

GAZ TÜRBİNLİ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRAL PERFORMANSININ YÜKSELTİLMESİ

Murad A. Rahim*

Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe-Ankara

Özet

Günümüzde gelişmekte olan ülkelerin enerji ihtiyaçları her geçen gün sürekli olarak artmaktadır. Artan enerji talebi, yeni enerji santral yatırımlarıyla da sağlanabilmektedir. Fakat bunun yanında, mevcut santralların performanslarının iyileştirilmesi yönüne gidilerek, artan talebin bir bölümünü karşılamak mümkündür. Özellikle az bir yatırım ile sağlanacak kapasite artışı, pik yüklerin karşılanmasında önemli bir avantaj sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, doğal gaz ile çalışan bir gaz türbinli kombine çevrim santralının, günümüzde birçok kanıtlanmış teknolojiler kullanılarak, santral performansının artırılma yöntemleri incelenmiştir. Bu yöntemlerden; kompresör giriş havasının soğutulması, yanma odasının sıcaklığını düşürmek için buhar püskürtülmesi, ısı geri kazanım buhar jeneratörü girişinde destek brülörü kullanılmasıdır. Bu çalışmada referans olarak bir kombine çevrim santralının çıkış gücü 268,7 MW olarak alınmıştır. Kompresör giriş havasının soğutulması için, nemlendiricili (fogging) soğutma sistemi kullanılmış ve sonuç olarak kompresör gücü azaltılarak net çıkış gücü artırılmıştır. Buna göre referans kombine çevrim santralına, Giriş Hava Soğutma (GHS) sistemi uygulandığında, çıkış net gücü %3 oranında arttığı görülmüştür. Gaz türbini yanma odasının sıcaklığını düşürerek, net güç artar ve NOx emisyonu azaltılır. Dolayısıyla Buhar Püskürtme (BP) sistemi uygulandığında, çıkış net gücü %2,01 artış gösterdiği belirlenmiştir. Destek Brülörü (DB) kullanılması ile, ısı geri kazanım buhar jeneratörüne giren gazların sıcaklığı artar ve sonuç olarak da, buhar türbinine giden buhar miktarı arttığı için net güç değeri yükselir. DB sistemi uygulamasıyla, çıkış net gücü %1,68 artırıldığı görülmüştür. Sonuç olarak; GHS, BP ve DB aynı anda sisteme uygulanmasıyla, çıkış net gücü referans sisteme göre toplamda %5,14 artırılmış olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: : Kombine çevrim santrali, buhar püskürtme, destek brülörü, giriş hava soğutma, performans artırma, duyarlılık analizi.

MAXIMIZING PERFORMANCE OF GAS TURBINE COMBINED CYCLE POWER PLANT

Abstract

Nowadays energy necessity increase consistently for developing country so increasing energy necessity can provide to set up new power plant but also it is possible to increasing energy necessity can be provided a little with available systems recuperating performance. Especially increasing capacity with a little investment can provide important advantage on peak load. In this study, maximizing the performance of a natural gas fired combined cycle power plant are examined by many proven technologies available today. Such as; the compressor inlet air cooling system, spraying steam to combustion chamber for reducing temperature and supplementary firing for enhance heat before entering heat recovery steam generator. The compressor inlet air-cooling system (fogging) used to cool the compressor and consequently reducing the power of the net output power will increase. According to the results, reference combined cycle plant output power is 268.7 MW. Applying Inlet Air Cooling (IAC) system to the reference combined cycle power plant, the net power output will increasing by 3%. Lowering the temperature of gas turbine combustion chamber, the net power increases and decreases NOx emissions. The net power output is increasing by 2.01% by applying Steam Injection (SI) system to the reference combined cycle power plant. Supplementary Firing (SF) of heat recovery steam generator combustion gases entering the temperature increases, and as a result, the amount of steam to the steam turbine will increase power for the remainder of the net. The net power output increased 1.68% by using SF in reference plant. By using both of IAC, SI and SF to the reference power plant, the net power output will increase by 5.14%.

Keywords: Combined cycle power plant, steam injection, supplementary firing, Inlet air cooling, performance enhancement, Sensitivity analysis.

E-posta: muradrahim@gmail.com

1. Giriş

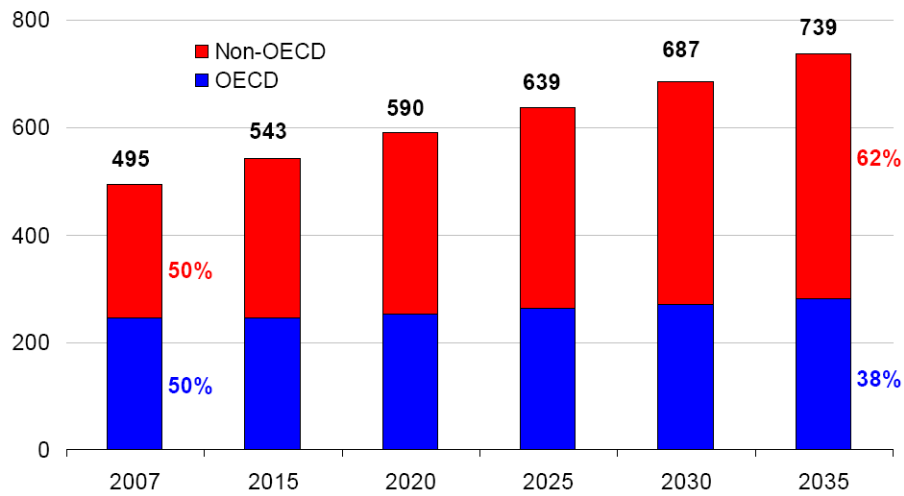
Türkiye’de doğalgaz; kentlerde konutsal enerji gereksinimlerinin karşılanmasında ve elektrik üretiminde vazgeçilmez temel fosil yakıt konumuna gelmiştir. Elektrik üretiminde doğalgazın payı %50’lere doğru artmaktadır. Bunun başlıca nedeni, doğalgazlı kombine çevrim santrallerinin, verimlerinin kömürlere kıyasla yüksek, yatırım maliyetlerin çok daha düşük ve kurulma sürelerinin daha kısa, işletme ve bakım onarımlarının daha kolay olmasıdır.

Başta Türkiye olmak üzere, gelişmekte olan ülkelerde endüstriyel sanayileşmenin gelişmesi elektrik enerji ihtiyaçlarını artırmaktadır. Elektrik enerjisi konusunda ülkeler ihtiyaca cevap verebilmek için gerekli önemleri almakta ve geliştirmektedirler. Bundan dolayı yeni santral yapımı, kapasite artırma, mevcut sistemlerin performansını iyileştirmek gerekmektedir. Mevcut santrallerin performansına etki eden en önemli faktörler çevre havasının sıcaklığı ve nemi, katı yakıtlı santrallerde ise yakıt kalitesi ve santralin yaşıdır. Mevcut sistemler içerisinde performans açısından çevre şartlarından en çok etkilenen ise gaz türbinidir. Gaz türbini ünitelerinde, çevre sıcaklığının artması hem sistemde dolaşan hava debisini azaltmakta hem de kompresör işini arttırmaktadır. Kompresör işi arttığı takdirde güç üretimi azalmaktadır ve termik verimin düşmesine neden olmaktadır. Özellikle sıcak ve nemli iklime sahip bölgelerde gaz türbinleri performansında önemli bir düşüş görülmektedir. Bu nedenle hem elektrik üretimi azalmakta hem de birim elektrik için harcanan yakıt miktarı artmaktadır. Türkiye ve diğer başka ülkelerde gaz türbinleri kombine çevrim santralleri ve kojenerasyon sistemlerinde kullanılmaktadır [1-2].

Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu (UNFPA)’na göre, dünya nüfusunun 2025 yılında 8 milyara ulaşması bekleniyor [3]. Uluslararası Enerji Görünümü 2004 yılında dünya için tahmin edildiği gibi, 2007 yılından 2035 yılına kadar enerji pazarında, bu 28 yıl içerisinde, %49 bir artış söz konusu olacaktır (Şekil 1). Derin bakmak istiyorsak, aşağıda belirtilen eğilimleri hakkında birçok ilginç yönleri ortaya çıkar. Beklenen nüfus artışı, büyük çoğunluğu gelişmekte olan ülkelerde ortaya çıkması, Asya da Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere bekleniyor. Bu tür ülkelerde her zaman enerji tüketiminde bir artış eşlik hızlı ekonomik büyüme, şahitlik ediyorlar.

Sonuç olarak, enerji tüketimi en hızlı büyüme tahmini Asya, gelişmekte olan ülkelerde, dünya enerji tüketiminin %40’a ulaşması üzerine iki katı gerçekleşecek. Bununla birlikte, sanayileşmiş ülkelerde ise, çok daha düşük enerji tüketimi artış bekleniyor. Çünkü sanayileşmiş ülkelerde olgun enerji tüketicileri yavaş bir nüfus artışı vardır [3].

Energy Tüketimi
Katrilyon Btu



Şekil 1 Dünya pazarında enerji tüketimi, (2007-2035)

Türkiye’deki mevcut termik kurulu güç 2010 yılı sonu itibariyle 48816 MW, elektrik üretim değeri ise termik 234014 GWh dir [4]. Basit bir kabulle %5 güç azalması olduğu düşünülürse 11700 GWh enerji kaybı olacaktır. Bu da Türkiye de 2015 yılına kadar yıllık %8,4 artışla enerji talebi olduğu göz önüne

alınacak olursa hiç de azımsanmayacak bir kayıptır. Bu nedenle performans kayıplarını engelleyecek çözümler üretilmesi gerekmektedir. Bu performans kayıpları en çok yaz aylarında meydana gelmektedir. Son yıllarda klima ve soğutma sistemlerinin kullanımının artması, yaz aylarında elektrik talebinin artmasıyla gerekli yatırımların yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Enerji üretim santrallerinde giriş havası soğutma, yeni bir santral inşa etmeye göre avantajı, küçük yatırımlarla ve kısa sürede performansların iyileştirilmesidir. Pik taleplerin karşılanması için pek çok ülkede acil önlem olarak kullanılmaktadır.

Açık literatürde gaz türbinli kombine çevrim santrallerinin performans analizi hakkında birçok çalışma yapılmıştır [5-14]. Erdem ve Sevilgen (2004) [5], çevre sıcaklığının değişiminin basit gaz türbinleri çevriminde yıllık elektrik üretimine ve yakıt sarfiyatına etkisini incelemişler ve Türkiye iklim şartları için iki farklı gaz türbini için uygulama yapmışlardır. Türkiye'nin yedi iklim bölgesindeki aylık sıcaklık ortalamaları kullanılarak, ISO şartlarına göre elektrik üretim ve özgül yakıt sarfiyatı değişimlerini hesaplamışlardır. Çevre sıcaklığının artması elektrik üretimini azaltırken aynı zamanda, yakıt sarfiyatını artırmaktadır. Aylık sıcaklık değişimine bağlı olarak elektrik üretim kaybı tüm bölgelerde 15°C sıcaklık üzerinde üretim kaybı %1.67-7.22 arasında olmaktadır. Ünver ve Kılıç (2005) [6], çevre sıcaklığının kombine çevrim güç santralının performansına etkisini incelemiş olup, çevre sıcaklığındaki değişimin sistemin performansını hangi oranlarda etkilediğini çalışan bir santralin verileri kullanılarak analiz etmişlerdir. Uygulamayı 1999 yılında kurulan 1400 MW gücündeki Bursa Ovaakça Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali için yapmışlardır. Çalışmalarında, çevre sıcaklığının 42°C ye ulaşması ile genel tersinmezliğin %5, faydalı gücün %22, tersinir gücün %14 civarında azaldığı ve özgül yakıt sarfiyatının %9 arttığını hesaplamışlardır. Şahin ve Acül (2005) [7], enerji tesislerinde kullanılan türbin giriş havası soğutma yöntemleri ve ünitelerini anlatmışlardır. Giriş havası soğutma ünitelerinin tasarım ve performans kriterlerini açıklamışlardır. Soğutma ünitelerinin malzeme ve konstrüktif özelliklerini irdeleyip elde edilecek kazançları ve kayıpları incelemişlerdir. Boonasa ve ark. (2004) [8], absorpsiyon sistemi (chiller) kullanarak giriş havası soğutma ile kombine çevrim santralının performansını artırmayı incelemişlerdir. Çalışmalarında, Tayland Bangkok da 11 MW'lık iki gaz türbini ve 115 MW'lık bir buhar türbininden oluşan Sekiz yıldır çalışan kombine çevrim santralının, tüm yıl boyunca hava sıcaklığının 15°C üstünde 23-35°C değerlerinde olan çalışma koşulu ile kompresöre girmeden önce 15°C %100 RH da çalışma koşulu kıyaslanmıştır. Yaptıkları çalışmada, kombine çevrim santralin gücü %6.24 artmıştır. Salvi ve Pierpaoli (2000) [9], buhar enjekte edilen gaz türbinleri için giriş havası soğutma sistemleri optimizasyonunu yapmışlardır. STIG türbinlerinde hava soğutmalı sıkıştırmanın pozitif etkilerini doğrulamak amacıyla bir hesap modeli gerçekleştirilmiş ve çalıştırılmıştır. Geliştirilmiş hesaplama programında giriş havası soğutmalı buhar enjeksiyonlu Allison 501 KH türbini optimizasyonu pozitif sonuç üretmiş, performans artışı gözlenmiştir. Giriş havası sıcaklığı ve makineye enjekte edilen değişken buhar miktarı göz önüne alınmıştır. Bu koşullar altında sıkıştırma gücü düşüşü, giren yakıt miktarı artışı, sıkıştırma sonu sıcaklık düşüşü ,türbin iç sıcaklığı ve eksoz sıcaklığı hesaplanarak elektrik gücünde %17 artış meydana gelmiştir. Böylece kompresör giriş havası soğutması çok basit sistem kullanılması yoluyla STIG türbini performansını artırır. Alhazmy ve Najjar (2002) [10], hava soğutucular kullanarak gaz türbini performansında artışı incelemişlerdir. Yayınlanan analizler gösterir ki su püskürtmeli soğutma, hava sıcaklığını 3-15°C kadar düşürmektedir. Güç artışı %1-7, verim artışı ise %3 dür. Mekanik soğutmada türbin çıkışı soğuk nem şartlarında %10 iyileşir, sıcak nem şartlarında %18 iyileşir. Türbin çıkışındaki güç santral performansını düşürür. Santralde meydana gelen net güç sırasıyla %6.1 ve %37.6 oranında düşüş gösterir. Basily (2000) [11], yapmış olduğu çalışmada, gaz türbini çevrim iyileştirme için türbin giriş sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve bağıl nemin dört farklı çevrim verimlerine etkisini EES programı kullanarak parametrik çalışmasını yayınlamıştır. Birinci durum giriş evaporatif soğutma ve ard evaporatif soğutmalı çevrimi, ikinci durum yalnız ard evaporatif soğutmalı çevrimi, üçüncü durum yalnız giriş havası evaporatif soğutmalı çevrimi,dördüncü durum soğutmasız iyileştirmeli çevrimi dir. Elde edilen sonuçlar; Kompresör çıkışına su enjeksiyonu aynı basınç oranında gücü %110 artırır, verimi %16 artırır. Çevre bağıl nemin etkisi ile giriş havası evaporatif soğutma soğutmasız çevrim verimi %2.85 artırır, ard evaporatif soğutma soğutmasız çevriminin verimi %6.4 artmaktadır. Çevre sıcaklığının etkisi ile giriş evaporatif soğutma soğutmasız çevrim verimini %3.2, ard evaporatif soğutma soğutmasız çevrim veriminin %7.2 artırır. Türbin giriş sıcaklığı artmasıyla optimum basınç oranı, giriş evaporatif soğutmada her 100K de 0.45, ard evaporatif soğutmada her 100K da 1.4 artar. Destek brülör kullanımı kombine çevrim santralinde 1970'li yıllarda başlamıştır. De ve ark. (2000) [12], destek brülörün etkisini ve optimizasyonunu çalışmışlardır. Yaduv (2004) [13], çalışmasında termodinamiğin birinci yasasını göz

önünde tutarak, basit bir kombine çevrim santralının yanma odasına buhar püskürterek, net güce ve verime etkisini incelemişler.

Bu çalışmada, gaz türbinli bir kombine çevrim sisteminin performansını iyileştirmek için birçok kanıtlanmış teknolojiler kullanılmıştır. Bu teknolojilerden; kompresör giriş havasında soğutma sistemleri kullanarak, kompresöre giren nem miktarı artar, yanma odasına buhar veya su püskürterek, türbine giren gaz miktarı artar ve NOx emisyonları azalır, gaz türbin çıkışına destek brülör yerleştirilerek, ısı geri kazanım buhar jeneratörüne ısı miktarı artar ve sonuç olarak türbine giden buhar miktarı artar. Doğalgazlı kombine çevrim santrallerinin performansının iyileştirmesi için, kompresör giriş havası soğutması ya da destek brülörü gibi, birçok bilimsel literatürde yer almıştır [5-12]. Ancak, aynı sistem üzerine; kompresör giriş havası soğutulması, destek brülör ve yanma odasına buhar püskürtme yöntemlerini kullanarak sistem performansının analizi yapılmamıştır. Bu çalışmada, doğalgazlı bir kombine çevrim santralının üç farklı teknoloji kullanarak performans analizi yapılmış, bu teknolojiler için farklı değerler kullanarak, duyarlılık analizi yapılmış ve optimum net güç gösterilmiştir.

2. Sistem Tanıtımı ve İşletme

Kabul edilen kombine çevrim santral ünitesinin şeması Şekil 2’de gösterilmiştir [2]. Bu çalışmada, tipik bir gaz türbini ele alınmış ve birkaç modifikasyon yönteminin değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Seçilen modelde, giriş hava soğutma sistemi, kompresör, yanma odası, gaz türbini, ısı geri kazanım buhar jeneratörü, buhar türbini, pompa ve yoğunlaştırıcı kullanılmıştır. Çevre havası filtrelerden geçerek giriş hava soğutma sistemine girer ve sonuç olarak havanın sıcaklığı düşer ve nem miktarı artar. Her iklim ve coğrafyanın kendine özgü koşulları olduğu için tüm gaz türbinlerinin kabul edilmiş standart kapasite değeri Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından ifade edilen çalışma koşulu 15°C giriş havası sıcaklığında, %60 bağıl nem, deniz seviyesinde 101,3 kPa şartında ifade edilmektedir [13]. Bu çalışmada kullanılan türbinin türü GE 7251FB’dir. Nemlendirici (fogging) giriş hava soğutma sistemi seçilmiştir. Fogging sistemi kullanılarak, kompresör giriş havasını ancak çevre sıcaklığının ıslak termometre sıcaklığına kadar düşürebilir. Gaz türbin çıkış sıcaklığı çok yüksek olur. Bu yüksek sıcaklığı değerlendirmek için, gaz türbin çıkışına iki basınçlı ısı geri kazanım buhar jeneratörü yerleştirilir. Bu ünitelerden üretilen buhar, türbine gönderilir ve türbinden elektrik üretimi gerçekleştirilir. Bu elektrik üretimini iyileştirmek için gaz türbininden çıkan gazların sıcaklığı artırılır. Türbinden çıkan (633°C) gazları arttırmak için, ısı geri kazanım buhar jeneratörü girişine bir destek brülörü yerleştirilir ve çıkan gazların sıcaklığını 648°C’ye kadar yükseltir. Isı geri kazanım buhar jeneratörünü besleyen bir su besleyici pompa yerleştirilir. Bu pompa işi kompresör işinden çok küçük olur. Isı geri kazanım buhar jeneratöründe üretilen buharın bir kısmı gaz türbin yanma odasına püskürtülür.

Yanma odasına püskürtülen buhar kompresör çıkış sıcaklığı ile aynı derecede olacaktır. Kompresörden gelen hava ve ısı geri kazanım buhar jeneratöründen alınan buhar, her ikisi de aynı zamanda yanma odasına girer. Yanma odasına verilen doğalgaz ile elde edilen enerji aynı gaz ve buhar karışımı gaz türbini tarafından genişler. Bu sistemin tasarımında, püskürtülen buhar miktarı gaz türbinin türüne göre değişmektedir. Çeşitli debi ve sıcaklıklarda buhar püskürterek maksimum türbin gücü belirlenecektir.

3. Kombine Çevrim Santrali ve Termodinamik Analizi

1970'li yıllarda, kombine çevrim kavramı bir gaz türbin çevrimini ısı geri kazanım buhar jeneratörü ile buhar çevrimini birleştirerek ortaya çıkmıştır. Böyle bir çevrimde, gaz türbininden çıkan sıcak atık gazları ısı geri kazanım buhar jeneratörüne girerek kızgın buhar üretilir. Üretilen kızgın buhar, buhar türbinine verilir ve jeneratör vasıtasıyla elektrik üretilir. Çevrim yapısı ve şeması Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu yapılandırma ile ilgilenme 20. yüzyılın başlarında başlamıştır. Bu çevrim, uçak araştırma ve geliştirme programlarıyla motive edilmiştir. Bu tür programlar başta askeri kullanım amaçlı, gaz türbininde bir devrim olarak sonuçlanmıştır. Bu metalürjik başarılar gaz türbinini işletim sıcaklıklarının sınırlarını aştı. Gaz türbinini giriş sıcaklığı arttıkça, belirli bir basınç oranında türbin egzoz sıcaklığının artması söz konusu olacaktır. Böylece, ısı geri kazanım buhar jeneratöründe daha fazla ısı elde edilir ve bu fazla buhar türbin çevriminde buhar üretmek için kullanılabilir. Son yirmi yılda, kombine gaz ve buhar türbinini çevrim santralleri üstün işletim yakıt kullanımı ile bir ayrı işletim gaz türbinli veya buhar türbinli elektrik santraliyle karşılaştırılırsa daha az yakıt tüketmektedir. Son zamanlarda, termik ısı santralleri arasında kombine çevrim santrali en verimli santral olarak tanımlanır [14]. 1970'li yıllarda, kombine çevrim santrali inşa edildiğinde %40 bir verimlilik düzeyi elde ediliyordu, ancak gaz veya buhar türbinini ayrı ayrı kullanıldığında bu verim %30-35 arasında değişiyordu. Kombine çevrim santrallerinden daha yüksek verim elde etmek için, birçok Ar-Ge programları savunma ve uçak sanayisi tarafından geliştirilmiştir. Bu Ar-Ge çalışmaları türbinlerde daha iyi malzemeler kullanarak türbin giriş sıcaklığını artar, bu nedenle de santral verimini %50'lerin fazla yükseltmektedir.

Gaz türbinleri 900 – 1350°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda çalışabilir, buhar türbinini ise en fazla 560°C'ye kadar çalışır. Termodinamiğe göre, ortalama ısı giriş sıcaklığını artırarak ve ortalama ısı çıkış sıcaklığını düşürerek, güç çevrimlerinde verim artar. Yüksek sıcaklıkta çalışan bir gaz türbinini çevrimi, ısı geri kazanım buhar jeneratörü vasıtasıyla buhar çevrimi ile birleştirdiğinde ise, ortalama giren ısı sıcaklığı buhar çevrim işletim sıcaklığından daha yüksektir. Ayrıca, ortalama çıkan ısı sıcaklığı gaz çevrim sıcaklığından daha düşüktür, genel etkisine bakılırsa, gaz çevrimi ve buhar çevrimini ayrı ayrı kullanıldığını kombine çevrimi ile karşılaştırsak, kombine çevrimi daha yüksek verim ile çalışır. Bir kombine çevrim elektrik santralinin diğer avantajları arasında; daha yüksek verimde çalışarak emisyon düzeylerinin düşük olması, kombine çevrim santrallerinin işletme ömrü daha uzun olması, başlatması kolay ve hızlı yük değişimi [15].

İdeal Brayton çevrimi kullanılarak yapılan hesaplamada denklemler aşağıda gösterildiği şekildedir. Gaz çevrim verimini bulmak için

$$\eta_{GÇ} = \frac{W_t}{\dot{Q}} \quad (1)$$

burada; W_t ve \dot{Q} , turbin net işi ve gaz çevrimine giren ısıdır. Aynı denklemi kullanarak çevrimin net gücü hesaplanabilir. Bu nedenle, gaz çevriminin enerji balansı yazarak, buhar çevriminde serbest ısı miktarı bulunur

$$\dot{Q}_{BÇ} = \dot{Q}_{GÇ} - W_{GÇ} \quad (2)$$

Birinci denklemdeki gibi buhar çevriminden elde edilen net iş miktarı

$$(\dot{W} = \eta * \dot{Q})_{BÇ} = (1 - \eta_{GÇ}) * (1 - \eta_{BÇ}) * \dot{Q}_{GÇ} \quad (3)$$

Buhar çevriminden atılan ısı miktarı

$$\dot{Q}_{a.l} = \dot{Q}_{BÇ} - \dot{W}_{BÇ} \quad (4)$$

Son olarak, kombine çevrim santralini ısı verimi ($\eta_{KÇS}$) hesabı:

$$\eta_{KÇS} = \frac{\dot{W}_{GÇ} + \dot{W}_{BÇ}}{\dot{Q}_{Yakıt}} = 1 - \frac{\dot{Q}_{a.1}}{\dot{Q}_{Yakıt}} \quad (5)$$

Buhar çevriminden atılan ısı ($\dot{Q}_{a.1}$) denklem 3'te yerine koyarsak:

$$\eta_{KÇS} = 1 - (1 - \eta_{GÇ}) * (1 - \eta_{BÇ}) \quad (6)$$

Başka bir deyişle, kombine çevrim santralin ısı verimi daima gaz çevrim ve buhar çevrim ısı verimlerinden daha yüksek olur [16].

En yaygın santral, açık Brayton çevriminden ve kapalı Rankine çevriminden oluşan kombine çevrim santrali Şekil 2'de verilmiştir. Gaz ve buhar türbinlerinin aynı santralde kullanması, bu yapılandırma en yaygın ve en ekonomik olarak bildirildi. Kombine çevrim santrallerin en önemli avantajları; yüksek ısı verimi, uzun süre kullanılabilirliği, düşük emisyon miktarı ve çevre dostu güç üretim sistemidir.

4. Sonuçlar ve Duyarlılık Analizi

Bu çalışma kapsamındaki tüm yapılandırmalar için, yakıt olarak doğalgaz kullanılmıştır. Doğalgaz da bulunan saf metan gaz miktarı ise %87'dir. Doğalgaz yakıt alt ısı değeri LHV = 46.280 kJ/kg. Dış hava sıcaklığı ise 15°C, basınç ise 1 atm kabul edilmiştir. Tüm çalışma bileşenleri, pompa hariç izentropik olarak kabul edilmiştir, izentropik verimliliği %90 alınmıştır.

Normal yerel hava koşullarına (1 atm, 15°C ve %60 nem oranı) göre, her modifikasyon değişimini göstermek için kullanılmıştır. Karşılaştırmak için bir referans santral simülasyonu yapıldı, performans özellikleri dört farklı yapılandırma için incelenmiştir. Tablo 1'de bu yapılandırmalar gösterilmiştir. Kombine çevrim santralin çıkış gücü, nemlendirici (Fogging) giriş hava soğutma sistemi kullanarak, artmaktadır. Sıcak ve nemli iklimlerde, giriş hava soğutucu sistemi giren havanın sıcaklığını azaltır ve büyük bir oranda bu havanın nemini yükseltir. Nemlendirici bir soğutma sistemi kullanmak, hava kuru termometre sıcaklığını düşürür ve sonuç olarak kompresör özgül işini azaltır. Gaz türbin çıkışına bir destek brülör yerleştirildiğinde, santral çıkış gücü önemli bir miktarda artar. Santral verimi ise, az bir oranda olsa da düşer. Destek brülörü kullanarak, yakıt tüketimi artsa bile, tüketilen yakıtta göre, elde edilen güç artışı miktarı çok daha büyüktür (Tablo 1). Aynı şekilde buhar püskürtme yöntemini kullanıldığında, net çıkış gücü artar, verim ise %1,45 azalmaktadır. Bu üç çeşit iyileştirme yöntemlerini kullanarak çıkış kombine çevrim santralin çıkış gücü 268,719 MW'tan 283,288 MW'la kadar yükselir. Santral verimi ise %54,14'ten %53,05'e kadar düşer.

Tablo 1 Çeşitli yapılandırmalar için performans verileri

Sistem	Çıkış gücü (MW)	Verim (%)
Referans kombine çevrim santrali	268,719	54,14
GHS kombine çevrim santrali	277,042	53,23
BP kombine çevrim santrali	274,248	53,35
DB kombine çevrim santrali	273,326	54,04
GHS+BP+DB kombine çevrim santrali	283,288	53,05

Basit bir gaz türbinli kombine çevrim santralının verimi ve çıkış gücü, çeşitli ortam sıcaklıklarına göre ve sabit nem ortamında hesaplanmıştır. Kombine çevrim santralının performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri de kompresör işidir. Püskürtülen su ile yakma havasının bir taraftan sıcaklığı, doyma (%95) sıcaklığına kadar soğutulmuş, diğer taraftan ise ilave olan su buharı ile kütleli debi artmıştır. Kompresör hava giriş sıcaklığının azalması ile özgül kompresör işi (kJ/kg) azalmakta, diğer taraftan artan debi nedeni ile toplam kompresör işi

($W_K = (m_{hava} + m_{su}) w_k$) ise artmaktadır [1]. Tasarımlanan kombine çevrim santraline kompresör giriş hava soğutma sistemi, destek brülörü ve yanma odasına buhar püskürterek santralin performansına etkisi incelenmiştir. Santralin bazı önemli parametreleri değiştirilerek santralin verim ve çıkış güce etkileri grafik olarak gösterilmiş ve irdelenmiştir (Şekil 3-5).

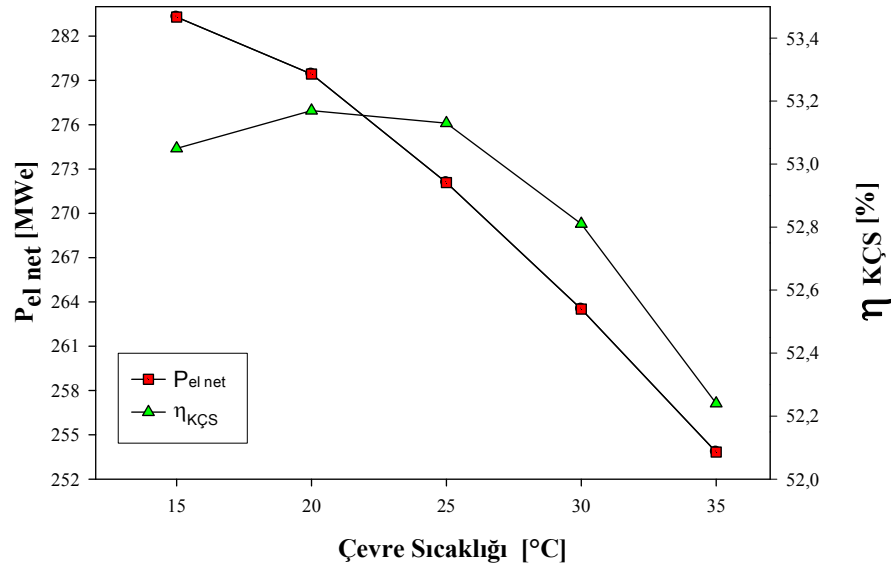
Sonuçlara göre aşağıdakilere dikkat edilmiştir:

- Bu çalışmada, basit bir kombine çevrim santralının performansı iyileştirmek için üç farklı teknoloji kullanılmıştır. Sayısal entegrasyon teknikleri kullanılarak, yaklaşık deneysel korelasyonu, iteratif hesaplar ve klasik termodinamik ilişkileri kullanarak, THERMOFLEX bilgisayar paket programı vasıtasıyla kombine çevrim santral simüle edilmiş ve bu simülasyon sonuçları aşağıda irdelenmiştir.
- Referans seçilen tipik bir kombine çevrim santralının çıkış net gücü 268,719 MWe ve %54,14 verimde çalışmaktadır.
- Referans sisteme, nemlendirici (fogging) kompresör giriş havası soğutma sistemi (GHS) uygulandığında, KÇS net çıkış gücü referans güç değerine göre %3 artış göstermektedir. Net elektrik verimi ise %1,68 azalmaktadır.
- Isı geri kazanım buhar jeneratörü girişine, destek brülörü (DB) uygulanması halinde, çevrim net elektrik çıkış gücü referans çevrime göre %1,68 artmaktadır.
- Yüksek basınçlı buhar türbininden alınan buhar yanma odasına püskürtüldüğünde (BP), çevrim çıkış gücüne kıyasla %2,01 artmaktadır.
- Aynı çevrim üzerine GHS, DB ve BP uygulaması halinde, net elektrik çıkış gücü %5,14 bir artış meydana gelir, referans net elektrik çıkış gücüne göre.
- GHS, DB ve BP kombine çevrim santrali, referans kombine çevrim santraline göre %7,05 daha fazla CO₂ emisyonu çevreye atmaktadır.

Duyarlılık Analizi

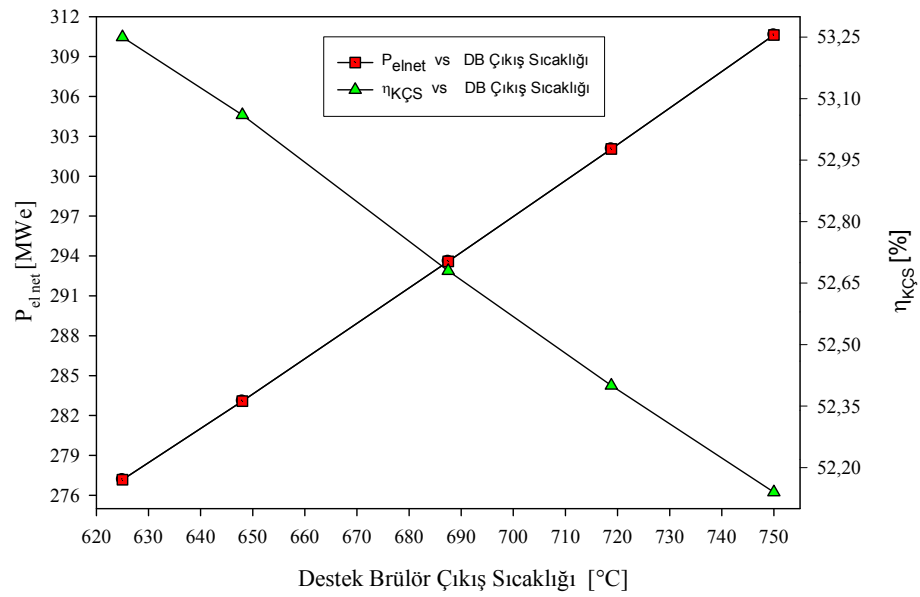
Hava 1 atm ve 15°C'de kompresöre girer. 415°C ve 18,57 bar'da kompresörden çıkan gaz, yanma odasına giriş yapar. Yanma odasında ısı kaybı ise %3 olarak kabul edilir. Isı geri kazanım buhar jeneratöründen çıkan atık gazların sıcaklığı 118°C'dir. Isı geri kazanım buhar jeneratöründen yanma odasına verilen buhar miktarı 8-12 kg/s arasında değişmektedir. Gaz türbininden çıkan gazların toplam debisi 466 kg/s. Buhar türbini giriş koşulları 120 bar ve 537°C olarak alınmıştır. Yoğuşturucu basıncı ise 0,068 bar'dır. Basınç oranı 18,5 olarak alınmıştır. Gaz türbin giriş sıcaklığı 1370°C olarak kabul edilmiştir. Destek brülörün çıkış sıcaklığı 625-750°C arasında değişiyor.

Şekil 3'te görüldüğü gibi, her 10°C hava giriş sıcaklığı arttığında, çevrim çıkış net gücü %3,95 oranında azalmaktadır. Aynı zamanda, kombine çevrim santrali 20-25°C arasında maksimum verim ile çalışmaktadır. Şekil 4'te görüldüğü gibi, destek brülör çıkış sıcaklığı arttıkça, çıkış gücü artıyor. Destek Brülör çıkış sıcaklığı 625°C den 650°C'ye arttığında santral çıkış gücü %2 artmaktadır. Santral verimi ise, %0,35 azalmaktadır.

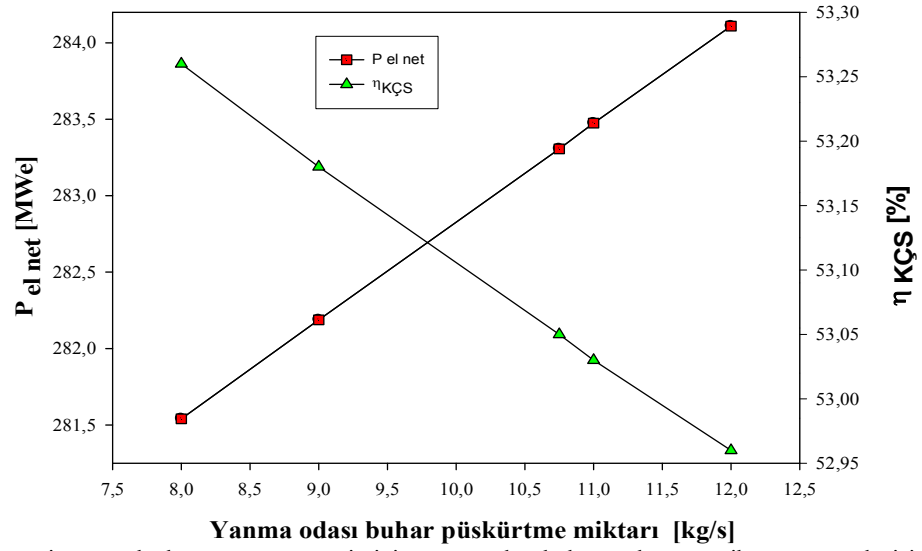


Şekil 3 Kombine çevrim santral çıkış gücünün ve veriminin çevre sıcaklığına göre değişimi

Yanma odasına püskürtülen buhar miktarı arttıkça, santral net çıkış gücü artar. Püskürtülen buhar miktarı 1 kg/s artığında, çıkış net gücü %0,22 artmaktadır. Verim ise her 1 kg/s artış için %0,15 azalmaktadır (Şekil 5).

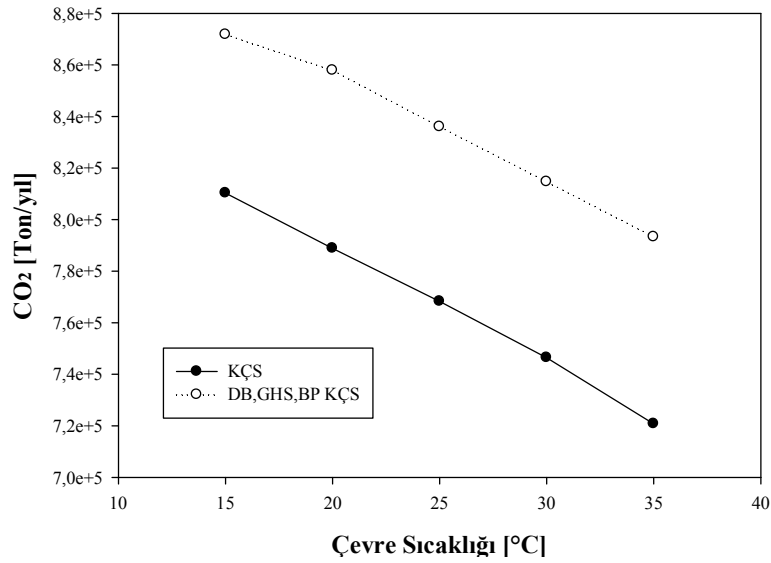


Şekil 4 Kombine çevrim santral çıkış gücünün ve veriminin destek brülör çıkış sıcaklığına göre değişimi



Şekil 5 Kombine çevrim santral çıkış gücünün ve veriminin yanma odası buhar püskürtme miktarına göre değişimi

Yıllık çevreye atılan CO₂ emisyon miktarı Şekil 6'da gösterilmiştir. Burada, destek brülörlü, giriş hava soğutmalı ve buhar püskürtmeli bir kombine çevrim santrali yılda 61485 t/yıl daha fazla emisyon çevreye atmaktadır.



Şekil 6 Çevreye atılan yıllık CO₂ emisyon miktarı iki tür kombine çevrim santrali için çevre sıcaklığına göre değişimi

KAYNAKLAR

- [1] Rahim M.A., Sönmez M, Durmaz A, ‘‘Gaz türbini tasarımı, optimizasyonu ve uygulamaları’’, *IV. Ege Enerji Sempozyumu*, 19-21 Haziran 2008, İzmir, Türkiye.
- [2] M.A. Rahim, ‘‘Doğalgaz ile çalışan bir kombine çevrim santralin tasarımı, optimizasyonu ve enerji verimliliği’’, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2008.
- [3] United Nations Population Fund (UNFPA), ‘‘State of World Population 2004, The Cairo Consensus at Ten: Population, Reproductive Health and the Global Effort to End Poverty’’, Cairo, Egypt, 2004.
http://www.unfpa.org/upload/lib_pub_file/327_filename_en_swp04.pdf
last Seen: March 24th, 2005.
- [4] Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesi gelişimi projeksiyonu (2005-2013)
<http://www.ressiad.org.tr/dhie.php?t=istatistikler&ID=39>
- [5] Erdem H.H., Sevilgen S., ‘‘Case Study: Effect of ambient temperature on the electricity production and fuel consumption of a simple cycle gas turbine in Turkey’’, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 26, P:320-326, 2006.
- [6] Ünver Ü., Kılıç M., ‘‘Çevre Sıcaklığının Bir Kombine Çevrim Güç Santralının Performansına Etkisi’’, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 10, Sayı 1, 2005.
- [7] Acül H., ‘‘Soğuk Sulu İklimlendirme ve Proses Soğutma Uygulamalarında Enerji Tasarruflu Serbest Soğutma Üniteleri’’, *Friterm Termik Cihazlar Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, 2005.
- [8] Boonnasaa S., Namprakaia P., Muangnapohb T., ‘‘Performance improvement of the combined cycle power plant by intake air cooling using an absorption chiller’’, *Energy*, Vol. 31, Issue 12, P: 2036-2046, 2006.
- [9] Salvi D, Pierpaoli P., ‘‘Optimization of inlet air cooling systems for steam injected gas turbine’’, *International Journal of Thermal Science*, Vol. 41, pp: 815-822, 2002.
- [10] Alhazmy M.M., Najjar Y.S.H., ‘‘Augmentation of gas turbine performance using air coolers’’, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, pp: 415-429, 2004.
- [11] Bassily A.M., ‘‘Performance improvements of the intercooled reheat recuperated gas-turbine cycle using absorption inlet-cooling and evaporative after-cooling’’, *Applied Energy*, Vol. 77, 2004, pp: 249-272, 2006.
- [12] S. De, P. K. Nag, ‘‘Effect of supplementary firing on the performance of an integrated gasification combined cycle power plant’’, *Indian Institute of Technology*, Kharagpur, India, Proc. Inst. Mech. Engrs, Vol.214, Part A, 2000.
- [13] A. Karademir, ‘‘Gaz türbinli sistemlerde performans artırma yöntemlerinin analizi’’, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [14] O. Bolland, ‘‘A comparative evaluation of advanced combined cycle alternative’’, *ASME J. Eng. Gas Turbines Power*, 113, pp. 190-197, 1991.
- [15] P. K. Nag, ‘‘Development of combined cycles’’, *Department of Mechanical Engineering*, Technical University of Nova Scotia, Halifax, Nova Scotia, Canada.
- [16] K. M. Mohamed, ‘‘Parametric analysis of advanced combined cycle power generation systems’’, *Masters of Science in Engineering*, The University of New Brunswick, Canada, 2005.
Annual Book of ASTM Standards, 4-16 (1998).