sayılabilir. 2 ve 3 kablolu bağlantı tiplerini destekler. Hat direnci maksimum 20 Ω'dur. Giriş yinleme hızı 10 Hz'dir. Güç tüketimi maksimum 2 W'tır. Şekil 3a'da bu modül görülmektedir.

GXM-40A analog giriş modülü: 4 kanal, giriş değerleri opsiyonel 0-10 VDC, 0-20 mA, 4-20 mA olarak seçilebilen analog girişe sahiptir. Kanallar birbirinden bağımsız farklı giriş tipi olarak kullanılabilir. Kanallar galvanik izolelidir. Çözünürlük, 16 bit (0...65535), doğruluğu +/- %0.5'tir. Okuma hızı 50 Hz'dir. Güç tüketimi maksimum 2 W'tır. Şekil 3b'de bu modül sunulmuştur.

GXM-10L yük hücresi genişleme modülü: Tek kanal yük hücresi girişine sahiptir. Yük hücresi besleme voltajı 5 V'tur. Yük hücresi türüne ve kapasitesine bakılmaksızın bu voltajı destekleyen tüm ürünlerle kullanılabilir. 4 ve 6 kablolu

bağlantıları destekler. 6 kablolu bağlantı tercih edildiğinde kablo kompanzasyonu yapıldığı için kablo boyu ölçüm sonucunu etkilemez. Yük hücresi bağlantı durumunu otomatik olarak tespit eder. Çözünürlüğü 24 bittir. Giriş yineleme hızı 100 Hz'dir.

Yük hücresinin tam yükü ve kazanç değeri üreticisinin teknik kılavuzundan alınarak EndaSoft donanım konfigürasyonuna eklenmiştir. Yük hücresinin tanımlanması ile girilen tam yük değerine bağlı olarak sistem değer ölçüm yapmaktadır. Şekil 3c'de GXM-10 L yük hücresi genişleme modülü görülmektedir.



Şekil 3 a) GXM-40U sıcaklık sensörü genişleme modülü b) GXM-40A analog giriş modülü c) GXM-10 L yük hücresi genişleme modülü

Figure 3. a) GXM-40U temperature sensor expansion module b) GXM-40A analog input module c) GXM-10 L load cell expansion module

Operatör paneli (HMI)

PLC tabanlı sistemlerde operatörlerin, sistemle haberleşmesini sağlamak için operatör panelleri (HMI-Human Machine Interface) kullanılmaktadır. Böylece operatörler bu ekranlar aracılığı ile süreç değişkenlerini gözlemleyebilmekte ve gerektiğinde bunları değiştirerek denetimler yapabilmektedir. Kullanılan operatör paneli Enda EOP 41-70ETE modelindedir. 7" operatör paneli, 65536 renk, TFT ekran, 32 bit 800MHz CPU, 16MB flash, 32MB SDRAM hafıza, RTC (Gerçek Zaman Saati), USB portu, RS232/RS485/RS422 haberleşme portuna sahiptir.

İnverter

Sistemde vakum fanı motorunun frekans kontrolü Siemens Sinamics G110 inverter (Şekil 4) ile yapılmaktadır. Otomasyon panosuna yerleştirilen inverter, operatör paneli (HMI) üzerinden kontrol edilmektedir.

Vakum Fanı (Blover)

Vakum blower olarak GREENCO 2RB 210-7AH16 modeli (Şekil 4) kullanılmıştır. Tek fazlı ve iki kutupludur. 50 Hz ve 60 Hz frekanslarında çalışabilir. 50 Hz frekansında basınç 13 kPa ve maksimum hava akışı $80 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, 60 Hz frekansında basınç 11 kPa ve maksimum hava akışı $98 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ 'dir.



Şekil 4. Siemens Sinamics G110 inverter ve GREENCO 2RB 210-7AH16 vakum fanı

Figure 4. Siemens Sinamics G110 inverter and GREENCO 2RB 210-7AH16 vacuum fan

Basınç Sensörleri

İki adet Keller PR-21Y iki telli basınç sensörü (Şekil 3-9) kullanılmıştır. Sensörün giriş aralığı -1...+1 bar, çıkış aralığı ise 4...20 mA'dir. Besleme gerilimi 8...32 VDC aralığındadır. Mekanik basınç bağlantısı G ¼" erkek dışlıdır.

Debimetre

Reaktörün çalışma debisinin kontrolü için orifis tipi bir debimetre kullanılmıştır. 2 mm paslanmaz çelikten imal edilen orifis plakası 2" boru flanşları arasına yerleştirilmiştir. Orifis deliğinin yüksek basınç tarafı 1 mm düz, alçak basınç tarafı ise 45° pahlı olarak EN ISO5167-2 standardına uygun şekilde işlenmiştir. Kullanılan debimetre orifis çapı 18 mm olup sistem fark basınçları Dwyer 616 KD fark basınç sensörü ile ölçülmüştür. Sensör kapasitesi ± 250 kPa'dır.

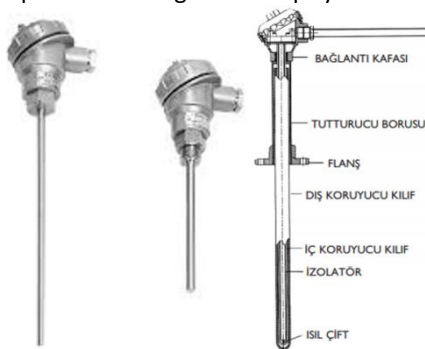
Yük Hücreleri

Sistemde ağırlık ölçümü için ESİT lama tipi BB100 yük hücreleri (Şekil 3-10) kullanılmıştır. Yük hücresinin kapasitesi 100 kg, aşırı yüklenme kapasitesi 150 kg'dır. BB tipi yük hücreleri, eğme

kuveti prensibi ile çalışan elektronik ağırlık ve kuvvet ölçme uygulamalarında kullanılmaktadır. Kalibrasyon sertifikaları olan bu sensörler PLC üzerinden data alınarak sıfırlanabilmektedir.

Termokupllar

Termokupl, iki farklı metal alaşımın uçlarının kaynaklanması ile elde edilen bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Sıcaklık farkına orantılı olarak mV değerlerinde gerilim çıkışı verirler. Geliştirilen kontrol sisteminde sıcaklık ölçümlerinde K tipi termokupllar kullanılmıştır. Nikel (-) ve Nikelkrom (+) bacadan oluşan bu termokupl oksitleyici ortamlarda tercih edilir. 1300°C'ye kadar mV değeri üretmesine rağmen yaygın olarak 1200°C'ye kadar kullanılır. Termokupllar dış koruyucu kılıf, bağlantı parçaları, eleman telleri, izolatörler, gaz geçirmez ikinci boruları, klemens, bağlantı kafası, tutturucu borusu ve çeşitli aksesuarları ile bir bütündür. Algılaması yaklaşık olarak $41 \mu V^{\circ}C^{-1}$ 'dir. Şekil 5'de K tipi termokupl ve bağlantı seti görülmektedir. Sistemde kullanılan tüm algılayıcılar gibi termokupllar da sertifikalı kalibrasyonu yapılmış ürünlerden seçilmiştir.



Şekil 5. K tipi termokupl

Figure 5. K-type thermocouple

Sistem Yazılımları

Sistemde PLC programlamak için Endasoft editör programı ve Enda operatör panelleri (HMI) için geliştirilen editör programlama yazılımları kullanılmıştır.

PLC Programlayıcı

PLC programlayıcısı olarak EndaSoft PLC editör programı kullanılmıştır (Şekil 6). Bu editör programı endüstride yaygın olarak tercih edilen Ladder (Merdiven) metodunu desteklemektedir. ENDA Soft programı, üzerine kurulan simülasyon eklentisi ile PLC olmadan da yazılan PLC programını offline olarak simule edebilme ve gerekli kontrolleri gerçekleştirilebilme özelliğine sahiptir. Editör programına, gerçek sistemde kullanılan PLC CPU tipini ve genişleme modüllerini tanıtmak gerekmektedir. Bunların yanında hangi

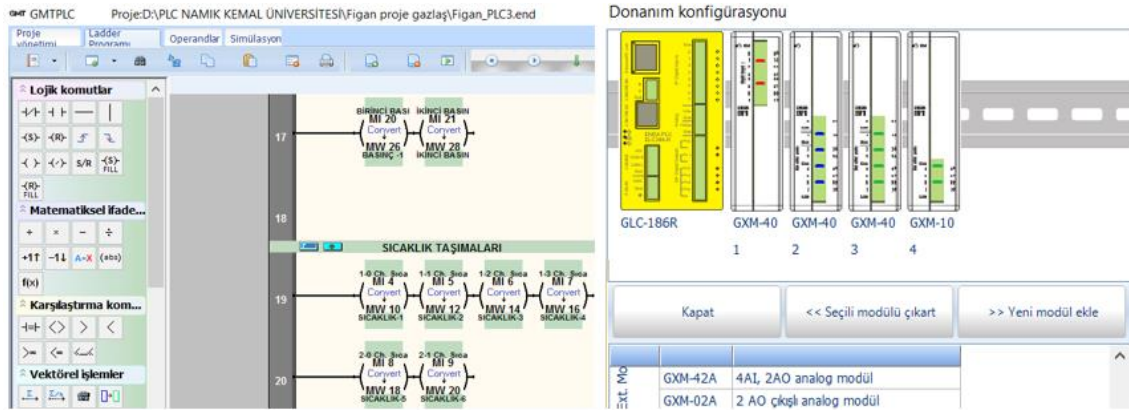
modüllerin giriş/çıkış noktalarının hangi adreslere yerleşeceği de tanımlanmalıdır. Bunun için donanım konfigürasyonu (Şekil 6) kullanılır.

HMI Programlayıcı

HMI (Human Machine Interface- operatör paneli) programlayıcısı olarak ENDA_V2.0 HMI editör programı kullanılmıştır. Bu programlayıcı üzerinde operatör panelinin görsel ve fonksiyonel tasarımı gerçekleştirilmektedir. Şekil 7'de editör programı ekranında tasarlanan HMI programı açılış sayfası görülmektedir.

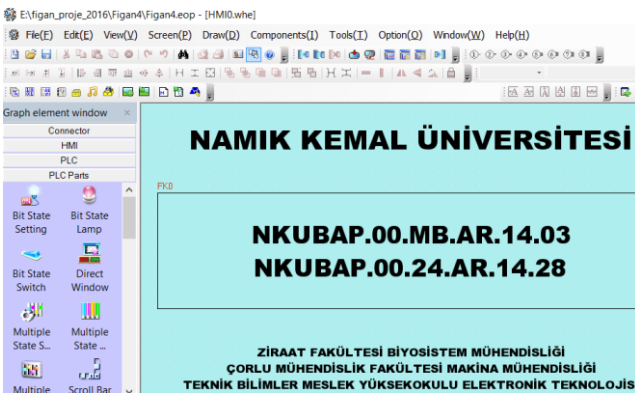
Gazlaştırıcı Reaktörü

Geliştirilen PLC tabanlı veritoplama ve kontrol sistemi NKUBAP.00.24.AR.14.28 projesi kapsamında geliştirilen aşağı akışlı, sabit yataklı ve boğazsız tipte laboratuvar tipi gazlaştırıcı üzerinde test edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 6. Enda Soft PLC editör programı ve donanım konfigürasyonu penceresi

Figure 6. Enda Soft PLC editor program and hardware configuration window



Şekil 7. 15 ENDA_V2.0 HMI editör programı ekran görüntüsü

Figure 7. ENDA_V2.0 HMI editor program screenshot



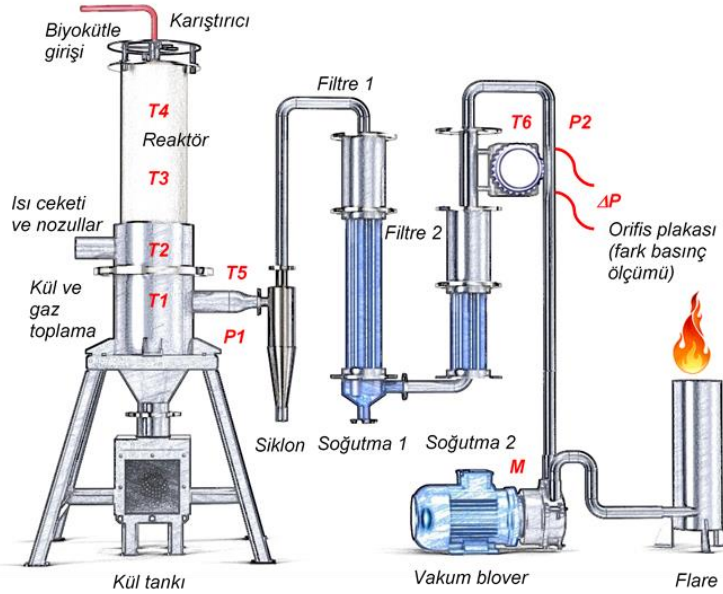
Şekil 8. Denemelerde kullanılan gazlaştırma reaktörü

Figure 8. The gasification reactor used in the experiments

Yöntem

Araştırmada tasarımı gerçekleştirilmiş olan veri toplama sistemi ile donatılmış laboratuvar tipi gazlaştırıcı sistemde kullanılan algılayıcıların, iş yapan elemanların, PLC'nin ilgili giriş ve çıkışlarına bağlanması ile veri toplama, depolama ve kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir. Reaktörün çalışma süreçleri esnasında toplanan verilerin ekranda

izlenmesi ve de gerekli komutların sisteme gönderilmesi için de bir operatör paneli kullanılmıştır. Prototip veri toplama sisteminin genel ölçüm noktaları Şekil 9'da sunulmuştur. Sıcaklık, ağırlık ve basınç bilgileri ölçülerek operatör paneline takılan bir flash belleğe kaydedilmektedir. Böylelikle bilgisayara gerek duyulmadan veri toplama, izleme ve kayıt işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 9. Veri toplama ve kontrol sisteminin laboratuvar tipi gazlaştırıcı üzerindeki ölçüm noktaları

Figure 9. Measuring points of the data collection and control system on the laboratory type gasifier

PLC Programı

Yapılan bu çalışmada, Namık Kemal Üniversitesi NKUBAP.00.24.AR.14.28 nolu projesi kapsamında geliştirilen laboratuvar tipi gazlaştırıcı sisteminin üzerine monte edilen çeşitli algılayıcılar sayesinde

sıcaklık, basınç ve ağırlık bilgilerini izleme ve motor kontrolü, PLC ile yapılmıştır. Yukarıda anılan diğer proje ile beraber yürütülen bu araştırmada; hazırlanan PLC programı ile algılayıcılardan alınan analog ve dijital sinyaller işlenerek sistemin

çalışma halindeki denetimleri otomatik olarak yapılmıştır. PLC ve genişleme modülleri, operatör paneli ile Modbus fonksiyonu kullanılarak RS232 standardında haberleşmektedir. Bu uygulamada yapılan PLC programının bir kısmı ve Modbus fonksiyon bloğu Şekil 10'da sunulmuştur.

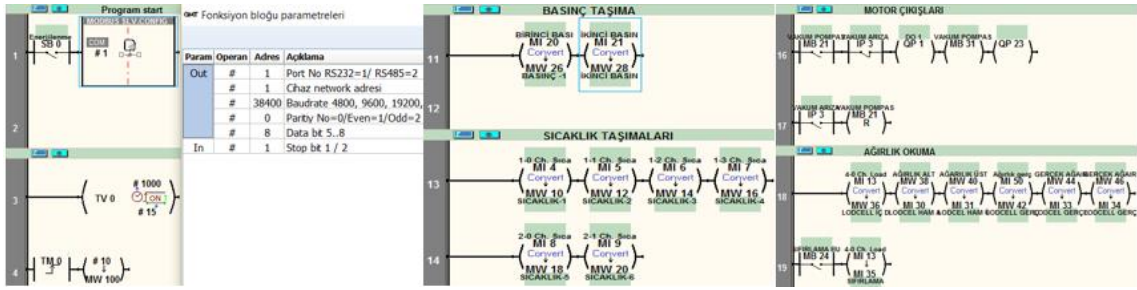
Endasoft PLC editör programı kullanılarak merdiven yöntemi ile oluşturulan PLC programları simülasyon eklentisi ile PLC'ye yüklenmeden önce offline simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlar sonucu PLC programında gerekli değişiklikler yapıldıktan sonra PLC'ye yüklenerek denemeler yapılmış ve program istenilen hale getirilmiştir. PLC aracılığı ile alınan veriler HMI panele gönderilmiş ve de HMI panele takılan flash belleğe

kaydedilmiştir. Şekil 10'da yazılan PLC program kodlarının bir kısmı görülmektedir.

Operatör Paneli Ekran Tasarımı

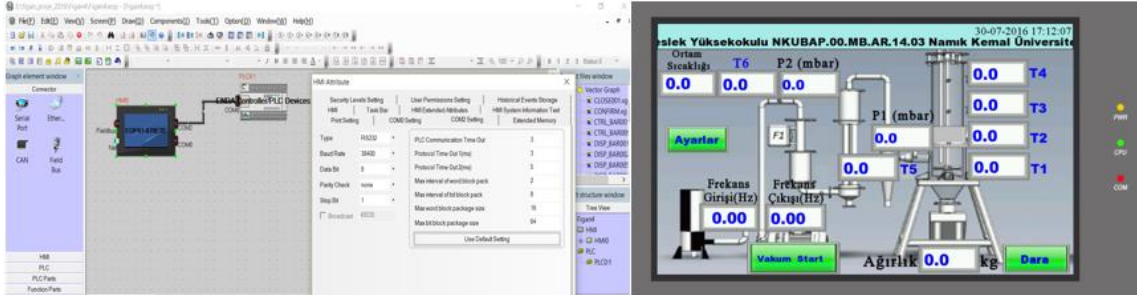
Gazlaştırıcı sisteminin süreç değişkenlerinin (sıcaklık, basınç, debi ve ağırlık) izlenmesi ve kaydedilerek saklanması için operatör paneli kullanılmıştır. Operatör paneli dizüstü bilgisayara yüklenen Enda_V2.0 programı ile yazılmış ve USB kablo ile panele yüklenmiştir. Şekil 11'de Enda_V2.0 programı görülmektedir. Panelin, PLC ile bağlantısı COM portu üzerinden RS232 seri haberleşme ile yapılmıştır.

Tasarlanıp offline simülasyonları yapılarak son halini alan programın ana ekran görüntüsü Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 10. Gazlaştırıcı sisteminin PLC programından görünüm ve yazılan PLC programından satırlar

Figure 10. Appearance of the gasifier system from the PLC program and lines of the written PLC program



Şekil 11. Enda_V2.0 program görüntüsü ve HMI panele yüklenen programın ana ekranı

Figure 11. Enda_V2.0 Program display and main screen of the program downloaded to HMI

Sıcaklık Ölçümleri

Gazlaştırma prosesinde sıcaklıkların ölçülerek takip edilmesi, kimyasal gazlaştırma reaksiyonların istenen şekilde gerçekleşmesinin sağlanması açısından kritik önem taşımaktadır. Gazlaştırmanın istenen şekilde gerçekleşebilmesi için gazlaştırıcının tipine ve çalışma şekline bağlı olarak reaktörde belli reaksiyon bölgelerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu bölgelerde

istenen gazlaştırma aşamalarının gerçekleşebilmeleri için belli sıcaklık aralıklarında tutulmaları şarttır.

Reaktör üzerindeki altı ayrı noktadan GXM-40U genişleme modüllerine bağlanan K tipi termokupllar aracılığı ile sıcaklık bilgisi okunarak, bir dakika ara ile HMI panele takılan flash belleğe kaydedilmiştir. Aynı zamanda anlık sıcaklık bilgileri

HMI panel üzerinde tasarlanan program aracılığı ile görüntülenmiştir.

Ağırlık Ölçümleri

Yanma hızının değişmesi gazlaştırma verimini etkilemekte ve kontrol altında tutulması gerekmektedir. Reaktöre yüklenen biyokütle miktarındaki kütleli değişim, yanma hızı için iyi bir göstergedir ve reaksiyonların kontrol altında tutulması için bir referans değer olarak kullanılabilir.

Gazlaştırma esnasında biyokütle yanma hızını tespit edebilmek amacı ile ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Üç adet Esit BB100 lama tipi yük hücreleri yardımı ile reaktör içerisindeki biyokütle ağırlık değişimleri ölçülmüştür. Ağırlık değişimlerini algılayan yük hücreleri GMT GXM-10L yük hücresi genişleme modülüne bağlanmıştır. PLC sistemi ile alınan ağırlık bilgileri anlık olarak HMI panele gönderilmiş ve de bir dakika ara ile kaydedilmiştir.

Vakum Fanı (blower) Kontrolü

Gazlaştırma işlemi, yakıt olarak kullanılan biyokütle materyalinin kimyasal içeriğine bağlı olarak tam yanma için gereken stokiyometrik hava miktarının %20-40'ı kadarının ortama verilmesini gerektirmektedir. Yani hava eşdeğerlilik oranı veya hava fazlalık katsayısı olarak da ifade edilen değer 0.2-0.4 arasında olmalıdır. Bu katsayının istenen aralıkta tutulması sisteme verilen hava miktarının ayarlanması ile mümkün olmaktadır. Bu da sistemde bulunan vakum fanı yardımı ile sağlanmaktadır. Geliştirilen kontrol sisteminde HMI kontrol paneli üzerinden fan motorunu

kontrol eden sürücü frekansının değiştirilmesi ile reaktör gazlaştırma debisi düzenlenmektedir.

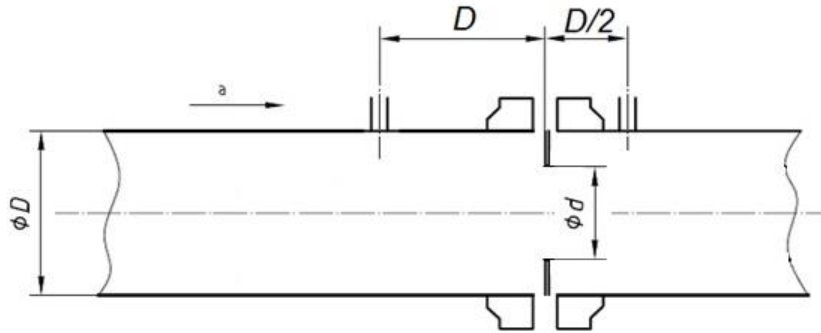
Basınç Ölçümleri

Reaktörün biyokütle ile yüklenmesi ile sistemdeki hava akışına karşı bir yatak direnci oluşur. Yatak yüksekliğinin azalması ile bu direnç de azalır. Ayrıca filtre elemanlarının kirliliği hakkında da basınç değişimlerinin takibi ile fikir sahibi olmak mümkün olmaktadır. Basınçların izlenmesi, hava akışının oluşmasını sağlayan vakumun panel üzerinden takip edilmesini sağlayarak akışın istenen şekilde gerçekleşip gerçekleşmediğinin göstergesi olmaktadır.

Geliştirilen sistemde reaktör çıkışında ve blower öncesi olmak üzere iki noktadan basınç ölçümü yapılmaktadır. GMT GXM-40A analog giriş modülüne bağlanan iki adet Keller +/- 1 bar kapasiteli, 4-40 mA analog çıkışlı basınç sensörleri ile ölçümler yapılmıştır. Ölçülen basınç bilgileri anlık olarak HMI panele gönderilmiş ve de bir dakika ara ile kaydedilmiştir.

Debi ölçümü

Elde edilen gazın debisi orifis plakası ve fark basınçölçer yardımıyla ölçülmektedir. Sistem, reaktörün çalışma koşullarına bağlı olarak oluşan vakum etkisi ile orifis plakasının her iki tarafında oluşan basınç farkına bağlı olarak ölçüm yapmaktadır. Basınç boruları orifis kesitine yüksek basınç tarafında D (boru iç çapı) kadar, alçak basınç tarafında da D/2 kadar mesafede bağlanmıştır (Şekil 12). Sistem içerisinde gazın emişi, devir kontrollü bir vakum fanı tarafından sağlanmaktadır. Vakum fanından çıkan sentez gazı yakma ünitesinde (flare) yakılmaktadır.



Şekil 12. Orifis bağlantısı şematik görünümü (EN ISO 5761-2)

Figure 12. Schematic view of orifice connection (EN ISO 5761-2)

EN ISO 5761-2'ye göre yapılan hesaplamalarda kütleli debi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta P \rho}$$

Burada;

q_m : Kütleli debi [kg s^{-1}]

C : Deşarj sabiti

ε : Sıkıştırılabilirlik sabiti

ΔP : Fark basınç [Pa]

β : Çaplar oranı

d : Orifis çapı [m]

ρ : Akışkan yoğunluğudur [kg m^{-3}].

Reaktör içerisindeki vakum sayesinde çekilen sentez gazı CO , H_2 , CO_2 , CH_4 , N_2 bileşenlerinden

oluşan bir gaz karışımıdır. Denemelerde farklı basınç kademeleri uygulanarak elde edilen sentez gazları gaz kromatografi cihazı ile analiz edilerek, karışım oranları tespit edilmiştir. Karışımın yoğunluğu bu hacimsel oranlar esas alınarak belirlenmiştir. Orifis girişinde okunan T6 sıcaklığındaki yoğunluk değeri hesaplanarak, akışkan yoğunluğu olarak alınmıştır.

Hacimsel debi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır. Burada ρ , akışkanın standart şartlardaki ($T=0^\circ\text{C}$, $P=1\text{atm}$) yoğunluğu olarak alınmak suretiyle soğuk gaz debisi [$\text{Nm}^3 \text{h}^{-1}$] olarak bulunmuştur. Akışkanın farklı sıcaklıklardaki yoğunluk hesaplamaları için ideal gaz kanunları uygulanmıştır.

$$q_v = \frac{q_m}{\rho}$$

Çaplar oranı $\beta = d/D$ olarak alınmış ve deşarj sabiti C aşağıdaki Reader-Harris/Gallagher eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,000521 \left(\frac{10^6 \beta}{Re} \right)^{0,7} + (0,0188 + 0,0063A)\beta^{3,5} \left(\frac{10^6}{Re} \right)^{0,3} \\ + (0,043 + 0,080e^{-10L_1} - 0,123e^{-7L_1})(1 - 0,11A) \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} \\ - 0,031(M_2 - 0,8M_2^{1,1})\beta^{1,3} + 0,011(0,75 - \beta) \left(2,8 - \frac{D}{25,4} \right)$$

Bu eşitlikte EN ISO 5761-2'ye uygun olarak; $L_1 = 1$ ve $L_2 = 0,47$ olmak üzere, M_2 ve A için aşağıdaki ifadeler esas alınmıştır:

$$M_2 = \frac{2L_2}{1-\beta}, \quad A = \left(\frac{19000\beta}{Re} \right)^{0,8}$$

Reynolds sayısı ise aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır.

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu}$$

Burada V akışkanın kesit içindeki hızı [m s^{-1}], μ ise dinamik (mutlak) viskozitesini [Pa s] belirtmektedir. ρ akışkan yoğunluğu [kg m^{-3}] ve d boru iç çapı [m] olarak alınmaktadır.

Sıkıştırılabilirlik katsayısı için ise aşağıdaki eşitlik uygulanmıştır. Burada κ izentropik üssü ifade etmektedir. P_1 orifis girişindeki yüksek basıncı [Pa], P_2 de orifis çıkışındaki düşük basıncı [Pa] göstermektedir.

$$\varepsilon = 1 - (0,351 + 0,256\beta^4 + 0,93\beta^8) \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/\kappa} \right]$$

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada geliştirilen otomasyon sisteminin performansı, Namık Kemal Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği ile geliştirilen biyokütle gazlaştırma reaktörü üzerine monte edilerek denenmiştir. Yapılan denemelerde Trakya Bölgesinde tarımı yapılan kanola bitkisinin saplarından üretilmiş peletler kullanılmıştır (Şekil 13). Denemelerde reaktöre 4 kg'lık kanola peleti yüklenmiştir. Verilerin kaydedilmesi işlemi gazlaştırma sürecinin sonuna kadar devam etmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen ölçüm sistemi gazlaştırıcı üzerine monte edilerek yapılacak olan biyokütle gazlaştırma denemelerinin çalışma koşul ve parametreleri kaydedilmiştir. Elde edilen veriler MS Excel programında işlenebilecek yapıda .xls dosyası olarak depolanmıştır. Denemelerde kanola peleti kullanılmasına rağmen; geliştirilen sistem ile

donatılmış gazlaştırıcı farklı partikül boyutlarında hazırlanan çeltik ve kanola sap örneklerini pelet yapılmadan ve pelet yapılarak gazlaştırılabilecek yapıdadır.



Şekil 13. Kanola peletleri ve reaktör iç görünümü

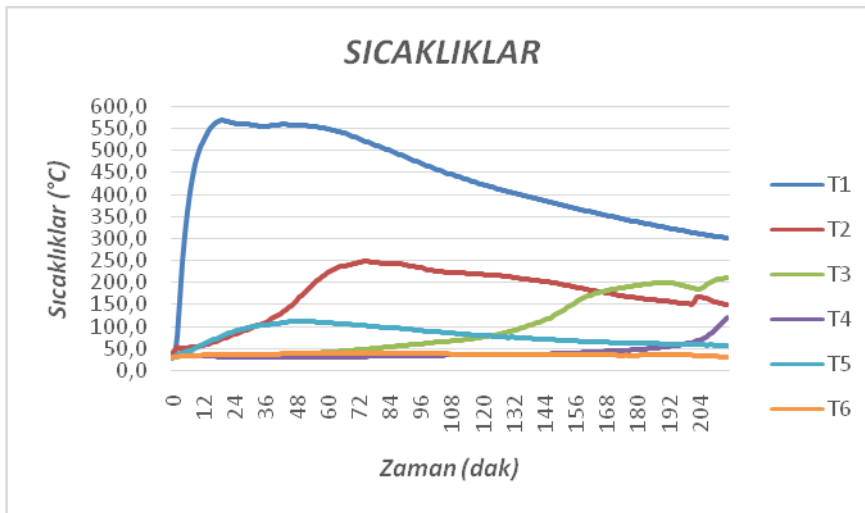
Figure 13. Canola pellets and reactor interior view

Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Gazlaştırma süresince kaydedilen sıcaklık değerlerine ilişkin eğriler Şekil 14’de verilmiştir.

Reaktörde gazlaştırma prosesinin başından itibaren 7 ayrı noktadan sıcaklık ölçümleri dakikada bir veri olmak üzere başarılı bir şekilde alınarak kaydedilmiştir. Grafikte en büyük sıcaklık

değeri beklenildiği üzere kor bölgesinde (T1) görülmüş, prosesin ilerlemesi ile kor bölgesi üst bölgelere taşındıkça T2 ve ardından diğer sıcaklıklarda da yükselme görülmüştür. Ortam sıcaklığında deneme süresince bir değişme gözlenmediği için grafiklerde T0 (ortam sıcaklığı) eğrisi gösterilmemiştir. Denemeler sırasındaki ortam sıcaklığı 28.5 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 14. Gazlaştırma süresince kaydedilen sıcaklık eğrileri

Figure 14. Temperature curves recorded during gasification

Basınç Ölçüm Sonuçları

Gazlaştırma prosesi boyunca basınç değerleri panodan başarılı bir şekilde okunmuş ve sorunsuz bir şekilde kaydedilmiştir. Elde edilen veriler

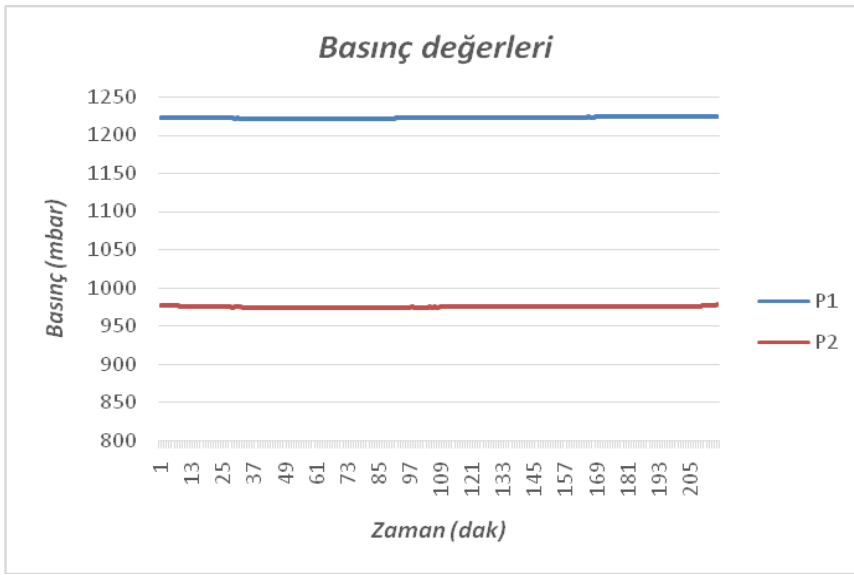
gazlaştırma süresince stabil bir vakum sağlandığını göstermekte, herhangi bir akış tıkanıklığı görülmemektedir. Kaydedilen basınç verileri Şekil 15’de grafik olarak verilmiştir.

Ağırlık Ölçüm Sonuçları

Yapılan denemelerde ağırlık ölçümü de sınanmış ve darası alındıktan sonra reaktöre yüklenen 4 kg biyokütle için yapılan bir deneme ile biyokütle yakıtının kütle kaybının zamanla değişimine ilişkin grafik Şekil 16'daki gibi elde edilmiştir. Bu yakıt tüketim hızının tespiti için önemli bir parametredir. Gazlaştırma denemeleri sonunda tespit edilecek yakıt tüketim hızı ile ağırlık değişimi arasında bu ölçüm sayesinde doğrudan bir ilişki kurmak mümkün olabilecek ve bu da çalışma sırasında yakıt tüketim hızının anlık takibini kolaylaştıracaktır.

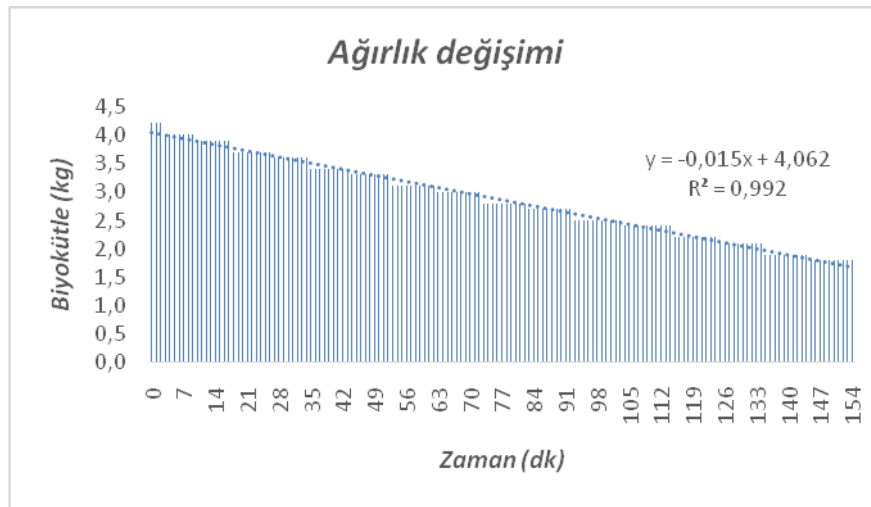
Debi Ölçüm Sonuçları

Kanola sapı peletleri, 3 farklı vakum kademesi uygulanarak gazlaştırılmış ve orifis kesitinde okunan 2.0 mbar, 2.6 mbar ve 3.4 mbar fark basınç değerlerine karşılık gelen kütsel debi (kg h^{-1}) ve standart şartlardaki hacimsel debi değerleri ($\text{Nm}^3 \text{h}^{-1}$) elde edilmiş ve Tablo 1'de verilmiştir. $\text{Nm}^3 \text{h}^{-1}$ değerlerinde standart şartlar için $T=0^\circ\text{C}$ ve $P=1 \text{ atm}$ alınmıştır. Uygulanan fark basınçlar ve sonucunda elde edilen soğuk gaz debilerini gösteren eğri Şekil 17'de sunulmuştur.



Şekil 15. Gazlaştırma süresince kaydedilen basınç eğrileri

Figure 15. Pressure curves recorded during gasification

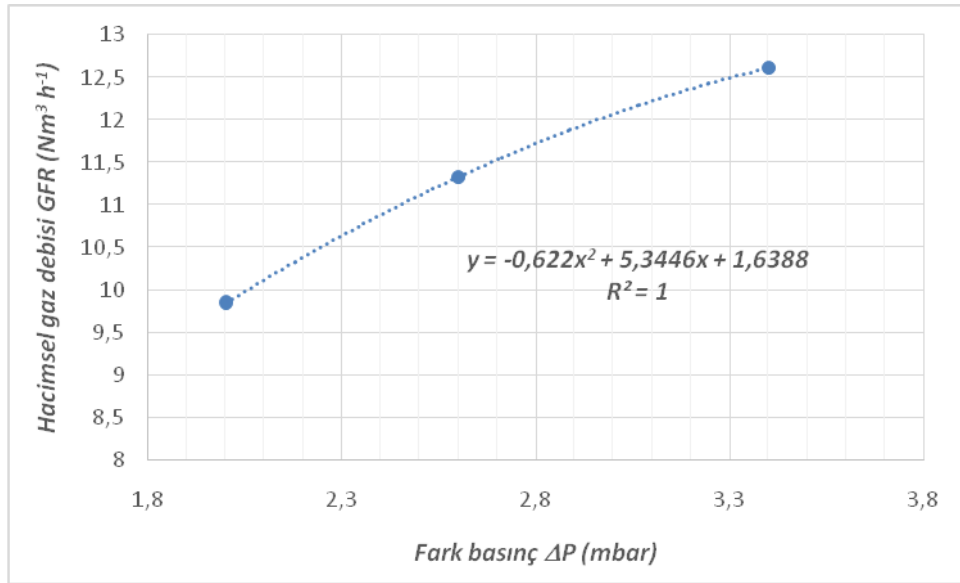


Şekil 16. Ağırlık ölçümü ile elde edilen ağırlık değişim hızı eğrisi

Figure 16. Weight change rate curve obtained by weight measurement

Tablo 1. Kanola peletleri gazlaştırma denemelerinde sentez gazı debi ölçüm sonuçları

ΔP (mbar)	Tgaz (°C)	Gaz debisi (kg h ⁻¹)	Gaz debisi (Nm ³ h ⁻¹)
2.0	48.6	11.032	9.836
2.6	52.4	12.194	11.334
3.4	56.2	14.113	12.619



Şekil 17. Fark basınç - gaz debisi eğrisi

Figure 17. Differential pressure - gas flowrate curve

Sonuç ve Öneriler

Yürütülen bu çalışma ile küçük ölçekli gazlaştırıcılar üzerine monte edilerek gazlaştırma süreçlerinin izlenmesini sağlayacak PLC kontrollü bir veri toplama ve kontrol sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem yapısal olarak genişletilmeye uygun analog ve dijital giriş/çıkış modülleri ile donatılmıştır. Bu genişleyebilen yapı, geliştirilen kontrol sisteminin daha fazla kanal sayısına gereksinim duyan farklı boyutlardaki gazlaştırıcılarda kullanılmasına veya geliştirilen gazlaştırıcının daha çok noktadan veri toplayabilmesine imkan vermektedir.

Yedi sıcaklık, iki basınç, bir ağırlık ve bir de debi kontrolünden oluşan sistem üzerine ek algılayıcılar eklenerek sistemin çözünürlüğü artırılabilir. Böylece reaktör üzerindeki daha çok noktadan alınacak ek veriler gazlaştırma süreçlerinin daha hassas izlenmesini sağlayacaktır.

Biyokütle gazlaştırma sistemleri biyokütle yakıtının özelliklerine bağlı olarak farklı çalışma koşullarına ihtiyaç duymaktadır (farklı yanma hızları, farklı sıcaklıklar, farklı vakum değerleri). Sistemlerin

verimli çalışacağı proses şartlarının tespit edilmesi ve istenen şekilde sağlanabilmesi için özellikle sıcaklık ve basınç gibi değişkenlerin doğru, hızlı ve kolay şekilde okunması önem taşımaktadır. Ayrıca ağırlık ölçümünün sürekli olarak yapılması özgül gazlaşma hızı ve yakıt tüketim hızının da tespit edilmesini kolaylaştırmaktadır.

Araştırmada tasarımı gerçekleştirilen PLC tabanlı veri toplama ve kontrol sisteminin başarılı bir şekilde kendisinden beklenen veri toplama ve kontrol işlemlerini gerçekleştirdiği gözlenmiştir.

Sıcaklık, basınç ve ağırlık verileri sağlıklı bir şekilde toplanabilirken blower debi kontrolü de motor frekans düzenlemeleri ile istenilen oranda emiş sağlamıştır. Yapılan veri toplama çalışmalarında da geliştirilen prototip sistemin başarılı bir şekilde flash bellek üzerine veri kayıtlarını gerçekleştirebildiği görülmüştür. Sonuçlar bulgular kısmında da sunulmuştur.

Teşekkür

Bu araştırma NKUBAP.00.MB.AR.14.03 proje numarasıyla, N.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir.

Araştırmada kullanılan laboratuvar tipi gazlaştırıcı N.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından desteklenen NKUBAP.00.24.AR.14.28 nolu proje kapsamında geliştirilmiştir.

Kaynaklar

Erlich, C., T. H. Fransson, 2011. Downdraft gasification of pellets made of wood, palm-oil residues respective bagasse: experimental study. *Applied Energy*, 88(3), 899-908.

Gobel, B., U. Henriksen, T. K. Jensen, T. K., B. Qvale, N. Houbak, 2007. The development of a computer model for a fixed bed gasifier and its use for optimization and control. *Bioresource Technology*, 98(10), 2043-2052.

Jain, A. K., J. R. Goss, 2000. Determination of reactor scaling factors for throatless rice husk gasifier. *Biomass and Bioenergy*, 18(3), 249-256.

Pedroso, D. T., E. B. Machín, J. L. Silveira, Y. Nemoto, 2013. Experimental study of bottom feed updraft gasifier. *Renewable Energy*, 57, 311-316.

Rajvanshi A. K., 1986, *Alternative Energy in Agriculture*, Bölüm 4, Vol. II, Nimbkar Agricultural Research Institute, PHALTAN-415523, Maharashtra, India CRC Press, pgs. 83-102.

Sharma, A. M., A. Kumar, R. L. Huhnke, 2014. Effect of steam injection location on syngas obtained from an air–steam gasifier. *Fuel*, 116, 388-394.

Striūgas, N., K. Zakarauskas, A. Džiugys, R. Navakas, R. Paulauskas, 2014. An evaluation of performance of automatically operated multi-fuel downdraft gasifier for energy production. *Applied Thermal Engineering*, 73(1), 1149-1157.

Weiland, F., M. Nordwaeger, I. Olofsson, H. Wiinikka, A. Nordin, 2014. Entrained flow gasification of torrefied wood residues. *Fuel Processing Technology*, 125, 51-58.