

## ÇEVRE SICAKLIĞININ BİR KOMBİNE ÇEVİRİM GÜÇ SANTRALİNİN PERFORMANSINA ETKİSİ

Ümit ÜNVER\*  
Muhsin KILIÇ\*

**Özet:** Bu çalışmada doğal gaz yakıtlı bir kombine çevrim güç santralının çevre sıcaklığına bağlı olarak performans parametrelerinin değişimi ve değişim miktarları termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada sistemi oluşturan her bir üniteye faydalı güç, tersinir güç ve tersinmezlik miktarları tespit edilmiş ve sistemin genel verimleri hesaplanmıştır. Sistemin birinci kanun verimi ve ikinci kanun verimi çevre sıcaklığının 42°C lik artışında sırasıyla %4 ve %5 oranında azaldığı hesaplanmıştır. Atmosferik hava sıcaklığındaki artışın sistemin genel verimini olumsuz olarak etkilediği sıcaklığın 42°C artması santral net güç çıkışını %22 oranında azalttığı ve özgül yakıt sarfiyatını %9 oranında arttırdığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kombine Çevrim, Termodinamik Analiz, Enerji, Kullanılabilirlik, Ekserji.

### Effect of the Ambient Temperature on the Performance of a Combined Cycle Power Plant

In this study, an analysis based on the first and second laws of thermodynamics, considering different environmental temperature, are performed for a natural gas fired combined cycle power plant. The variations of the performance parameters and their magnitudes are studied. The useful power, reversible power and irreversibility are obtained for each component which constitutes the plant, and overall efficiencies of the plant are also calculated. With a rise of 42 °C in the environmental temperature, the overall first and the second law efficiencies of the plant decreases about 4% and 5% , respectively. By the increase of environmental temperature from 0°C to about 42°C, the results indicated that both the reversible work and power out put of the system decrease about 22%, whereas specific fuel consumption increases about 9%.

**Key Words:** Combined Cycle, Thermodynamic Analysis, Energy, Availability, Exergy.

#### SİMGELER

- h : Entalpi, kJ/kg  
P : Birim zamandaki tersinmezlik, kW  
Q : Isıl güç, kW  
S : Birim zamanda gerçekleşen entropi transferi, kW/K  
s, S : Birim kütle başına entropi, kJ/kgK; Entropi, kJ/K  
T : Sıcaklık, °C  
W : Birim zamanda üretilen/tüketilen iş, Kw

#### ALT SİMGELER

- o : Ölü hal, Atmosferik şartlarda  
II : Termodinamiğin İkinci Kanunu  
BK : Buhar kazanı  
BT : Buhar türbini  
ç : Çıkan akışkana ait

\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle, Bursa.

çev : Çevre  
g : Giren akışkana ait

### **ALT SİMGELER (devam)**

GT : Gaz türbini çevrimi  
kh : Kontrol hacmi  
i : i ünitesi  
p : Pompa  
t : Isıl  
tr : Tersinir  
u : Faydalı  
y : Yakıt

### **YUNAN HARFLERİ**

$\Psi$  : Birim zamandaki ekserji miktarı, kW  
 $\eta$  : Verim  
 $\Sigma$  : Toplam

### **KISALTMALAR**

BT : Buhar türbini, Buhar türbin jeneratör ünitesi  
BK : Buhar kazanı, (Heat Recovery Steam Generator) Isı geri kazanımlı buhar üreticisi  
GT : Gaz türbini çevrimi

## **1. GİRİŞ**

Enerji üretim ve tüketiminde, ekonomik ve sosyal gelişimi destekleyecek, çevreyi en az düzeyde kirletecek, minimum maliyette enerji arzı hedef alınmak durumundadır. Bu açıdan, birincil enerji kaynaklarının mümkün olan en verimli şekilde kullanılabilmesi için, enerjinin yalnızca dönüşümünün değil, kullanılabilirliğinin de araştırılması gerekir. Rosen ve Dinçer (1996) Türkiye'nin değişik sektörleri için enerji ve ekserji etkinliğinin çıkarılması ve sektörel enerji kullanımı için bir model geliştirilmesi konusunu ele almışlar ve bu sektörlerle enerji ve ekserji analizi uygulamışlardır. Isıtma, iş üretimi, elektrik üretimi ve kinetik enerji üretimi için verim ifadeleri çıkarılmış, yapılan analizlerin enerji-kullanım analizleri için faydalı bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Termik santrallerde ekserji analiz metotları detaylı olarak Kotas (1995) tarafından verilmiştir. Enerji sektöründe temel amaç, artan nüfusun ve gelişen ekonominin enerji ihtiyaçlarının sürekli, kesintisiz bir şekilde ve mümkün olan en düşük maliyetlerle, güvenli bir arz sistemi içinde karşılanabilmesidir. Bu kapsamda, diğer enerji kaynaklarına göre kolay temin edilebilen ve çevreye etkisi daha az olan doğalgazın ülkemizde birincil enerji kaynağı olarak kullanımı giderek artmaktadır. Yüksek verim ve kısa zamanda işletmeye alma gibi avantajlarından dolayı doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralleri ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde son yıllarda giderek artan bir oranda kullanılmaktadır. Kombine çevrim santrallerinde gaz türbinleri ve buhar türbinleri birlikte kullanılmaktadır. Yakıt olarak doğal gaz kullanılan gaz türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisinin yanı sıra türbin egzozundan yüksek sıcaklığa sahip egzoz gazlarının atık ısısının kazana verilmesiyle elde edilen buhar ile buhar türbinlerinden de ek elektrik üretimi sağlanmaktadır. Bu santrallerde gaz türbinli çevrimlerin üst sıcaklığının yüksek olması ve buhar türbinli çevrimlerin alt sıcaklıklarının düşük olması avantajları birleştirilerek kombine çevrim verimi %60 civarında gerçekleştirilebilmektedir. Doğalgaz yakıtlı kombine çevrim termik santralleri diğer fosil kaynaklı yakıt kullanan termik, nükleer ve hidroelektrik santrallerine göre daha düşük kurulum maliyeti ile daha kısa sürede işletmeye alınabilmektedirler.

Yüksek verim ve güç elde imkanının yanında kombine çevrimler esnek işletme koşullarına uygun, çabuk devreye alınabilme, tam yük ve değişken yük durumlarına kolay adapte olabilme, hatta değişken yük durumlarında da yüksek verimle çalışma özelliklerine sahiptirler. Kombine çevrim türlerinin başlıcaları "Ek yanmalı/yanmasız atık ısı geri kazanım buhar üreticisi", "Rejeneratörlü ve/veya besleme suyunun ısı-

tıldığı buhar üreticili”, “Çok basınç kademeli atık ısı geri kazanım buhar üreticili”, “Buhar çevriminde besleme suyu ısıtması ile kapalı çevrim gaz türbin sistemi” olarak sıralanabilir. (EL-Wakil 1984)

Kombine çevrim performansları üzerine literatürde oldukça fazla çalışma mevcuttur. Bhargava ve ark. (2002) mevcut bir gaz türbin ünitelerine reküperasyon, ara soğutma ve tekrar ısıtma ünitelerinin uygulanması için dizayn metodu vermiştir. Çalışmada mevcut gaz türbininin modifiye edilmesi durumunda gaz türbininden elde edilebilecek verimin, Brayton çevrimi ilaveli bir kombine çevrimden elde edilebilecek verim değerine kadar yükseltilebileceği ve gaz türbininin termodinamik performansı ile üretilen gücün artacağı saptanmıştır. Ayrıca yapılacak bir iyileştirmenin ekonomik boyutunun da cazip olduğu belirtilmiştir.

Fischi ve Manfrida (1998) yarı kapalı kombine gaz türbin çevriminin ekserji tabanlı olarak analizini gerçekleştirmişlerdir. Değişik işletme şartlarında her bir eleman için ekserji kaybı hesaplanmış ve çevrimin kritik üniteleri tespit edilmiştir. Çalışmada yanma, atık ısı kazanı, su püskürtme/karıştırma ve su geri kazanım sistemleri kayıpların olduğu ana bölgeler olarak belirtilmiş ve toplam ekserji kaybının %80’den fazlasını teşkil ettiği tespit edilmiştir. Kim ve ark. (2001) çift basınç kademeli kombine çevrim santralinde buhar çevriminin geçici rejim davranışlarını incelemişlerdir. Sistemin ayrıntılı modelini oluşturabilmek için, her bir üniteye tek boyutlu geçici rejim korunum denklemlerini vermişlerdir. Ayrıca simülasyonda su seviyesi ve türbin gücü etkileri de hesaplara yansıtılmıştır. Erdem ve ark. (2001) çevre sıcaklığının performansa etkilerini incelemiş ve iklim bölgelerine göre gaz türbinindeki performans kayıplarının azaltılması ya da kazançların artırılması için dizayn parametrelerinin olası büyüklük aralıklarını belirlemişlerdir. Bhargava ve Meher-Homji. (2002) değişik gaz türbinlerinde buharlaştırma ve spreyleme metodlarıyla giriş havası nemlendirilmesinin, gaz türbin performansı parametreleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada nemlendirme işleminin gaz türbin verimini olumlu etkilediği belirtilmiş, ancak atmosferik bağıl nemin %0-100 arasında değiştiği durumlarda türbin parametrelerindeki değişimin %1’in altında kaldığı ifade edilmiştir. Nixdorf ve ark. (2002) gaz türbininden elde edilen faydalı iş miktarını arttırmaya yönelik olarak, şartlandırılmış farklı türbin giriş havası sıcaklıkları için elde edilen faydalı iş miktarının ne şekilde değiştiğini, atmosfer sıcaklığı değişimlerinin kompresör giriş havası sıcaklığı ve değişik soğutma ünitelerinin ısı yükleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca önerilen sistemlerin termo-ekonomik analizleri de maliyet optimizasyonu tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Güç santrallerinin dizaynında performans kriterleri çevrim performansını en üst düzeyde tutacak şekilde seçilir. Çevrim maksimum sıcaklığı gaz türbin sisteminde kullanılan malzemeye bağlı olarak seçilir. Performansa etki eden diğer bir etken ise çevre koşullarıdır. Santral elemanlarının dizaynında santralin tam yükte çalıştığı ve çevre koşulları olarak da genellikle deniz seviyesinde, %60 bağıl nem ve 101kPa atmosfer basıncı (ISO koşulları) baz alınır. Santralin işletmesi esnasında çevre koşullarını santralin bulunduğu yerdeki ortam basıncı, sıcaklığı ve bağıl nem oluşturur, bu parametreler ise dizayn koşullarından bağımsızdır. Dolayısıyla çevre koşullarının dizayn koşullarından farklı olmasına bağlı olarak santralin performansı artar yada azalır. Basınç ve bağıl nemin değişiminin santral performansı üzerindeki etkisi genel olarak sıcaklığın etkisi yanında ihmal edilebilecek düzeydedir (Ünver, 2004). Çevre sıcaklığının dizayn sıcaklığından yüksek olduğu durumlarda santralin genel performansı olumsuz etkilenmekte santralin net gücü azalırken, ısı verimi düşmekte ve özgül yakıt sarfiyatı artmaktadır. Buna karşılık dizayn sıcaklığının altındaki çevre sıcaklığında performans değerleri iyileşmektedir. Eğer santral çevre sıcaklığının dizayn sıcaklığından yüksek olduğu saatlerde pik yük talebi ile kullanılıyorsa net güç, dolayısıyla elektrik üretimi, azalacağından çevre sıcaklığı parametresi ayrıca önem kazanır. Bu saatlerde üretim maliyeti artacaktır.

Bu çalışmada, çevre sıcaklığındaki değişimin sistemin performansını hangi oranlarda etkilediği çalşıyan bir santralin verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Uygulama merkezi olarak 1999 yılında kurulan Bursa / Ovaakça Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali tercih edilmiştir. Analizlerde, sistem çevre ve üretim-yakıt ilişkileri, kullanılabilir enerji miktarının tespiti, tersinmezliklerin tespiti, enerji kalitesi, buhar kalitesi, kayıplar ve ürünün maliyeti gibi bir çok parametreyi birlikte inceleme olanağı verdiğiinden, termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları birlikte uygulanmıştır.

## 2. TEORİ

Kombine güç çevrimleri, gaz ve buhar türbinlerinin birlikte kullanıldığı çevrimlerdir. Kombine çevrim fikri basit Brayton çevriminin verimini, yüksek sıcaklıklarda çalışmasının sağladığı kazançlardan yararlanmak ve egzoz gazlarıyla atılan ısı enerjisini geri kazanarak bu enerjiyi buharlı güç çevrimi gibi bir alt çevrimde ısı kaynağı olarak değerlendirmek fikrinden hareketle ortaya çıkmıştır. Kombine güç çevrimleri geçen yüzyılın başından beri tasarlanan sistemler olmasına rağmen ilk kombine çevrim santralinin

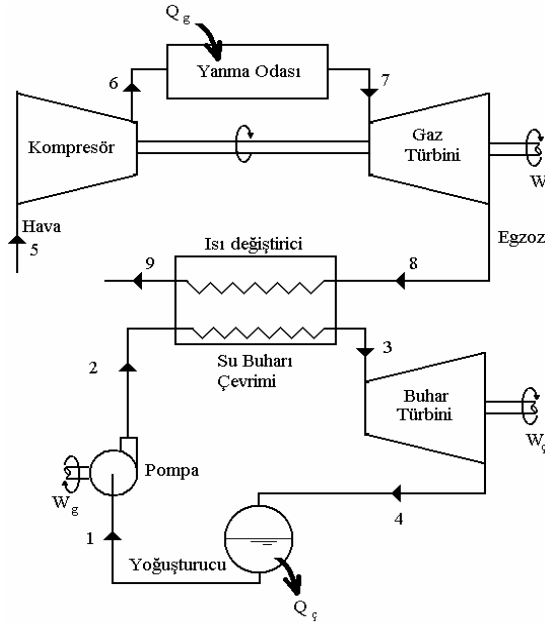
1950’de kurulmuş olup, daha sonra hızla artan uygulamaları ile günden güne gelişim göstermektedir. Şekil 1’de kombine çevrimlerin şematik gösterimi ve Şekil 2’de T-s diyagramları görülmektedir. Bu çevrimde egzoz gazlarının enerjisinden, bir ısı değiştiricisi yardımıyla, alt çevrimde buhar üretiminde faydalanılır. Alt çevrimde ara ısıtma ve ara buhar alma işlemleri de yapılabilir (Çengel ve Boles 2002).

### Gaz türbini çevrimi;

Güç santrallerinin enerji analizi, termodinamiğin birinci kanunu olan, enerjinin korunumu prensibine dayanır. Enerjinin korunumu denklemleri, sistem ile çevre arasında gerçekleşen iş ve ısı etkileşimlerinin net etkisinden türetilir. Birinci kanun, enerji dengesi şeklinde birden çok giriş ve çıkışı olan sürekli akışlı bir kontrol hacmi için şu şekilde yazılır;

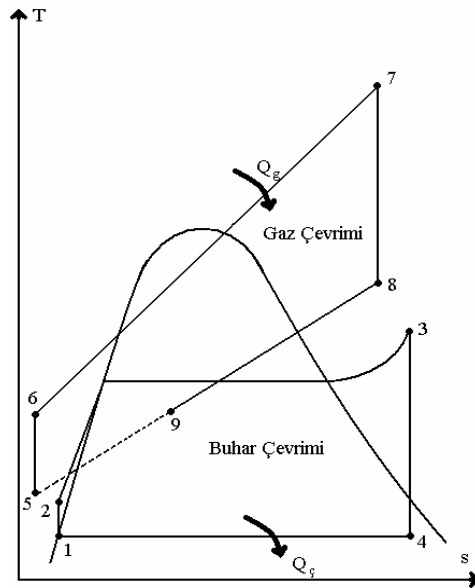
$$\dot{Q} - \dot{W}_u = \sum_{\dot{m}_f} \dot{m}_f \left( h_f + \frac{V_f^2}{2} + gz_f \right) - \sum_{\dot{m}_g} \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (1)$$

(1) nolu denklemde ısı transferi terimi yok edilir, potansiyel ve kinetik enerji farkları ihmal edilirse adyabatik bir gaz türbini çevriminde üretilen güç aşağıdaki denklemle bulunabilir.



Şekil 1.

Kombine çevrimin şematik gösterimi



Şekil 2.

Kombine çevrim için T-s diyagramı

$$\dot{W}_{GT} = (\dot{W}_u)_{GT} = \sum_g \dot{m}_g h_g - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} h_{\zeta} \quad (2)$$

Bu ifade aynı zamanda gaz türbini çevriminde birim zamanda yapılan gerçek işe eşittir.

Çevresel parametreler referans durum olarak kabul edildiğinde, belirlenen durumdan çevresiyle dengede olduğu duruma gelinceye kadar, bir sistemden tersinir bir süreçte elde edilebilecek maksimum güç, sistemin faydalı güç potansiyelidir ve ekserji diye adlandırılır. Ekserji analizi, termodinamiğin ikinci kanununa dayanmaktadır. Birden çok girişi ve çıkışı olan sürekli akışlı bir proses,  $P_o$  sabit basınç ve  $T_o$  sabit sıcaklığında bir ısı kaynağı gibi davranan çevreyle ısı alışverişinde bulunabilir. Bu tür bir proses için ikinci kanun yazılacak olursa;

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} s_{\zeta} - \sum_g \dot{m}_g s_g + \frac{\dot{Q}_{\text{çev}}}{T_o} \quad (3)$$

Burada  $\dot{S}_{\text{üretim}}$  birim zamandaki entropi üretimidir.  $\sum_g \dot{m}_g s_g$  ve  $\sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} s_{\zeta}$  sırayla birim zamanda kontrol hacminin içine ve dışına gerçekleşen entropi transferleridir.  $\dot{Q}_{\text{çev}} = -\dot{Q}$  anlık çevre sıcaklığının  $T_o$  olduğu durumda sistem sınırlarından olan zamana bağlı ısı transferi miktarıdır ve son olarak  $\dot{Q}_{\text{çev}}/T_o$  ısı transferi yoluyla gerçekleşen entropi transferinin toplamıdır. (1) ve (3) nolu denklemlerden ısı transferi terimi yok edilir, potansiyel ve kinetik enerji farkları ihmal edilirse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\dot{W}_{kh} = \dot{W}_u \cong \sum_g \dot{m}_g (h_g - T_o s_g) - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} (h_{\zeta} - T_o s_{\zeta}) - T_o \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (4)$$

Bu ifade, proses esnasında gerçekleşen işi vermektedir. Aynı zamanda sürekli akışlı ünitelerin sınırlarının sabit olduğu, çevreye iş yapılmadığı durum için faydalı gücü veren ifadedir.

(4) denkleminde entropi üretimi sıfır olursa, bu takdirde denklem birim zamandaki maksimum faydalı gücü (tersinir güç) verir.

$$\dot{W}_{tr} = \dot{W}_{u,\text{maks}} = \sum_g \dot{m}_g (h_g - T_o s_g) - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} (h_{\zeta} - T_o s_{\zeta}) \quad (5)$$

Bir akışın ekserji akışı, potansiyel ve kinetik ekserji farklarının olmaması halinde şu şekilde yazılır;

$$\Psi \cong \dot{m} [(h - h_o) - T_o (s - s_o)] \quad (6)$$

(5) ve (6) numaralı denklemler birlikte ele alındığında gaz türbini çevrimi için birim zamandaki tersinir iş, birim zamanda gaz türbini çevrimine giren ve çıkan ekserji akış miktarlarının farklarına eşittir.

$$\dot{W}_{tr,GT} = \sum_g \Psi_g - \sum_{\zeta} \Psi_{\zeta} \quad (7)$$

Diğer yandan, gaz türbini çevrimindeki birim zamandaki tersinmezlik şu şekilde yazılabilir.

$$\dot{F}_{GT} = \sum_g \Psi_g - \sum_{\zeta} \Psi_{\zeta} - \dot{W}_{GT} \quad (8)$$

### Buhar türbininde genişleme işlemi;

Birinci kanun uygulamasından adyabatik buhar türbininde üretilen güç;

$$\dot{W}_{BT} = \dot{W}_{u,BT} = \sum_g \dot{m}_g h_g - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} h_{\zeta} \quad (9)$$

Bu ifade aynı zamanda genişleme işleminde elde edilen net güce eşittir. Diğer yandan, türbindeki genişleme işlemindeki tersinmezlik şu şekilde yazılabilir.

$$\dot{F}_{BT} = \sum_g \Psi_g - \sum_{\zeta} \Psi_{\zeta} - \dot{W}_{BT} \quad (10)$$

Bu prosesdeki tersinir iş, türbine giren ve çıkan ekserjilerin farklarına eşittir.

$$\dot{W}_{tr,BT} = \sum_g \Psi_g - \sum_{\zeta} \Psi_{\zeta} \quad (11)$$

### Pompalarda basınçlandırma işlemi;

Birinci kanun uygulamasıyla izantropik sıkıştırma işi için pompa gücü şu şekilde hesaplanabilir;

$$\dot{W}_p = \dot{m}_g h_g - \dot{m}_\xi h_\xi \quad (12)$$

Pompada gerçekleşen basınçlandırma işleminde birim zamanda meydana gelen tersinmezlik;

$$\dot{I}_p = \left| \sum_g \Psi_g - \sum_\xi \Psi_\xi \right| - \left| \dot{W}_p \right| \quad (13)$$

### Buhar Kazanı ve Kondenserdeki Isı Transferi İşlemi;

Bu ünitelerde birim zamanda meydana gelen tersinmezlikler, gaz ve buhar türbinlerinde olduğu gibi ısı transferi sırasında güç üretimi olmadığından, tersinir güce eşittir;

$$\dot{I}_i = \dot{W}_{tr,i} - \dot{W}_{u,i} = \dot{W}_{tr,i} = \sum_g \Psi_g - \sum_\xi \Psi_\xi \quad (14)$$

### Bir Blok İçin Verimlerin Hesaplanması

Bir blok için termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları esas alınarak verimler şu şekilde hesaplanabilir.

$$\eta_t = \frac{\sum \dot{W}_u}{\sum \dot{Q}_g} \quad (15)$$

ve

$$\eta_{II} = \frac{\sum \dot{W}_u}{\sum \dot{W}_{tr}} \quad (16)$$

Burada  $\sum \dot{Q}_g$  sisteme giren enerjiler toplamıdır.

Santralin özgül yakıt sarfiyatı

$$\dot{OYS} = \frac{3600 \dot{m}_y}{\dot{W}_u} \quad (17)$$

denklemleriyle hesaplanabilir.

## 3. SANTRALİN TANITIMI

Bu çalışmada Bursa/Ovaakça bölgesinde bulunan 1400 MW gücündeki doğal gaz kombine çevrim santralinin, termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları esaslı analizleri gerçekleştirilmiştir. Santralde her biri 700 MW gücünde iki kombine çevrim bloğu, her blokta iki adet gaz türbin-jeneratör ünitesi ile bir adet buhar türbin-jeneratör ünitesi bulunmaktadır. Kondenserde soğutma suyu kapalı çevrimde, kuru tip, doğal çekişli, hiperbolik soğutma kuleleri vasıtasıyla soğutulmaktadır. Ayrıca santralde gaz türbinlerine bağlı dört adet buhar üreten ilave yanmasız (HRSG: Heat recovery steam generator) ısı geri kazanım buhar üretim ünitesi (çalışmanın bundan sonraki kısımlarında “buhar kazanı” olarak anılacaktır) ile diğer yardımcı tesisler bulunmaktadır. Santralin şematik bir gösterimi Şekil 3 de verilmiştir. Santral aşağıda belirtilen ünite ve sistemlerden oluşmaktadır.

- Gaz türbin – jeneratör üniteleri
- Buhar kazanı
- Buhar türbin – jeneratör üniteleri
- Soğutma suyu ve buhar yoğuşma sistemi
- Su arıtma (demineralizasyon) sistemi
- Şalt ve elektrik sistemleri
- Kontrol ve kumanda sistemleri

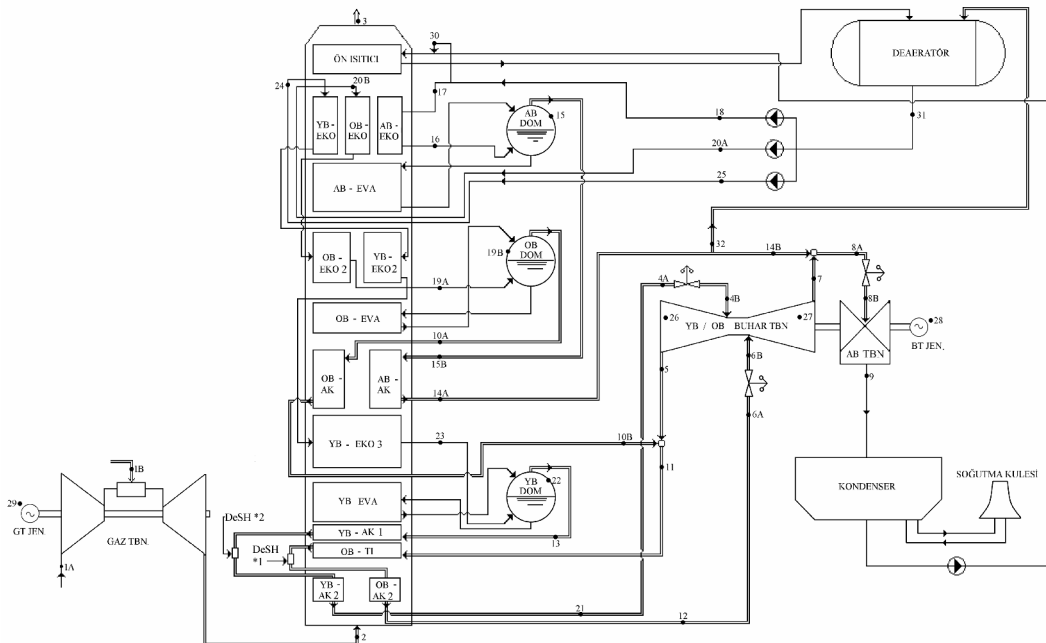
#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE BULGULAR

Metot bölümünde tanıtılan analiz yönteminin Bursa/Ovaakça doğal gaz kombine çevrim santraline uygulanması ile elde edilen bulgular bu bölümde sunulacaktır.

Tablo 1. %100 yük durumu ve 0 °C, 15 °C ve 42 °C çevre sıcaklıkları için sistemdeki her bir ünite için tersinmezlik, tersinir güç ve faydalı gücü göstermektedir. Tablo santraldeki ikiz iki bloktan birine ait analiz değerlerini yansıtmaktadır. Tablo 1.'de çevre sıcaklığındaki 42 °C'lik artışla santralin genel tersinmezliğinin 0 °C'deki değerlerine göre %5, faydalı gücün %22 ve tersinir gücün %14 civarında azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla sıcaklığın artması, tersinmezliği oran olarak arttırmakta ve faydalı güç azalmaktadır. Sıcaklığın en fazla faydalı güç üzerinde etki ettiği burada açıkça görülmektedir. Gaz türbin grubunda sıcaklığın artmasıyla güçteki azalmanın sebebi kompresöre giren havanın özgül hacminin artmasıdır. Bu durumda artan sıcaklık ile gaz türbini çevrimine giren havanın kütleli debisi dolayısıyla türbinden alınabilecek güç miktarı azalmaktadır. Ayrıca, kompresör kısmında sıkıştırma işi için gereken güç de artmaktadır. Dolayısıyla gaz türbini çevriminden üretilen net elektrik gücü azalmaktadır. Havanın kütleli debisindeki azalma egzoz gazlarının da kütleli debisinde bir azalmaya neden olmakta ve bunun sonucu olarak buhar kazanına daha az güç verildiğinden buhar türbininden de alınan net güç azalmaktadır.

**Tablo 1.**  
**0°C, 15°C ve 42°C atmosfer sıcaklığı için bir blokta hesaplanan birim zamandaki tersinmezlik, faydalı güç ve tersinir güç.**

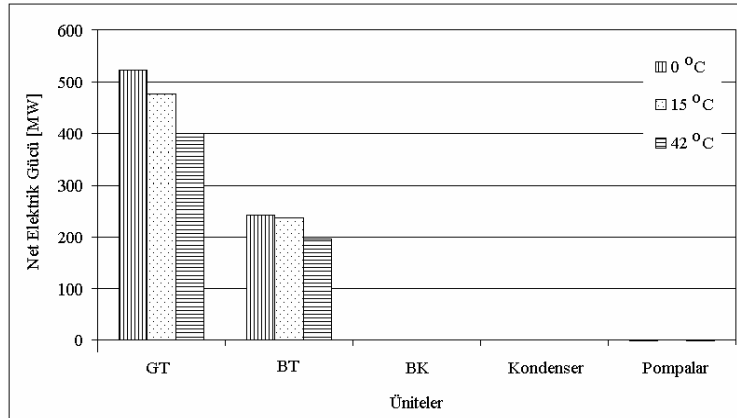
Ünite	$\dot{W}_t$ [MW]			$\dot{W}_u$ [MW]			$\dot{W}_{tr}$ [MW]		
	0 °C	15 °C	42 °C	0 °C	15 °C	42 °C	0 °C	15 °C	42 °C
Gaz Türbini Çevrimi	102.1	85.8	83.2	523.0	478.0	400.4	625.1	563.8	483.6
Buhar Türbini	191.7	157.0	129.7	243.4	237.5	196.8	435.1	394.5	326.4
Buhar Kazanı	334.6	354.2	384.5				334.6	354.2	384.5
Kondenser	32.1	31.1	27.4				32.1	31.1	27.4
Pompalar	0.8	0.7	0.8	-0.6	-0.7	-0.7	-1.4	-1.4	-1.5
Genel Top.	661.3	628.8	625.6	765.8	716.2	596.5	1425.5	1342.2	1220.6



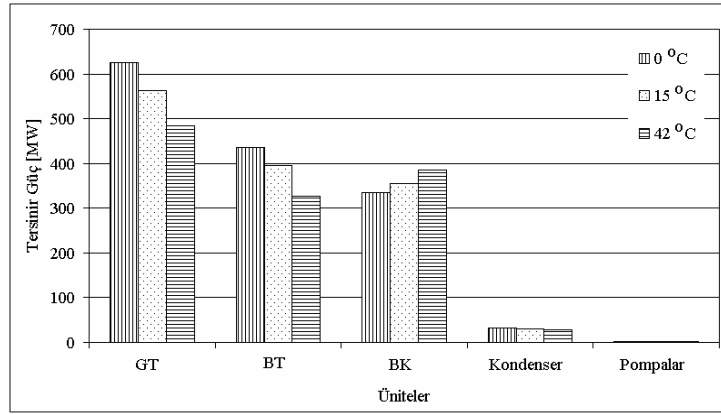
**Şekil 3.**  
**Santralin şematik gösterimi**

Şekil 4'de üç farklı atmosfer sıcaklığı için, üretilen net elektriksel gücün dağılımı ünitelere göre verilmiştir. Sistemdeki iki ünite elektrik gücü üretebilmektedir. Bunlar gaz türbin jeneratör grubu ve buhar türbin jeneratör grubu üniteleridir. Diğer ünitelerde ise sırasıyla, buhar kazanında ısı transferi, kondenserde ısı ve kütle transferi, pompalarda ise güç tüketerek basınçlandırma işlemleri gerçekleşmektedir. Ancak

pompalarda sıkıştırma işlemi için birim zamanda harcanan güç çok küçük olduğundan ihmal edilebilir seviyededir. Şekil 4'e göre bir blokta en fazla elektrik gücü, gaz türbini çevrimlerinde üretilmektedir. Bir blok, bir buhar türbin jeneratör grubu ve iki gaz türbini jeneratör grubundan oluşmaktadır. Bu yüzden, sistemi bir bütün olarak analiz edebilmek için gaz türbini çevrimine ait hesaplamalarda iki gaz türbin jeneratör grubunun toplamı kullanılmıştır.

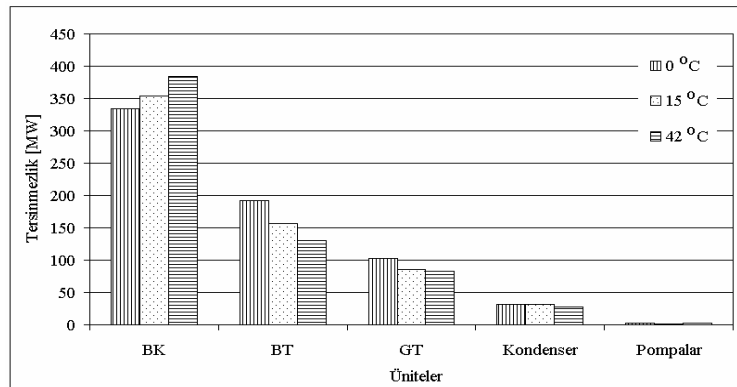


Şekil 4.  
Ünitelere göre üretilen net elektriksel gücün dağılımı



Şekil 5.  
Ünitelere göre tersinir gücün dağılımı

Şekil 5'te üç farklı atmosfer sıcaklığında Denklem (7), (11) ve (14) yardımıyla hesaplanan tersinir gücün ünitelere göre dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi tersinir gücün en yüksek olduğu ünite gaz türbini ünitesidir. Daha sonra sırasıyla buhar türbini, kondenser ve pompalar gelmektedir. Diğer yandan buhar kazanı haricinde bütün ünitelerde tersinir güç azalmaktadır. Ancak buhar kazanı ünitesinde özel bir durum söz konusudur. Bu üniteye atmosfer sıcaklığının artmasıyla tersinir güç artmaktadır. Ayrıca 0 ve 15 °C'lerde buhar kazanı için hesaplanan tersinir güç buhar türbini için hesaplanan tersinir güçten azken 42 °C'de daha fazla olmaktadır.



Şekil 6.  
Ünitelere göre meydana gelen tersinmezliğin dağılımı



Şekil 6’da Denklem (8), (10), (13) ve (14) yardımıyla hesaplanan tersinmezliğin dağılımı verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bir blokta meydana gelen tersinmezliklerin en çok olduğu ünite buhar kazanı ünitesidir. Buhar kazanından sonra buhar türbini gaz türbini kondenser ve pompalar gelmektedir. Buhar kazanında meydana gelen tersinmezliğin, kendisine en yakın olan, buhar türbini ünitesinde meydana gelen tersinmezliğin yaklaşık iki katı kadardır. Buhar kazanında iş üretimi olmadığından meydana gelen tersinmezliğin aynı zamanda tersinir işe eşittir. Tersinir iş de ünitenin giriş ve çıkış noktalarındaki ekserji akış miktarları arasındaki farktan hesaplanır. Dolayısıyla, bu üniteye meydana gelen tersinmezliklerin fazla olmasının sebebi, gaz tarafında yanma ürünü gazların buhar kazanının giriş ve çıkış noktalarındaki ekserji akış miktarları arasındaki farkın, buhar tarafı giriş ve çıkış noktalarındaki ekserji akış miktarları arasındaki farktan tersinmezlik miktarı kadar fazla olmasıdır. Bu noktada yanma ürünü gazlarının bacayı terk etme sıcaklıklarının, yoğuşma olmaması için, 100 °C’nin altına inmemesi gerektiği göz önüne alınmalıdır. Yani atmosfer sıcaklığı ile 100 °C arasındaki sıcaklıklarda bu üniteye akışın kullanılabilir enerjisi aslında ünitenin yapısı gereği kullanılmamaktadır. Bu durumda üniteye tersinir gücün, dolayısıyla tersinmezliğin miktarı fazla olmaktadır.

Tablo 2’de üç farklı atmosfer sıcaklığında bir blok için denklem (15) ve (16) yardımıyla hesaplanan verimler ve denklem (17) ile hesaplanan özgül yakıt sarfiyatı (ÖYS) verilmiştir. Santral için ele alınan sıcaklık değerleri içinde en yüksek verim değerleri 0 °C atmosfer sıcaklığında hesaplanmıştır, bu sıcaklık değerinde birinci kanun verimi % 56 ikinci kanun verimi ise % 54 olarak bulunmuştur. Ayrıca atmosfer sıcaklığının 42 °C artmasıyla birinci kanun veriminin %4 ikinci kanun veriminin ise % 3 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalmanın sebebi buhar kazanı hariç bütün ünitelerde tersinmezliğin atmosfer sıcaklığının artması ile azalmasıdır. Böylece hesaplanan toplam faydalı güç ile tersinir iş arasındaki fark azalmakta, dolayısıyla ikinci kanun verimi azalmaktadır. Santralde özgül yakıt sarfiyatının ise artan sıcaklık ile arttığı görülmektedir. Atmosfer sıcaklığında 42 °C artış özgül yakıt sarfiyatını yaklaşık olarak %9 arttırmıştır.

**Tablo 2.**  
**Üç farklı atmosfer sıcaklığında santralin tümü için hesaplanan verimler ve özgül yakıt sarfiyatı**

	Çevre Sıcaklığı		
	0 °C	15 °C	42 °C
$\eta_1$	56	56	52
$\eta_2$	54	53	49
ÖYS (kg/kWh)	0.222	0.227	0.241

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Bursa/Ovaakça bölgesinde bulunan doğal gaz kombine çevrim santralının termodinamik analizi gerçekleştirilmiş ve faydalı güç, tersinir güç ve tersinmezlikler gibi büyüklüklerin ünitelere göre değişimleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar, santralde bulunan ikiz bloklardan bir tanesi için, santralin dizayn değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular grafikler halinde sunulmaktadır.

Atmosfer sıcaklığının artmasıyla, sistemi oluşturan her bir ünitenin giriş ve çıkış noktalarında enerji ve ekserji akış miktarları azalmaktadır. Buna bağlı olarak tersinir güç, faydalı güç ve tersinmezlikler de azalmaktadır. Bir blokta en yüksek tersinmezlik buhar kazanında meydana gelmekte ve bunu sırasıyla buhar türbini, gaz türbini çevrimi ve kondenser takip etmektedir.

Çevre sıcaklığının artmasıyla gaz türbini çevrimine giren havanın kütleli debisi azalmakta ve bu santral elemanlarının tümünü etkileyerek elde edilen net gücün düşmesine neden olmaktadır. Ele alınan bütün durumlarda birinci ve ikinci kanun verimleri orantılıdır. Sistemin bütününe ısıl verimi ve ikinci kanun verimi atmosfer sıcaklığının artmasıyla azalmaktadır. Atmosfer sıcaklığının 42 °C artması ile birinci kanun veriminin %4 ikinci kanun veriminin ise % 3 oranında azaldığı hesaplanmıştır. Çevre sıcaklığındaki 42 °C’lik artışla santralin genel tersinmezliğinin 0 °C’deki değerlerine göre %5, faydalı gücün %22 ve tersinir gücün %14 civarında azaldığı görülmektedir. Bu değişimle bağlantılı olarak özgül yakıt sarfiyatı 42 °C sıcaklık artışında yaklaşık olarak %9 arttırmıştır.

Sonuç olarak çevre sıcaklığının artışıyla oluşan performans düşümüne karşı gerekli tedbirler alınarak yada yeni teknolojiler geliştirilerek kombine çevrim santralleri iyileştirilebilir. Bu konuda, buhar püs-

kürtmeli gaz türbini çevrimleri, tri-jenerasyon sistemleri yada ilave yanmalı sistemler örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca santralin dizaynında çevre havası sıcaklık değeri olarak daha yüksek sıcaklıkların seçilmesinin getireceği yararlar da araştırılmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

1. BHARGAVA,R., M.BIANCHI., A.PERETTO. and P.R.SPINA. 2002. A fisibility study of existing gas turbines for recuperated intercooled and reheat cycle. ASME TURBO EXPO 2002, Amsterdam, June 3-6 2002.
2. BHARGAVA,R. and C.B.MEHER-HOMJI. 2002. Parametric analysis of existing gas turbine with inlet evaporative and over spray fogging. ASME TURBO EXPO 2002, Amsterdam, June 3-6 2002.
3. ÇENGEL,Y. and M.A.BOLES, 2002. Thermodynamics An Engineering Approach. Mc Graw Hill, 4<sup>th</sup> Edition, Boston. 930 s.
4. EL-WAKIL,M.M. 1984. Power plant Technology. Mc Graw Hill, International Edition, New York.861 p.
5. ERDEM,H.H., S.H.SEVİLGEN., A.V.AKKAYA. ve A.DAĞDAŞ. 2003 Gaz türbinli sistemlerde çevre sıcaklığının performansa etkisi. 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi. Isparta, ULIBTK'03, 3-5 Eylül 2003.
6. FISCHI,D. and G.MANFRIDA. 1998. Exergy analysis of semi-closed gas turbine combined cycle (SCGT/CC). Energy Conv. and Management, Vol.39,No.16-18, pp1643-1652.
7. KIM,T.S., H.J.PARK. and S.T.RO 2001. Characteristic of trasient operation of a dual-pressure bottoming system for combined cycle power plant. Energy, 26: 905-918.
8. KOTAS,T.J. 1995. The exergy method of thermal plant analysis. Krieger. Malabar, Florida.328p.
9. NIXDORF,M., A.PRELIPCEANU and D.HEIN. 2002. Thermo economic analysis of inlet air conditionig methods. ASME TURBO EXPO 2002, Amsterdam, June 3-6 2002.
10. ROSEN,M.A. and I.DINCER. 1996. Energy and Eksergy analysis of sectoral energy utilisation an application for Turkey. The Fist Trabzon International Energy and Environment Symposium, KTU Trabzon, 29-31 July 1996.
11. ÜNVER.Ü., 2004. Doğalgaz çevrim santralinin meteorolojik şartlara bağlı olarak termodinamik analizi. Doktora Tezi. Bursa.165s.