

Dolaşımli Akışkan Yataklı Bir Isıl – Güç Çevrim Santralinin Simülasyonu ve Duyarlılık Analizi

Murad A. RAHİM^{1,*}, Duygu GÜNDÜZ¹

¹*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fak., Makina Müh. Böl., ANKARA*

Başvuru: 19.02.2013 Düzeltme: 09.05.2013 Kabul: 16.05.2013

ÖZET

Ülkemizde kullanılan linyitlerin oldukça düşük kalorili oluşları, ayrıca içersinde yanmayı olumsuz yönde etkileyen ve hava kirletici emisyonlara neden olan nem, kül, kükürt ve uçucu maddelerin yüksek oranlarda bulunması nedeniyle; alışılmış yakma sistemlerinde gerekli biçimde temiz ve verimli yakılamamaktadır. Düşük kaliteli kömürlerin yakılması güçlüğüne karşı ve de emisyonların azaltılması bakımından en uygun yakma sistemleri, akışkan yataklı yakma sistemleridir. Bu tür yakma sistemleri, enerji kullanım verimi ve çevre kirlenmesi problemlerine karşı bir alternatif çözüm olmaktadır. Dolayısıyla linyitlerin verimli ve temiz yakılabilmesi için, yanmanın yüksek ısı depolu, türbülanslı, yapısal olarak özellikle SO₂, NO_x ve toz emisyonlarını önleyici bir ortamın sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, THERMOFLEX simülasyon programı kullanılarak, linyit yakıtlı bir dolaşımli akışkan yataklı güç çevrimi simülasyonu yapılmış ve optimizasyon için parametreler belirlenerek, maksimum güç için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu duyarlılık analizine göre, yüksek basınç giriş basıncı artırılmasıyla, sistem çıkış gücü %1,54 ve net elektrik verimi ise %2,70 arttığı görülmüştür. Akışkan yatağa giren ikincil hava sıcaklığı artığında ise, net elektrik üretimi %0,34 azalarak, diğer taraftan net elektrik verimi %0,56 artmaktadır. Ayrıca, yatak içersinde hava fazlalık katsayısının artırılması durumunda, net elektrik üretimi %2,10 artış göstermekte, buna karşılık net elektrik verimi ise %0,37 düşmektedir.

Anahtar kelimeler: Akışkan yatak, linyit, termik santral, güç çevrim simülasyonu, duyarlılık analizi

ABSTRACT

As a consequence of the facts that the lignite used in our country has extremely low calorific values and contain volatile materials such as moisture, ash, sulfur causing air pollutant emissions; so this type of lignite cannot be burned efficiently and cleanly in the usual combustion systems. The most suitable combustion methods for surpassing the combustion difficulties of low quality coals and decreasing the emission rates shall be the fluidized bed combustion systems. This type of combustion systems shall provide an alternate solution for effectiveness of energy usage and problem of environmental pollution. Therefore, in order to provide effective

*Gönderen yazar, e-posta: mrahim@gazi.edu.tr

and clean combustion of lignite it is required to provide a suitable medium such as; heat, turbulence and including structural means for prohibiting particularly SO₂, NO_x and dust emissions. In this study, coal fired circulating fluidized bed combustion system had been simulated by using THERMOFLEX packet program and sensitivity analysis was carried out for the system for determination of parameters for optimization. As shown from the results that, increasing the high pressure steam pressure, the net power output and net electrical efficiency increases by 1.54% and 2.70%, respectively. Also, increasing the secondary air inlet to fluidized bed will decrease in net power output by 0.34% but the net electrical efficiency will increase by 0.56%. Increasing the excess air at fluidized bed, increases the net power output by 2.10% but the net electrical efficiency will decrease by 0.37%.

Key words: Fluidized bed, lignite, thermal plant, power cycle simulation, sensitivity analysis.

1. GİRİŞ

İnsanların ihtiyaçlarının karşılanmasında ve gelişmenin sağlıklı olarak sürdürülmesinde, gerekli olan enerji özellikle sanayi, konut ve ulaştırma gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Ancak enerji; yaşantımızdaki vazgeçilmez yararlarının yanı sıra üretim, çevrim, taşınım ve tüketim esnasında büyük oranda çevre kirlenmesine de yol açmaktadır.

Nüfus artışına sanayinin gelişmesine paralel olarak kurulan büyük ölçekli enerji üretim ve çevrim sistemleri, ekolojik dengeyi büyük ölçüde etkiledikleri gibi sınırlar ötesi etkileri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle çevre sorunları ulusal olduğu gibi uluslararası nitelikler de taşımaktadır. Yine bu nedenle çevre sorunlarını gidermek için, gerekli tedbirlerin alınmasında uluslararası işbirliğinin rolü önem kazanmaktadır.

Hızla gelişen teknolojiye paralel olarak her yıl artmakta olan enerji ihtiyacı; kaliteli enerji kaynaklarının azalması, düşük kaliteli yakıtların kullanılması ve çevre sorunları gibi birçok problemleri de birlikte getirmektedir. Ülkemizde kullanılan linyitin; düşük ısı kapasite, yüksek uçucu madde, yüksek kükürt içeriği ve yüksek kül oranlarına sahip olması konvansiyonel sistemlerde zor yamalarına neden olmaktadır. Düşük ısı kapasite, linyitin yakılacağı tasarımlarda bazı zorluklar getirmektedir. Yüksek uçucu madde oranı, ısı transferi seçimini etkilemekte, yüksek kükürt içeriği ise atmosfere büyük miktarda SO₂ yayılımı ve çevre kirliliğini artırma riskini getirmektedir. Yüksek kül oranı, yanma verimini düşürmekte ve yakıcı tasarımını etkilemektedir. Birincil enerji kaynağımız olarak linyit rezervlerimizin diğerlerine göre oldukça ön planda olması, bu kaynaklardan yararlanmak zorunda olduğumuz gerçeğini ortaya koymaktadır. Bu ise ancak linyit tüketimi sonucu oluşan olumsuzlukları, diğer bir deyişle CO₂, SO₂, NO_x ve toz emisyonlarını en aza indiren yeni teknolojilerin devreye girmesi ile mümkün olacaktır.

Düşük kaliteli linyitlerimizden çevreye zarar vermeden faydalanmak için çeşitli seçenekler mevcuttur. Linyitler kullanım öncesi bir takım proseslerle temizlenebilir, linyit-sıvı karışımları hazırlanabilir, akışkan yataklı sistemlerde yakılabilir veya zararlı baca gazı emisyonları çevreye atılmadan önce temizlenebilir. Akışkan yataklı yakma sistemlerinde linyitlerin yakılması, bu sorunlara çözüm getirerek ülkemizdeki

linyitin yaygın ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak önemli bir seçenek oluşturmaktadır.

Mukadi ve ark. endüstriyel katı atıkların işleyişinde kullanılan dolaşimli akışkan yatak reaktörü için, matematiksel bir model geliştirerek, reaktör içinde gaz emisyonları incelemiştirler [1]. Liu and Gibbs 12 MWT biyokütle- çam yakıtlı bir dolaşimli akışkan yatak kazanının modelini sunmuşlar ve kazan içinde NO ve NO₂ emisyonlarını incelemiştirler [2]. Chen ve ark. [3] bir akışkan yatak yakma sistemi modeli geliştirmişler ve bu yakma sisteminden çıkan atığın NO_x ve NO₂ emisyon değerlerini çalışmışlardır. Winter ve ark. [4] pilot ölçekte tek parçacık bir kokta NO ve NO₂ için bir mekanizma geliştirmişlerdir. Sotudeh-Gharebeagh ve ark. [5] İzotermal bir varsayım dayalı ASPEN PLUS simülasyon programı kullanarak kömür yakmak için bir dolaşimli akışkan yatak yakma sistemi simüle etmişlerdir. Kintaik ve hidrodinamik alt programlar kullanarak, reaksiyonların oranları ve üst bölgedeki ortalama aksenal hız profilini tahmin etmişlerdir. Sonuçlar yanma verimliliği ve emisyon düzeyi açısından ifade edilmiştir. Huilin ve ark. [6] bilgisayar programı yardımı ile büyük tane kömür boyut dağılımına sahip bir dolaşimli akışkan yatak kazan tasarlamışlardır. Tasarlanan kazanda; yanma, hidrodinamik ve ısı transfer özellikleri incelemiştirler. Diğer taraftan, modellenen sistemde baca gazı sıcaklığı, fırın boyunca hem aksenal ve radyal yerlerde O₂, CO ve CO₂ gibi kimyasal gaz türünü ve atıkların konsantrasyon dağılımlarını çalışmışlardır.

Bu çalışmada, linyit yakıtlı bir dolaşimli akışkan yataklı güç çevriminin simülasyonu yapılmıştır. Sistemin performansını etkileyen parametreler belirlenerek, bu parametreler dâhilinde duyarlılık analizi yapılarak maksimum verim ve güç değerleri incelenmiştir.

2. TERMİK SANTRALLER VE SORUNLARI

Ülkemizde işletmede olan düşük kaliteli linyit yakan termik santrallerimiz, kömür kalitesindeki sürekli düşmeler sonucu, enerji dengeleri bozulan, yüksek enerji kayıplı ve yoğun emisyon yayan santrallerdir. Baca gazı arıtma sistemi tasarımı, kurulması ve işletilmesi; ilgili tesiste öncelikle yanma sorunlarının çözülmüş olmasını gerektirir. Baca gazı arıtma sistemleri tasarımı, yanma optimizasyonu yapılmış bir santralin sistem yapısı ve işletme verileri esas alınarak yapılır. İşletmedeki santrallerin bir bölümü; sınır değerleri AB emisyon sınır değerlerinin üzerinde bulunan ve yürürlükteki mevcut koşulları bile

karşılaktan çok uzaktır. İleriki yıllarda yanma ve emisyon kontrolüyle ilgili kendi AR-GE çalışmalarımızla, düşük kaliteli linyitlerin AB standartlarında elektriğe dönüşümüne imkan sağlayacak teknolojiler geliştirilemezse, artık bu linyitlerin kullanımı mümkün olmayacaktır. Bu santrallerde ciddi yanma, işletme, emniyet, güvenilirlik vb. sorunlar bulunmaktadır. Bunlarla ilgili sorunlar çözülmeyen bacası gazı arıtma sistemlerinin sorunlarına eğilmek anlamsızdır [13].

Termik santral projeleri planlanırken en uygun uygulama alternatifinin seçimi, planlama sürecinin en önemli kararını oluşturmaktadır. Termik santral proje alternatifleri, aşağıda belirtilen hususlar göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir;

- Enerji üretim, yatırım ve işletme maliyetlerinin karşılaştırılması,
- Çevresel etkilerin karşılaştırılması (hava, su, toprak, biyolojik kaynaklara ve sosyo ekonomik çevreye etkileri),
- Muhtemel fiziksel kayıplar ve etkilenecek nüfus,
- Bölgesel / ulusal kalkınmadaki faydalarının karşılaştırılması.

Alternatiflerin analizi ve karşılaştırması mevcut bilgilere, etkilerin kapsamına ve projenin hassasiyetine bağlı olarak nitel ve/veya nicel değerlendirme ile yapılabilir. Termik santral projelerinin ÇED'lerinde proje tipi, yer seçimi, teknoloji (veya proses), işletme ve eylemsizlik alternatifleri de ele alınmalıdır [7, 14].

Ülke kaynaklarının kullanımı açısından bakıldığında, özellikle linyitin önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir. Fakat linyit rezervlerimizin linyit rezervlerimizin önemli bir kısmının düşük kaliteli, yüksek oranda kül, su ve kükürt içermesi nedeniyle kömürle çalışan termik santrallerin kurulmasında ve mevcutların işletilmesinde verim, maliyet ve özellikle çevre etkilerinin dikkate alınması, yeni yatırımlar için dünyada santral teknolojilerindeki gelişmeler (akışkan yataklı sistemler, kömür gazı kombine çevrim ve süper kritik çevrim uygulamaları gibi) incelenerek uygun teknolojilerin seçimi için çalışmaların yapılması gerekmektedir [15].

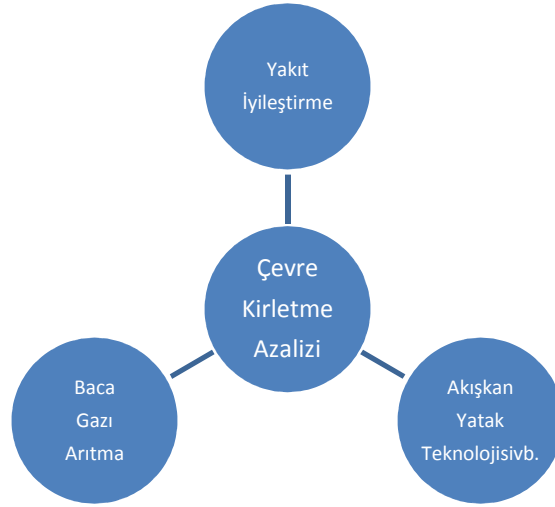
Son yıllarda santral teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler nedeniyle, ülkemizdeki eskiyen teknolojilerde yapılacak bir takım modifikasyonlarla, santral verimliliğinde artış sağlamak mümkün olmaktadır. Santrallerde verimliliğin ve emre amadeliğin artırılması için yapılacak modernizasyon çalışmalarının başlıca nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Gelişen teknoloji karşısında santrallerde kullanılan teknolojilerin eskimesi,
- Metallürji sektöründeki gelişmelere bağlı olarak, daha dayanıklı ve fonksiyonel santral ekipmanlarının imal edilmesi,
- Ulusal Elektrik Sistemi'nin Avrupa İletim Sistemi'ne bağlanabilmesi için santrallerimizde primer ve sekonder frekans kontrolünün yapılabilmesi, hızlı yük alıp atabilmesi, sadece kendi iç tüketimini karşılayacak şekilde ada işletmesi olarak çalışabilmesi için, bazı modifikasyonların yapılmasının zorunlu olması,
- Ulusal ve Uluslararası çevre kanunlarında yapılan değişikliklerle, çeşitli gaz ve partikül emisyonlarına getirilen kısıtlamalar nedeniyle, santrallerde bazı modifikasyonların yapılmasının zorunlu olması şeklinde belirtilebilir.

Santrallerde yapılacak modernizasyon çalışmalarında, yeni teknolojiler kullanılarak ısı tüketimi düşürülebilmektedir. Bu sayede KW başına elektrik üretmek için, gerekli yakıt miktarında düşüş sağlanarak verimliliği artırmak mümkün olmaktadır [8]. Elektrik enerjisi üretiminde temel hedef, elektrik enerjisi talebini; sürekli, kesintisiz, çevreyi gözetken ve en düşük maliyette karşılamaktır. Güvenilir enerji arzının öncelikli koşulu, kaynak çeşitlendirilmesi yanında yerli enerji kaynaklarına ağırlık verilmesidir. Kaynaklarımız değerlendirilirken çevreye duyarlı, yüksek verimli teknolojilerin kullanılması önem arz etmektedir.

Enerji temininde ve CO₂'nin fiziksel uzaklaştırılmasında yeni teknolojik seçeneklerin başlıcası, akışkan yataklı teknolojilerdir [9]. Elektrik enerjisi üretiminde çevre kirliliğini azaltmaya yönelik teknolojiler şöyle sıralanabilir (Şekil 1);

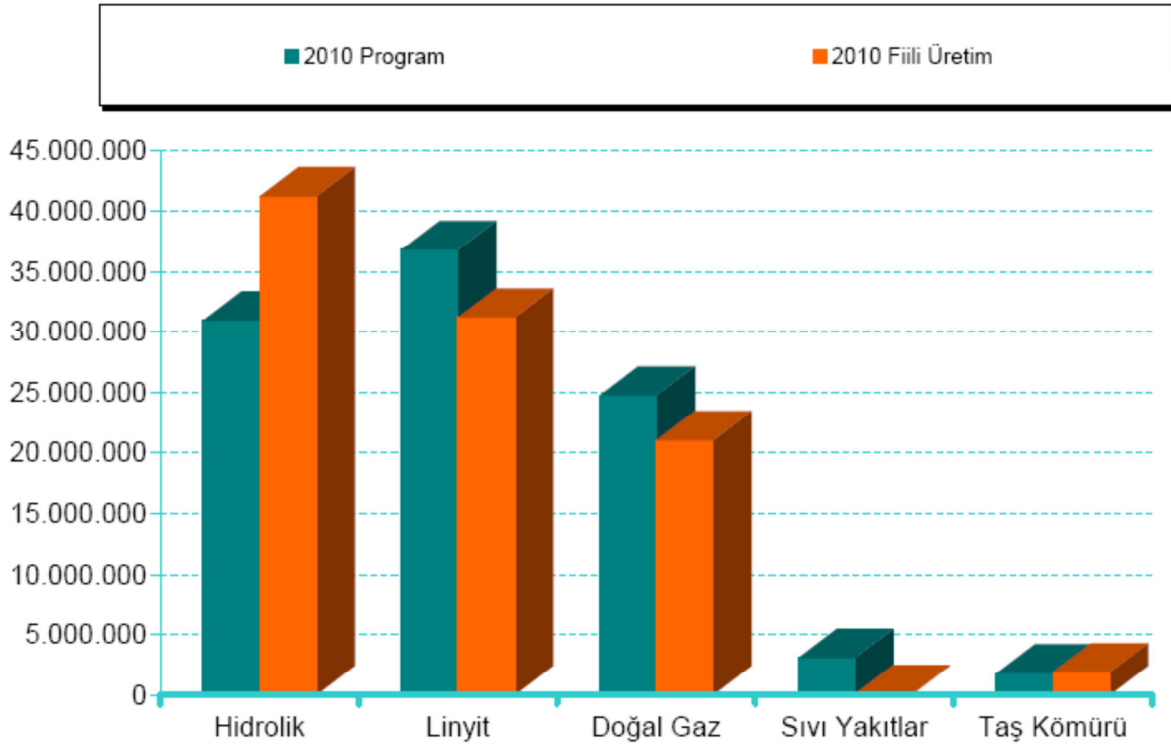
- Yanma öncesi uygulanan teknolojiler düşük kaliteli kömürlerin iyileştirilmesi ve kükürt gibi kirleticilerin uzaklaştırılması amacıyla fiziksel ve kimyasal yöntemler geliştirilerek uygulanması,
- Yanma sırasında uygulanan teknolojiler; akışkan yataklı kazanlar, düşük yanma odası sıcaklığı, SO₂ kontrolü için kimyasal madde enjeksiyonu,
- Yanma sonrasında uygulanan teknolojiler (bacası gazı arıtma teknolojileri vb)



Şekil 1. Elektrik enerjisi üretiminde çevre kirliliğini azaltmaya yönelik teknolojiler.

Ülkemizde, 2010 yılında EÜAŞ tarafından sağlanan elektrik enerjisinin %35'i kömürlü termik santrallerden

elde edilmiştir. EÜAŞ kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir [10].



Şekil 2. EÜAŞ kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı [10].

Ülkemizin kendi öz varlığı olan enerji kaynakları arasında kuşkusuz en önemli yeri 8,3 milyar ton olarak bilinen rezervleri ile linyit almaktadır. Yüksek oranda kükürt, nem ve kül içeren düşük kaliteli bu yakıtın, klasik yöntemlerle yakıcı içinde temiz ve verimli yakılabilmesi olanaksızdır. Bu yöntemler kullanıldığı takdirde yanma odasında oluşan kükürt dioksit ve azot oksitlerin hava kirliliğine sebep olması kaçınılmazdır. Son zamanlarda, bir taraftan hava kirliliğine sebep olması gerekçesiyle konvansiyonel termik santraller

karşı kamuoyunda oluşan büyük tepki, diğer taraftan çok yakın bir gelecekte Türkiye'nin baca gazı kirlenme emisyon değerlerini, Avrupa Topluluğu'na üye olan ülkelerin değerlerine indirme problemi ile karşılaşacak olması, linyitin enerji üretiminde yaygın olarak kullanılmasını olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca ülkemizin enerji ihtiyacının doğal gaza dayandırılması eğilimi iki nedenle değişmek zorundadır. Bunlardan birincisi, uzun vadede doğal gaz fiyatının uluslararası piyasadaki belirsizliği, ikincisi ise ülkemizin sınırlı

yatırım kaynaklarının, altyapı ve endüstriyel gelişme gibi ülke içi yatırımlar yerine doğal gaz ithali için kullanılmasıdır.

Alternatif çözüm, son yıllarda geliştirilmiş ve daha çok gelişmiş ülkelerin sanayilerinde ve santrallerinde uygulamaya konulmuş olan akışkan yatakta yakma teknolojisidir. Bu teknolojinin özelliği, Türk linyitleri gibi düşük kalorili yakıtların da Hava kirliliğine sebep olmaksızın verimli olarak yakılabilemesini sağlamasıdır.

3. AKIŞKAN YATAK GÜÇ ÇEVRİMİ

SİMÜLASYONU VE DUYARLILIK ANALİZİ

Akışkan yataklı yakma teknolojisi genelde, kabarcıklı yatak ve dolaşimli yatak olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Kabarcıklı Akışkan Yataklı (KAY) yakıcılar, akışkan yatakta yakma teknolojisinin gelişiminde ilk ortaya çıkan ve yaygın olarak kullanılan yakıcılardır. KAY sisteminde uygulanan akışkanlaşma hızı ortalama olarak 3-4 m/s kadardır. Ancak KAY sisteminde birim kazan alanı başına ısı üretiminin düşük kalması nedeniyle kabarcıklı akışkan yatakların yerini hızlı, Dolaşimli Akışkan Yataklar (DAY) almaktadır.

DAY yakma sisteminde; akışkanlaşma hızı (yaklaşık 7-10 m/s), yanma hızı ve ısı aktarım katsayılarının oldukça yüksek olması nedeni ile DAY sistemleri büyük kapasiteli yakma sistemlerinde tercih sebebidir. DAY sistemi 100 MW ve daha büyük olan ve kömüre dayalı güç üretim sistemlerinde genellikle kullanılan teknolojidir. KAY sistemleri ise son senelerde 10-50 MW kapasite arasındaki daha küçük biyokütle ve evsel atıkların yakıldığı sistemlerde tercih edilmektedir.

DAY yakma sistemi, özellikle kömüre dayalı termik santrallerde güç üretimi için kullanılan en önde gelen sistemlerdendir. Yüksek akışkanlaşma hızları nedeniyle aktif yataktan taşınan yanmamış katılar, siklon veya siklonlar vasıtasıyla yatağa geri beslenir. Yüksek akışkanlaşma hızının neden olduğu erozyon dolayısıyla aktif yatak içine ısı değiştirici borular konulmaz; ısı aktarımı su borulu duvarlarda yapılır. Yanmanın olduğu kolonun duvarlarına su boruları yerleştirilir. Kolon yüksek yapılarak tam yanma sağlanmaya çalışılır. Genelde DAY'larda kömür ve adsorbent besleme sistemi kabarcıklı yataklara göre daha basittir ve kükürt tutma veriminin %90 ve üzerinde sağlanabilmesi için kullanılması gereken kireçtaşı miktarı da daha az olup Ca/S mol oranı yaklaşık 2,0 civarındadır [11,12].

DAY sistemi yanmanın olduğu bir kolon, kolondan taşınan taneciklerin ayrıldığı bir siklon veya siklonlar, ısı değiştiriciler, baca gazı temizleme ünitesi, yakıt ve

sorbent hazırlama üniteleri, türbin ve bacadan oluşmaktadır. DAY sistemi, klasik Pulverize Kömür Yakma (PKY) teknolojisine birçok bakımdan benzerdir. PKY teknolojisinde olduğu gibi DAY sisteminde de Rankine Çevrimi kullanılmaktadır. DAY sistemi için de kazanlar subkritik veya süperkritik koşullar için dizayn edilebilmektedir.

Kapasitesi 150 MW dan daha büyük olan DAY sistemlerinin yatırım maliyetleri 850-1150 USD/ kW civarındadır. Bu fiyat benzer kapasitedeki PKY sistemine göre çok az yüksektir (800-1000 USD/kW). İşletme ve bakım masrafları da (sabit masraflar) 30-45 USD/kW-Yıl arasında değişmektedir. Halen DAY teknolojisi tüm dünyada güç üretim sistemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle PKY sistemlerinde yakılamayacak yakıtlar (antrasit, linyit, kömür yıkama tesisi atıkları gibi) DAY sisteminde yakılmaktadır. Ayrıca, endüstriyel ve evsel katı atıklar, petrokok ve diğer atıklar da bu sistemde ek yakıt olarak kullanılabilirlerdir.

Bu çalışmada, elektrik üretimi için 4500 kcal/h ısıya değere sahip bir linyit yakıtlı akışkan yatak güç santrali simülasyonu yapılmış ve optimizasyon parametrelerinin belirlenmesi ve bu parametreler için duyarlılık analizi yapılmıştır. Şekil 3'de THERMOFLEX paket programı kullanılarak, tasarımı yapılan akışkan yatak güç santraline ait devre şeması gösterilmiştir.

Şekil 3'te görüldüğü gibi, giren hava 15 °C ve %60 nem oranında fan ile basılarak, hava ısıtıcıya girer. Atık ısı kazanından çıkan sıcak atık gazlar, hava ısıtıcısından geçerek sıcaklığını dış havaya aktarmak suretiyle, dış hava sıcaklığını 200 °C'lara kadar yükseltir. Hava ısıtıcıdan çıkan sıcak hava, dolaşimli akışkan yatağa birincil ve ikincil hava olarak beslenir. Diğer taraftan ise, dolaşimli akışkan yatağa yakıt olarak linyit kömürü beslenmektedir. Yanma sonucu akışkan yataktan çıkan atık gazlar 815 °C'de tek basıncılı atık ısı kazanına girer. Atık ısı kazanından çıkan buhar 80 bar ve 530 °C de buhar türbinine girer ve jeneratör vasıtasıyla da elektrik üretilir. Ayrıca buhar türbininden 5 MW'lık net proses buhar elde edilmektedir. Buhar türbininden sonra atık buhar, yoğuşturucuya girerek burada yoğuşturulmuş sonra, yüksek ve alçak basıncılı ön ısıtıcılar ile ısıtılır oradan da, atık ısı olarak kazanın ekonomizerine girer.

Duyarlılık analizinde, yatak sıcaklığı 800-900 °C arasında tutulmuş, hava fazlalık katsayısı % 10-40, yüksek basınç buhar türbin çıkış basıncı 80-120 bar, akışkan yatağa giren ikincil hava sıcaklığı 150-230 °C aralarında değişmektedir. Tablo 1'de, tasarımı yapılan güç santralinin bazı parametreleri verilmiştir.

Tablo 1. Güç santrali tasarımı yapılan sistemin giriş parametreleri.

| Parametre | Birim | Değer |
|---|--------|--------|
| Çevre Sıcaklığı | °C | 15 |
| Tasarımlanan akışkan yatak sıcaklığı | °C | 815 |
| Hava fazlalık katsayısı | % | 20 |
| Net Elektrik üretimi, $P_{el net}$ | kW | 194395 |
| Net verim (alt ısı değerine göre), η_{net} | % | 37,07 |
| Net ısı oranı (alt ısı değerine göre) | kJ/kWh | 9712 |
| Net yakıt girişi (alt ısı değerine göre) | kW | 524428 |
| Net proses çıkışı | kW | 5755 |
| Kombine güç ve ısı (CHP) verimi | % | 38,17 |
| Santralde harcanan güç | kW | 13999 |
| Baca sıcaklığı | °C | 100 |

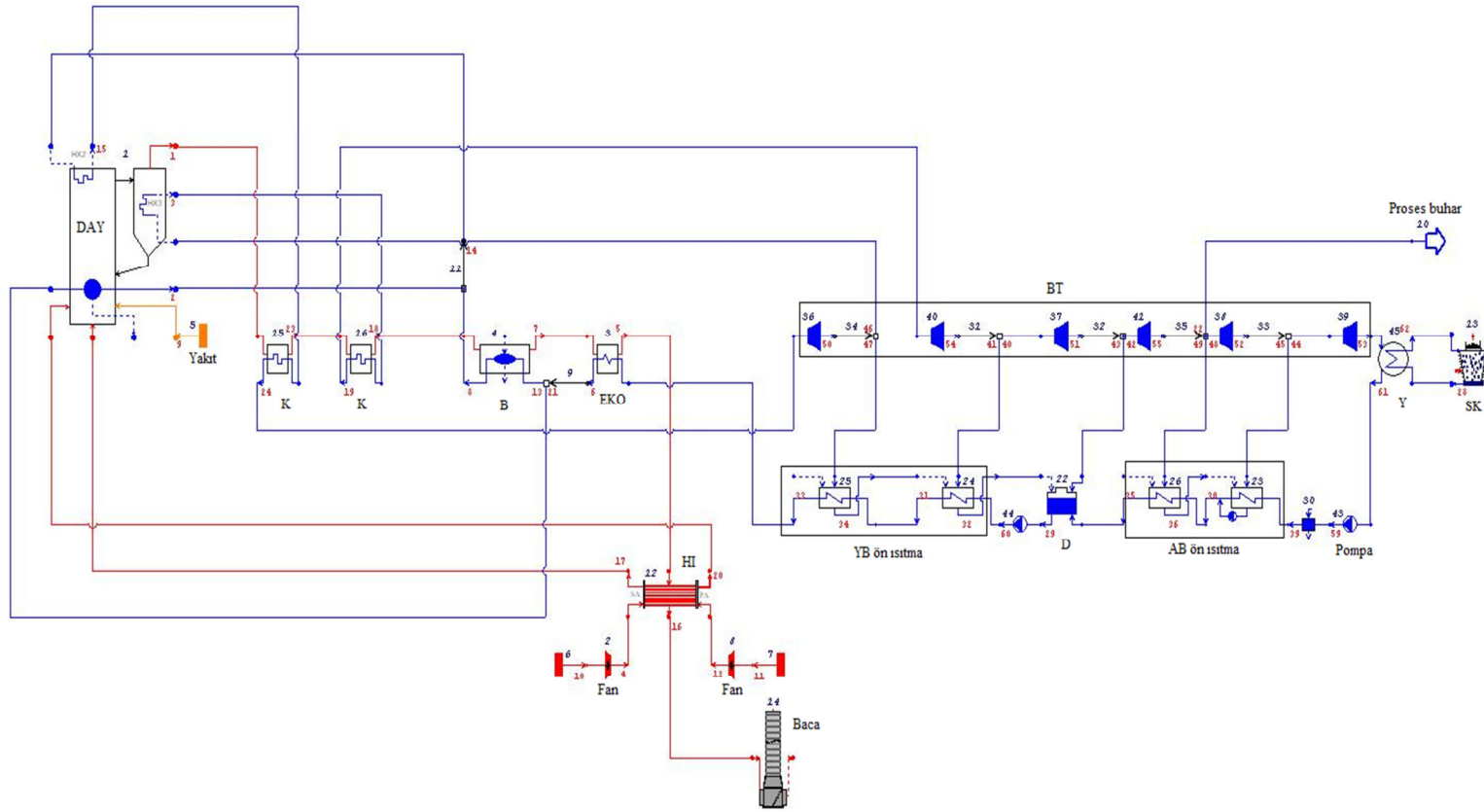
Tablo 2’de, tasarlanan akışkan yatak güç santralinin toplam emisyonu verilmiştir. tasarımı yapılan santrale ait

çevreye atılan toplam emisyon değerleri incelendiğinde, diğer yakma sistemlerine nazaran çok düşük olduğu görülmektedir.

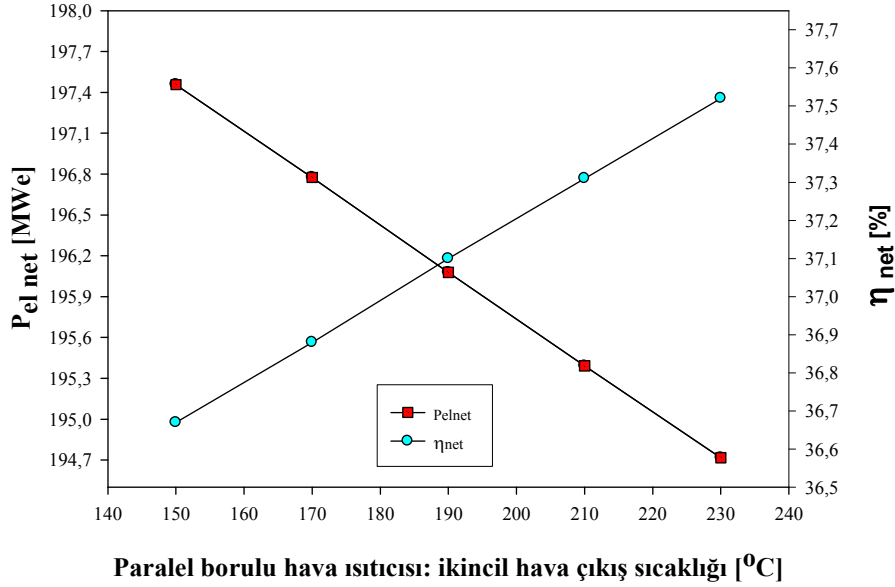
Tablo 2. Akışkan yatak güç santralinin toplam emisyon değerleri.

| Santral Toplam Emisyonu | kg/h | Ton/yıl | kg/MWh |
|-------------------------|--------|---------|--------|
| SO ₂ | 290 | 2345 | 0,864 |
| CO ₂ | 281737 | 2282062 | 841 |
| Toz | 48345 | 391592 | 145 |

Şekil 4’te akışkan yatağın ikincil hava girişi, net elektrik üretimi ve net sistem verimi gösterilmiştir. Burada ikincil hava sıcaklığı 20 °C arttığında net elektrik çıkış gücünün %0,34 azaldığı, ancak net elektrik veriminin %0,56 arttığı görülmüştür.



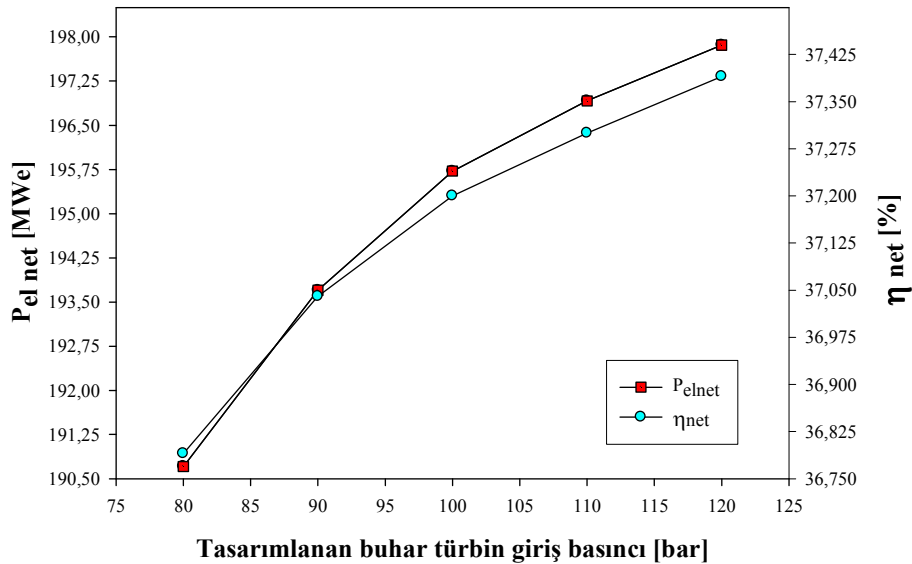
Şekil 3. Simülasyonu yapılan akışkan yataklı güç santrali sistem devre şeması.



Şekil 4. Akışkan yatak ikincil hava çıkış sıcaklığının net elektrik verim ve net çıkış gücü ile değişimi.

Şekil 5'te ise, yüksek basınç buhar türbin giriş basıncının değişimine göre, net elektrik üretimi ve net sistem verimi gösterilmiştir. Burada, yüksek basınç buhar türbin basıncı 10 bar artığında, net elektrik üretim

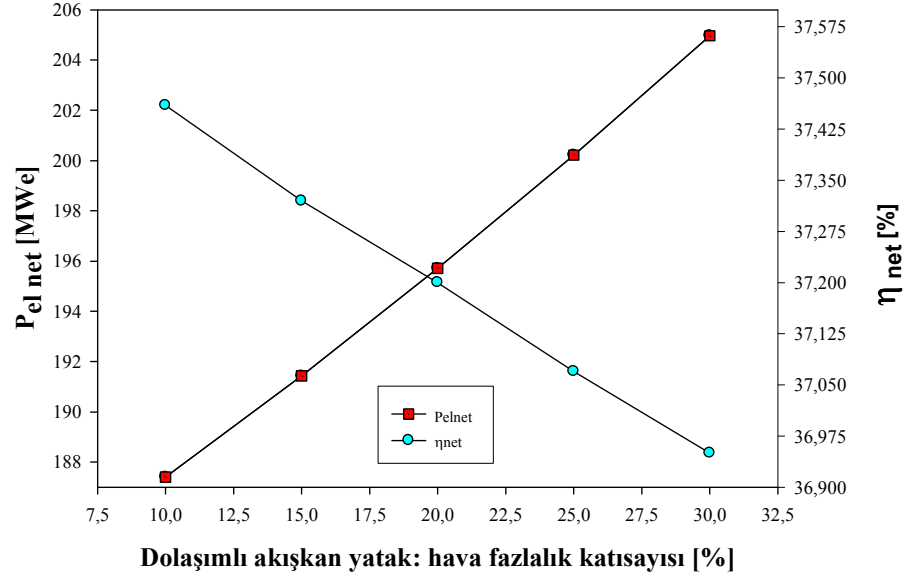
çıkış gücünün %1,54 oranında arttığı, net elektrik veriminin de %2,7 oranında arttığı belirlenmiştir.



Şekil 5. Yüksek basınç buhar türbin basıncının net elektrik verim ve net çıkış gücü ile değişimi.

Şekil 6'da ise, akışkan yatak içerisinde hava fazlalık katsayısının değişimine göre, net elektrik üretim gücü ve net elektrik verimi gösterilmiştir. Burada hava fazlalık katsayısı %5 artınca, net elektrik üretiminin

%2,1 artmakta olduğu, net elektrik sistem veriminin ise %0,37 düştüğü görülmüştür.



Şekil 6. Akışkan hava fazlalık katı sayısının net elektrik verim ve net çıkış güç ile değişimi.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizin ihtiyacı olan enerjinin, yerli kaynaklarımızdan karşılanması öncelikli hedef olmalıdır. Sanayinin ihtiyacı olan ucuz enerji üretiminin sağlanması, bu enerjinin sürekli ve güvenilir olması bakımından yerli kaynaklarımızın kullanılması kaçınılmaz bir gerekliliktir.

Dışa bağımlı enerji kaynaklarının başta doğal gaz olmak üzere, ileride birçok yönden sorun yaratabileceği düşünüldüğünde; kömürün Türkiye için çok önemli bir potansiyel olduğu görülmektedir. Ayrıca hem çevre kirliliğini önleme, hem de düşük ısı değerli yakıtlarımızı değerlendirme açısından, ülkemizde akışkan yataklı sistemlerin devreye alınmasının zorunluluk haline geldiği bir gerçektir.

Türkiye'nin mevcut enerji kaynaklarının kullanılmasının, teknik ve ekonomik imkânları dahilinde, sürdürülebilirlik ve çevresel etki yönünden kendisine uygun olan yakma sistemlerinin geliştirilmesi, mevcut sistemlerin de günün koşullarına göre modifiye edilmesi gerekmektedir. Böyle bir çalışmanın gerçekleştirilmesi, ilgili ulusal ve uluslararası standartlara uygun bir araştırma alt yapısının kurulması ile oluşturulabilir.

AB'nin ilk olarak 1986 yılında yürürlüğe koyduğu ve 2001 yılında yeniden düzenlediği "Büyük Yakma Tesisleri Direktifi" (LCPD), kullanılan yakıt türüne bakılmaksızın termal girdisi 50 MW'a eşit ya da daha fazla olan yakma tesislerinden kaynaklanan kirleticileri azaltmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda büyük yakma tesislerinden kaynaklanan toz (PM), kükürt dioksit (SO₂) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarına sınır değerler getirmektedir.

Ülkemizde LCPD'nin uyumlaştırılması için büyük yakma tesislerinde emisyon giderici yatırımlar yapılmalıdır. Yatırım gereksiniminin çok büyük bir kısmı, emisyonun da önemli bir kısmına neden olan elektrik üretim tesislerindedir. Elektrik üretiminde ise, yerli linyit ile çalışan termik santraller ana kirleticisi ve en fazla yatırıma ihtiyaç duyan tesisler olarak ön plana çıkmaktadır. Linyitle çalışan baca gazı arıtma ve benzeri emisyon kontrol yatırımlarına ihtiyaç duyan tesislerin pek çoğu, Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ)'ın kontrolindedir. Bir başka deyişle, kamunun LCPD'nin uyumlaştırılmasıyla ilgili düzenlemeler sonucunda, en fazla etkilenen paydaş bir diğer kamu teşekkülü olan EÜAŞ olacaktır. EÜAŞ'ın üretim ve yatırım kararlarını ise, kamu bütçe dengesinden, özelleştirme ve enerji politikalarından bağımsız olarak ele almak mümkün değildir.

Mevcut linyite dayalı santrallerimizin en önemli çevre sorunu olan baca gazı emisyonları, bu teknoloji kullanıldığında sorun olmamakta ve buna göre; kükürt giderme işlemi, akışkan yataklı kazana kireçtaşı beslenerek yanma esnasında yapılmakta, dolayısıyla da pahalı ve karmaşık bacagazı arıtma tesislerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu çalışmada tasarımılanan güç santralında akışkan yatak teknolojisi kullanılması sonucu, yakıtın yanmasının düşük sıcaklıkta olması nedeniyle, NO_x oluşumunu en aza indirmekte, dolayısıyla bu teknoloji uygulandığında, baca gazı

emisyonları uluslararası geçerlilikte olan sınır değerlerin altında kalmaktadır.

Bu çalışmada, THERMOFLEX paket programı kullanarak sistemin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyonu yapılan sistem; 194 MW gücünde ve %37 verimde çalışmaktadır. Aynı zamanda sistem 5 MW'lık bir proses üretmektedir. Sonuçlara göre ve grafiklerden görüldüğü gibi (Şekil 4, 5 ve 6), dolaşimli akışkan yataklı ikincil havanın ısıtılmasıyla, sistem veriminde yükselmenin yanında net güç de, miktar olarak küçük de olsa azalma görülmüştür. Türbin giriş basıncı yükseldiği zaman, hem net güç hem de net verim yükselmektedir. Son olarak, hava fazlalık katsayısı yükseldiğinde, sistemin net gücünün arttığı ancak net veriminin ise, küçük miktarlarda azaldığı belirlenmiştir.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

| | |
|-----|--------------------------|
| K | Kızdırıcı |
| B | Buharlaştırıcı |
| EKO | Ekonomizer |
| BT | Buhar türbini |
| Y | Yoğurturucu |
| SK | Soğutma kulesi |
| YK | Yüksek basınç |
| AB | Alçak basınç |
| D | Degazör |
| DAY | Dolaşimli Akışkan Yatak |
| KAY | Kabarcıklı Akışkan Yatak |

KAYNAKLAR

- [1] Mukadi, L., Guy, C., and Legros, R., "Prediction of Gas Emissions in an Internally Circulating Fluidized Bed Combustor for Treatment of Industrial Solid Wastes", *Fuel*, 79:1125-36, (2000).
- [2] Liu, H. and Gibbs, B.M., "Modeling of NO and NO₂ Emissions from Biomass-Fired Circulating Fluidized Bed Combustors", *Fuel*, 81: 271-80, (2000).
- [3] Chen, Z., Lin, M., Ignowski, J., Kelly, B., Linjewile, T.M. and Agarwal, P.K., "Mathematical Modeling of Fluidized Bed Combustion: NO₂ and NO_x Emission from the Combustion of Char", *Fuel*, 80: 1259-72, (2001).
- [4] Winter, F., Löffler, G., Wartha, C., Hofbauer, H., Preto, F., and Anthony, E.J., "The NO and NO₂ Formation Mechanism Under Circulating Fluidized Bed Combustor Conditions: from the Single Particle to the Pilot-Scale", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 77: 275-83, (1999).
- [5] Sotudeh-Gharebaagh, R., Legros, R., Chaouki, J., and Paris, J., "Simulation of Circulating Fluidized Bed Reactors Using ASPEN PLUS", *Fuel*, 77: 327-37, (1998).

- [6] Huilin, L., Rushan, B., Wenti, L., Binxi, L. and Lidan, Y., "Computations of a Circulating Fluidized-Bed Boiler with Wide Particle Size Distributions", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 39: 3212-20, (2000).
- [7] Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirmesi Sektörel Rehberleri, **ÇED Rehberi Termik Enerji Santralleri**, Nisan (2006).
- [8] EÜAŞ Elektrik Üretim A.Ş Genel Müdürlüğü Komisyon Raporu, (2010).
- [9] Türkeş, M., İklim Değişikliği: Türkiye - İklim Değişikliği Çerçeve ve Sözleşmesi İlişkileri ve İklim Değişikliği Politikaları, **Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü**, (2006).
- [10] Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisleri, **Turkish-American Clean Energy Conference**, İstanbul, Ocak, (2008).
- [11] Reddy, B.V., Basu, P., "A Model for Heat Transfer in a Pressurized Circulating Fluidized Bed Furnace", *Int. Jor. Heat Mass Transfer*, 39: 2877-2887, (2001).
- [12] Basu, P., Nag, P.K., "Heat Transfer to Walls of a Circulating Fluidized-Bed Furnace", **Chemical Engineering Science**, 51: 1-26, (1995).
- [13] Silvera, J.L., Tuna, C.E., "Thermoeconomic analysis method for optimization of combined heat and power systems", **Part 1. Progress in Energy and Combustion Science**, 29:479-485, (2003).
- [14] Han, X., Jiang, X., Wang H., Cui, Z., "Study on design of Huadian oil shale-fired circulating fluidized bed boiler", **Fuel Process. Technol.**, 87:289-295, (2006).
- [15] Eskin, N., Güngör, A., Özdemir, K., "Effects of operational parameters on the thermodynamic performance of FBCC steam power plant", **Fuel**, 88:54-66, (2009).