

Birleşik Isı -Güç Sistemlerinde Proses Sıcaklığı Değişiminin Elektrik ve Isı Üretimi Üzerine Etkileri

Ayhan ONAT

KSÜ, K.ahramanmaraş MYO
İklimlendirme-Soğutma Programı
Kahramanmaraş

Muharrem İMAL

KSÜ, Kahramanmaraş MYO
Makina Programı
Kahramanmaraş

ÖZET

Bu çalışmada, birleşik ısı-güç sistemlerinde proses sıcaklığı değişiminin elektrik ve ısı üretimi üzerine etkileri incelenerek ara buhar almalı ısı-güç sistemleri ile karşı basınçlı ısı-güç sistemleri elektrik ve ısı üretimi açısından karşılaştırılmıştır. Visual Fortran programlama dilinde yazılan program ile proses sıcaklıkları 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C ve 180°C ve türbin giriş şartları 3 MPa, 250°C; 6 MPa, 350°C; 9 MPa, 450°C ve 12 MPa, 550°C değerleri için iki farklı sistem karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Birleşik ısı-güç sistemleri, Ara buhar almalı çevrim, Karşı basınçlı çevrim, Proses sıcaklığı

The Effect of Varying Process Temperature on Electric and Heat Outputs in Cogeneration Steam Cycles

ABSTRACT

In this study, the effect of varying process temperature on electric and heat output in cogeneration steam cycles was examined. The extraction-condensing steam cycle and back pressure steam cycle were compared in terms of electric and heat outputs. A program was written in Visual Fortran considering the process temperatures as 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C and 180°C; and the turbine inlet conditions as 3 MPa, 250°C; 6 MPa, 350°C; 9 MPa, 450°C; and 12 MPa, 550°C. Results for two different systems were compared and interpreted.

Key Words : Cogeneration, Extraction-condensing steam cycle, Back pressure steam cycle, Process temperature.

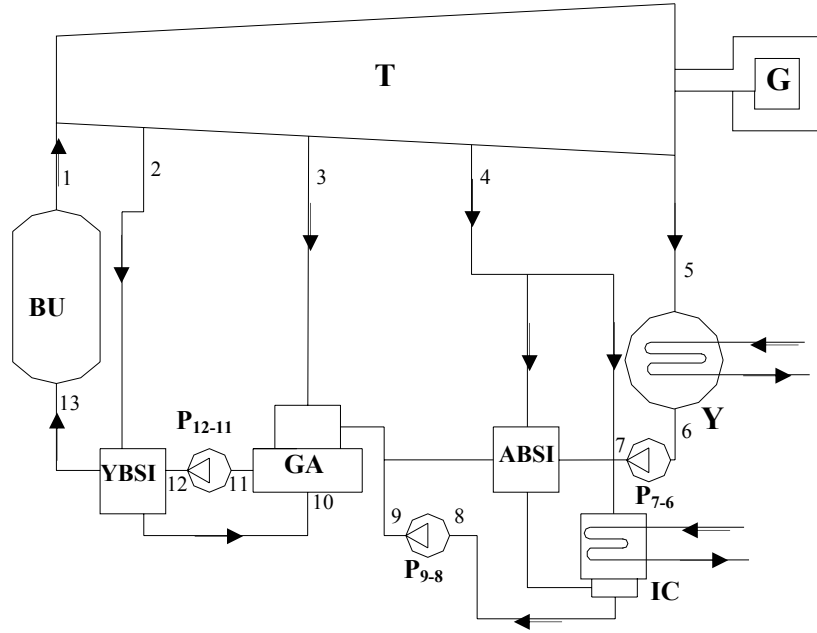
GİRİŞ

Dünyada bugün kullanılan enerjinin hemen hemen tamamı fosil kaynaklardan elde edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklardan elde edilen enerji henüz yetersizdir. Araştırmalar fosil esaslı enerji kaynaklarının yerlerini yenilenebilir ve nükleer enerji kaynaklarına bırakacağını göstermiştir. Bu enerji kaynaklarının bir gün tükeneceğinin bilinmesi mevcut kaynakların daha verimli kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi konularındaki çalışmalarını artırmıştır. Enerji ekonomisinin ve enerjinin kullanımındaki verimliliğinin önemi böylece daha iyi anlaşılmaktadır (Dilip, 1984). Klasik güç santrallerinde fosil esaslı yakıt enerjisinin üçte biri elektrik enerjisine dönüştürülebilir, üçte ikisi ise soğutma suyu olarak çevreye atılır (Horlock, 1987).

Bölgesel ısıtmada amaç ısıtma sistemleri ve boru hatlarıyla ısıtılacak mekanların ısı gereksinimini ve sıcaklığı 80-180°C arasında değişen sıcak su ihtiyacını karşılamaktır. Endüstride kullanım amacı ise proses ısısına gereksinim duyan fabrikaların ısı ve güç ihtiyaçlarını bir buhar türbininin çıkışından veya çürük buhardan yararlanarak karşılamaktan ibarettir. Birleşik ısı-güç tesislerinde elde edilen enerji tasarrufu büyük boyutludur. Basit bir termodinamik çalışması bile enerji tasarrufunun daha doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlar (Philips, 1979).

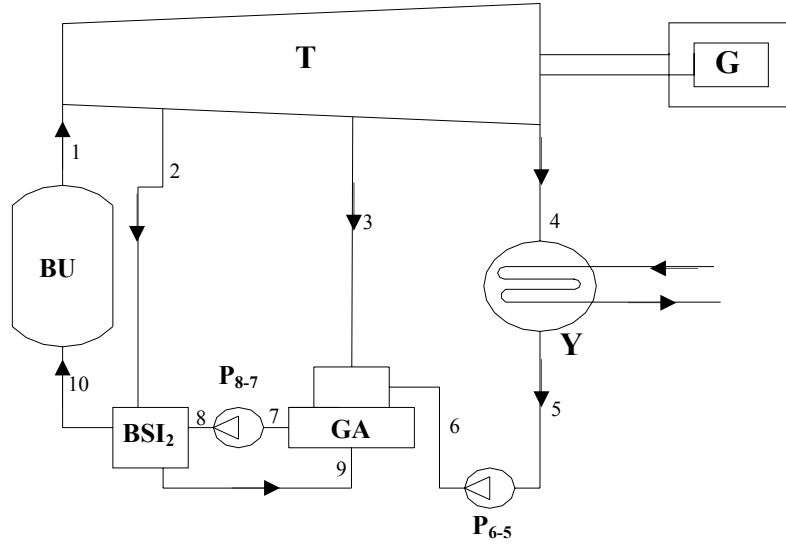
MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada şekil 1 ve şekil 2’de gösterilen ara buhar almalı ısı-güç sistemleri ile karşı basınçlı ısı-güç sistemleri karşılaştırılacaktır.



Şekil 1. Ara buhar almalı birleşik ısı ve güç santrali.

Ara buhar almalı çevrimde, buhar yoğunlaştırıcı basıncına kadar genişletilir ve proses sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncında bir ara buhar alma işlemi gerçekleştirilir. Karşı basınçlı çevrimde ise buhar sadece proses sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncına genişletilir. Ara buhar almalı türbinlerde kısmi ısı yüklerinde bile elektrik üretiminin artırılabilmesi bu çevrimin en önemli üstünlüğünü oluşturur. Diğer taraftan karşı basınçlı türbinler, basit bir yük kontrol mekanizmasına sahip olmanın yanında, ilk yatırım harcamalarının düşük olması gibi bir üstünlüğe de sahiptirler. Bu çevrimlerin her ikisi de yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Dvorak, 1985; Malhauser, 1987; Olikar, 1989).



Şekil 2. Karşı basınçlı birleşik ısı ve güç santrali.

Termodinamiğin I. Yasasının Sisteme Uygulanması

Uygulamada karşılaşılan açık sistemlerin çoğunda sistemin özellikleri zamandan bağımsızdır. Sistemin sınırları sabittir ve sistemin içerisinde alınan bütün noktalarda akışkanın sahip olacağı özellikler sadece konuma bağlı olup zamandan bağımsızdır. Ayrıca sürekli rejimde çalışan böyle bir sistemin sınırlarından birim zamanda geçen ısı, iş ve kütle miktarları sabittir. Sürekli akışlı, sürekli açık (SASA) sistemler için enerji denklemi (Çengel ve Boles, 1996),

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \dot{m}_g - \sum \left(h_\xi + \frac{V_\xi^2}{2} + gz_\xi \right) \dot{m}_\xi = 0 \quad (1)$$

ile verilir. Burada \dot{m} sistemden birim zamanda geçen akışkanın kütlesidir. \dot{Q} ve \dot{W} ise birim zamanda sistemle çevre arasında alınıp verilen ısı ve iş miktarlarını göstermektedir. Uygulamada en çok kullanılan temel denklemlerden biridir. Buhar türbinlerinde sistemin içinden sürekli geçen akışkan bir gazdır. Bu gibi hallerde giriş ve çıkış kesitleri arasında potansiyel enerjide meydana gelen değişme ihmal edilebilir. Türbinlerde giriş ve çıkış kesitlerinin alanları, giriş ve çıkış hızları birbirine yakın olacak şekilde seçilir. Bu nedenle kinetik enerjide meydana gelen değişme ihmal edilebilir. Diğer taraftan türbin içerisinde büyük bir hızla akmakta olan akışkanın giriş ve çıkış kesitleri arasında birim kütle başına kazandığı veya kaybettiği ısı miktarı da çok düşüktür ve ihmal edilmiştir. Böylece 1 nolu eşitlik,

$$\dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad \text{veya} \quad \dot{w} = (h_1 - h_2) \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir.

Yukarıdaki 2 nolu eşitlikte verilen süreklilik denklemi kullanılarak Şekil 1 ve şekil 2' deki hal değişim noktalarından birim zamanda geçen kütle miktarları hesaplanmıştır.

Ara buhar almalı birleşik ısı- güç çevrimi için

Süreklilik denklemine göre türbinden geçen kütleli debi;

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5 \quad (3)$$

Net türbin işi;

$$\begin{aligned} W_t = & \dot{m}_1(h_1 - h_2) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) \cdot (h_2 - h_3) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3) \cdot (h_3 - h_4) \\ & + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4) \cdot (h_4 - h_5) \end{aligned}$$

Toplam pompa işi;

$$\dot{W}_p = \dot{m}_5(h_7 - h_6) + \dot{m}_4(h_9 - h_8) + \dot{m}_1(h_{12} - h_{11}) \quad (5)$$

Buhar üreticinin ısı yükü;

$$\dot{Q}_{bu} = \dot{m}_1 (h_1 - h_{13}) \quad (6)$$

Yoğuşturucu ısı yükü;

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_5 (h_5 - h_6) \quad (7)$$

Karşı basınçlı birleşik ısı-güç çevrimi için

Süreklilik denklemine göre türbinden geçen kütleli debi;

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 \quad (8)$$

Net türbin işi;

$$\dot{W}_t = \dot{m}_1 (h_1 - h_2) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) \cdot (h_2 - h_3) + \dot{m}_4 (h_3 - h_4) \quad (9)$$

Toplam pompa işi;

$$\dot{W}_p = \dot{m}_4 (h_6 - h_5) + (\dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4) (h_8 - h_7) \quad (10)$$

Buhar üreticinin ısı yükü;

$$\dot{Q}_{bu} = \dot{m}_1 (h_1 - h_{10}) \quad (11)$$

Yoğuşturucu ısı yükü;

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_4 (h_5 - h_4) \quad (12)$$

Sonuçlarda elde edilen grafikler aşağıdaki eşitlikler kullanılarak çizilmiştir.

Jeneratörden elde edilen elektrik yükü ;

$$W = (W_t - W_p) \cdot \eta_g \quad (13)$$

Elektrik ısı oranı;

$$WQ_o = \frac{W}{Q_y} \quad (14)$$

Isı giriş çıkış oranı;

$$QGC_o = \frac{Q_{bu}}{Q_y} \quad (15)$$

Çevrimler Üzerinde Yapılan Kabuller

- Yoğuşturucu basıncı 10 kPa olarak sabittir.
- Türbinden besi suyu ısıtıcısına, ısı değiştiricisine ve yoğuşturucuya yapılan ara buhar alma işlemi esnasında ara buhar alma basıncının %5'ine eşit miktarda basınç kaybı meydana gelmektedir.
- Buhar kazanındaki basınç kaybı, türbin giriş basıncının %25'i oranında olacaktır.
- Besleme suyunda meydana gelecek entalpi artışı teorik ortalama değerini %70'i olarak kabul edilmiştir(1).

$$\text{Bu değer, } \Delta h_{opt} = \frac{n}{n+1} (h_{sb} - h_s)$$

ifadesiyle verilir. Bu ifade de;

n : Besleme suyu ısıtıcılarının adedini,

h_{sb} : Doymuş sıvı entalpisini,

h_s : Yoğuşturucudan çıkan doymuş sıvı entalpisini ifade etmektedir.

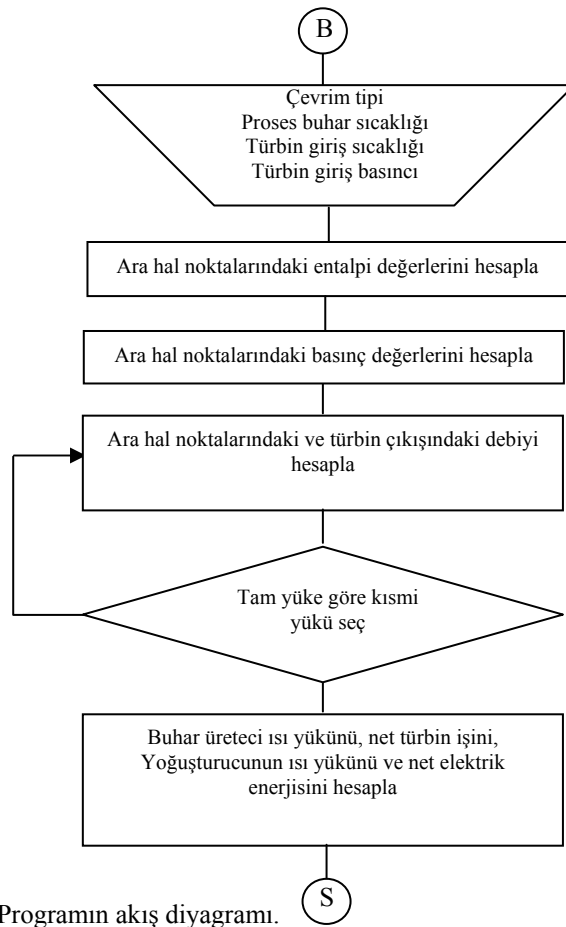
- Gaz alıcı ve yüksek basınçlı besleme suyu ısıtıcısının sonlu sıcaklık farkı 0°C olarak kabul edilmiştir. Düşük basınçlı besleme suyu ısıtıcısı ve yoğuşturucu için bu değer 5°C olarak kabul edilmiştir.
- Termodinamik analizde her iki çevrim için türbin giriş değerleri $P = 12$ MPa ve $T = 535$ °C esas alınmıştır. Entalpi birimi olarak h (kJ/kg) ve entropi birimi olarak s (kJ/kgK) kabul edilmiştir.
- Türbin verimi $\eta_L = 0,8$, pompaların verimi $\eta_p = 0,7$, jeneratör verimi $\eta_g = 0,95$

Yazılım Programının Tanıtılması

Visual Fortran dilinde yazılan bu program üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar, ara buhar almalı çevrimin incelendiği bölüm, karşı basınçlı çevrimin incelendiği bölüm ve çevrimde kullanılan akışkanlara ait özelliklerin hesaplanmasını sağlayan alt programlardır. İlk bölümde kullanıcıya bilgi veren menu kısmı bulunmaktadır. Daha sonra hesaplanması istenen özelliklerin numarasına göre program çalıştırılmaktadır. İlk giriş değerlerini akışkanın türbine giriş sıcaklığı ve giriş basıncı oluşturmaktadır. Programda çevrimi meydana getiren her bir açık sistemin giriş ve çıkış özelliklerine ait entalpi, entropi, özgül hacim, basınç ve sıcaklık değerleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar yapılırken başlangıçta varsayımı yapılan kabullerden yararlanılmaktadır. Her iki çevrimden de elde edilebilecek elektrik değeri (W), ısı değeri (Q) elektrik ısı oranı (W/Q_o) ve çevrime giren ısının çıkan ısıya oranı (QGC_o) yükten bağımsız ve yüke bağlı olarak hesaplanmaktadır. Ara buhar almalı çevrim için yükün değişim aralığı % $[0...100]$, karşı basınçlı çevrim için yükün değişim aralığı % $[37,5...100]$ alınmıştır. Yükün değişimiyle birlikte çevrimlerin her bir noktasından geçen akışkan debisi de hesaplanmaktadır.

Bilgisayar programı, her iki çevrim için 3 Mpa, 250°C 6 Mpa, 350°C 9 Mpa, 450°C 12 Mpa, 550°C değerlerine sahip türbin koşullarında çalıştırılmıştır. Her bir türbin giriş değeri için proses sıcaklıkları 80-180°C arasında değişmektedir Şekil 3'de programın akış diyagramı gösterilmektedir.

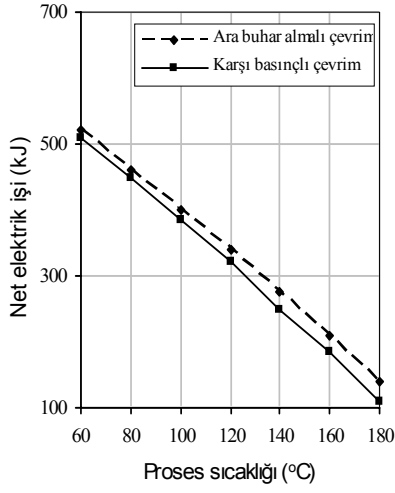
Bütün hesaplarda termodinamik özelliklere ait sabit değerler ASME'nin yayımlanmış olduğu buhar tablolarından da alınmıştır.



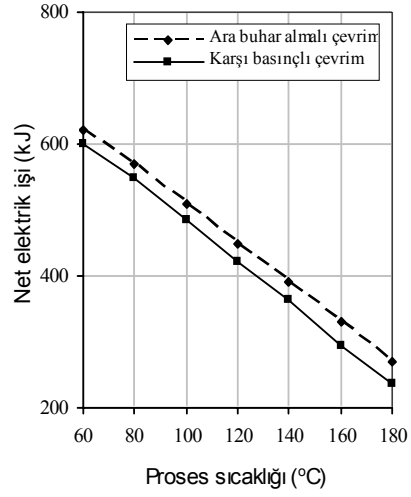
Şekil 3. Programın akış diyagramı.

BULGULAR VE TARTIŞMA

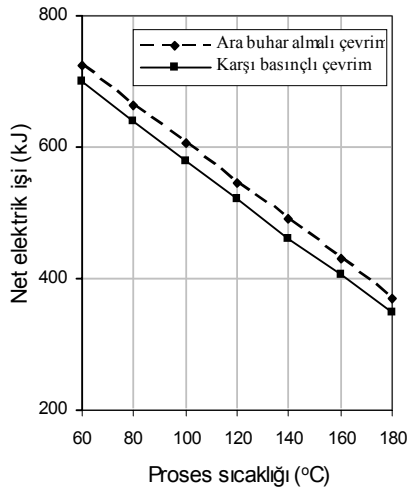
Bilgisayar programı kullanılarak yapılan simülasyonda hem ara buhar almalı hem de karşı basınçlı çevrim için elde edilen grafikler şekil 4-19'da gösterilmiştir. Her iki buharlı çevrim için seçilen türbin giriş koşulları 3 MPa, 250°C; 6 MPa, 350°C; 9 MPa, 450°C ve 12 MPa, 550°C olarak, işletmenin ihtiyaç duyduğu proses sıcaklığı ise 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C ve 180°C aralığındaki değerler için çalışma yapılmıştır.



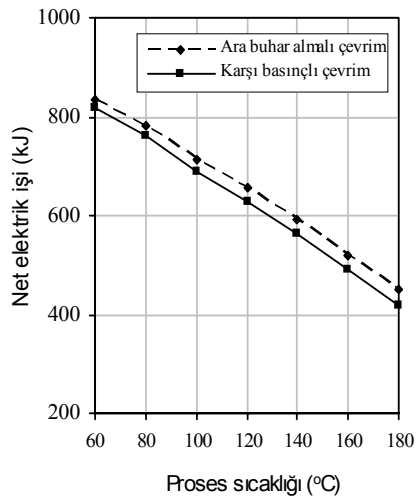
Şekil 4. Giriş koşulları 3 MPa, 250°C için net elektrik üretimin proses sıcaklığı ile değişimi.



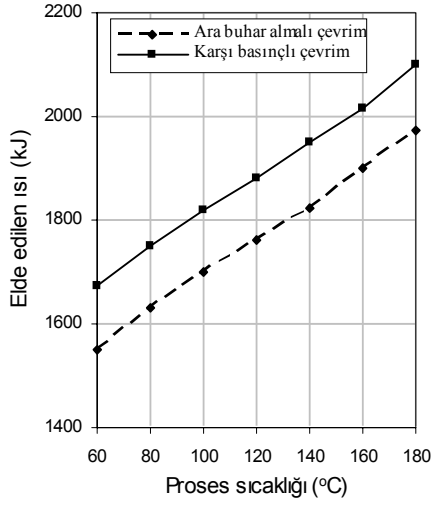
Şekil 5. Giriş koşulları 6 MPa, 350°C için net elektrik üretimin proses sıcaklığı ile değişimi.



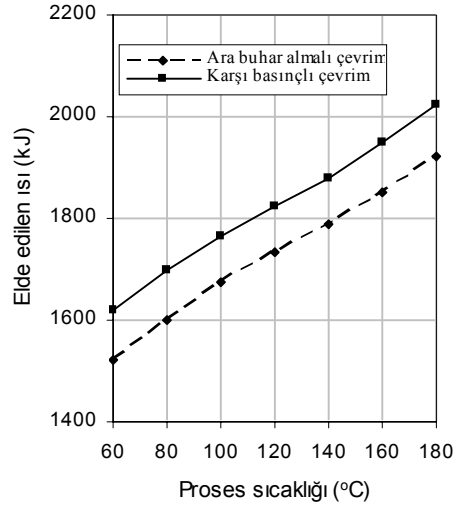
Şekil 6. Giriş koşulları 9 MPa, 450°C için net elektrik üretimin proses sıcaklığı ile değişimi.



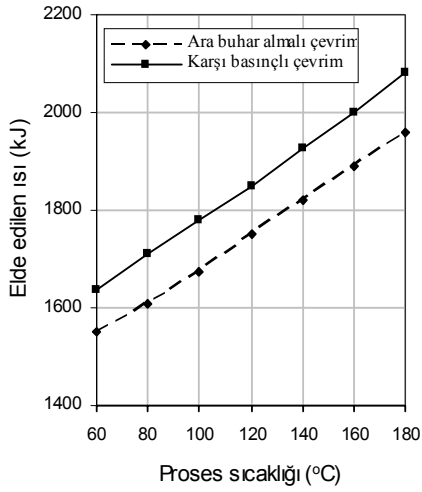
Şekil 7. Giriş koşulları 12 MPa, 550°C için net elektrik üretimin proses sıcaklığı ile değişimi.



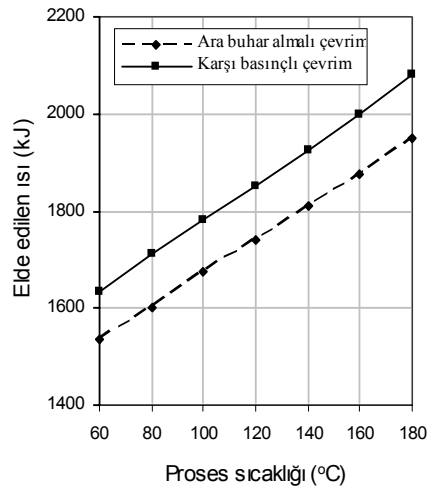
Şekil 8. Giriş koşulları 3 MPa, 250°C için ısı üretiminin proses sıcaklığı ile değişimi.



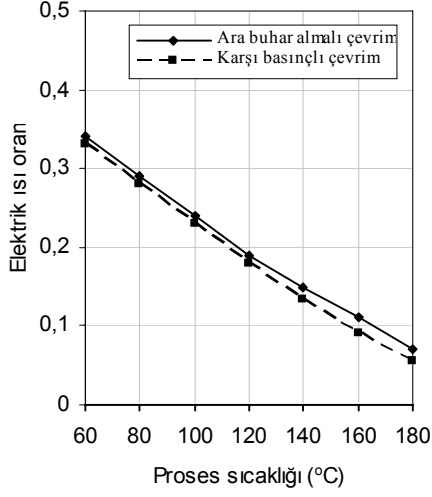
Şekil 9. Giriş koşulları 6 MPa, 350°C için ısı üretiminin proses sıcaklığı ile değişimi.



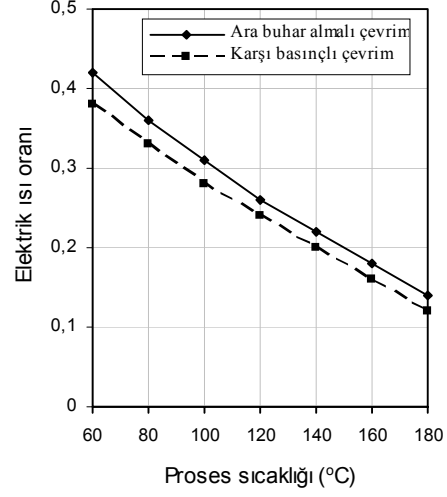
Şekil 10. Giriş koşulları 9 MPa, 450°C için ısı üretiminin proses sıcaklığı ile değişimi.



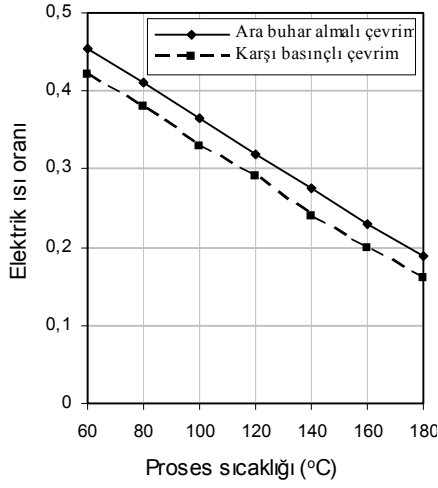
Şekil 11. Giriş koşulları 12 MPa, 550°C için ısı üretiminin proses sıcaklığı ile değişimi.



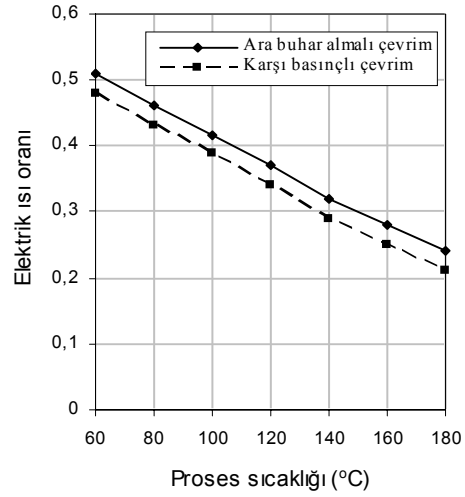
Şekil 12. Giriş koşulları 3 MPa, 250°C için elektrik ısı oranının proses sıcaklığı ile değişimi.



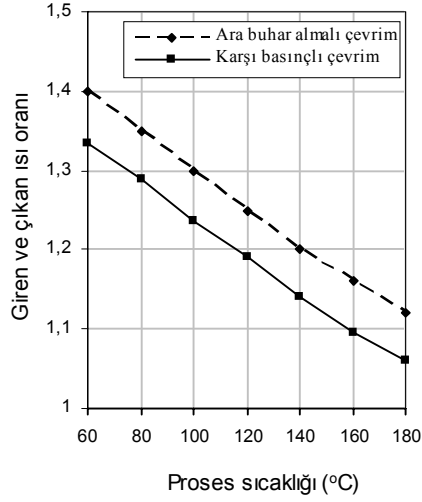
Şekil 13. Giriş koşulları 6 MPa, 350°C için elektrik ısı oranının proses sıcaklığı ile değişimi.



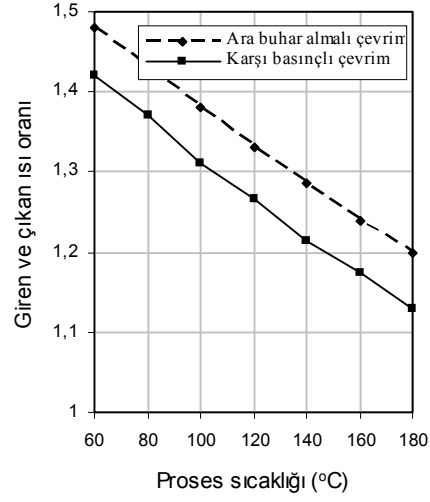
Şekil 14. Giriş koşulları 9 MPa, 450°C için elektrik ısı oranının proses sıcaklığı ile değişimi.



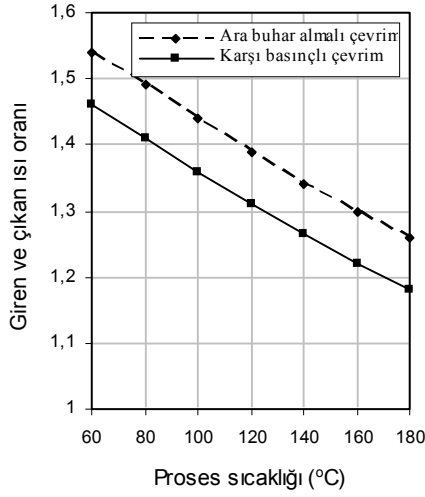
Şekil 15. Giriş koşulları 12 MPa, 550°C için elektrik ısı oranının proses sıcaklığı ile değişimi.



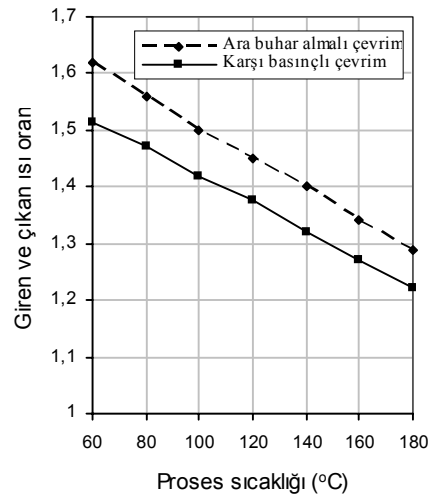
Şekil 16. Giriş koşulları 3 MPa, 250°C için ısı giriş çıkış oranının proses sıcaklığı ile değişimi.



Şekil 17. Giriş koşulları 6 MPa, 350°C için ısı giriş çıkış oranının proses sıcaklığı ile değişimi.



Şekil 18. Giriş koşulları 9 MPa, 450°C için ısı giriş çıkış oranının proses sıcaklığı ile değişimi.



Şekil 19. Giriş koşulları 12 MPa, 550°C için elektrik ısı oranının proses sıcaklığı ile değişimi.

SONUÇLAR

Çevrimdeki elektrik ve ısı miktarı türbine giren birim buhar kütesine göre hesaplanmaktadır. Şekil 4-11'de artan işletme proses sıcaklığı ile elektrik üretimi azalmakta, elde edilen ısı artmaktadır. Her iki buharlı çevrimde de verilen türbin giriş koşulları için aynı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 12-15'de 60-180°C aralığında işletme proses sıcaklığı arttıkça elektrik-ısı oranı (WQ_0) azalmaktadır. Şekil 16-19'da proses sıcaklığının artması ısı-giriş çıkış oranının (QGC_0) azalmasına neden olmaktadır. Ara buhar almalı çevrimde üretilen elektrik prosese verilen ısı miktarından az etkilenmesine rağmen yinede azalmaktadır. Bu çevrimde en yüksek verim için elektrik ve ısı üretimini dengeleyecek bir çalışma pozisyonu seçilmelidir. Karşı basınçlı çevrimde türbin giriş basıncı ve sıcaklığı arttıkça prosese verilen ısı miktarında artmaktadır. İşletmenin ihtiyacını karşılarken dengeli bir ısı ve elektrik üretimi için yüksek proses sıcaklıkları seçilmelidir. Proses sıcaklığı düşük olursa yüksek elektrik üretimi elde edilecek, düşük proses sıcaklığı nedeniyle prosese verilen ısı sadece ısıtma, sıcak su elde etme işlemlerinde kullanılacaktır. Proses sıcaklığı yüksek tutulduğunda düşük elektrik üretimi elde edilecek, yüksek proses sıcaklığı nedeniyle prosese verilen ısı; boyahane işletmesi, terbiye işletmesi gibi kızgın buhar ve kızgın su gereksinimi duyan tesislerde kullanılacaktır. Her iki buharlı çevrimde ısı verim çevrimden elde edilen net işin çevrime giren ısı miktarına oranıdır. Isıl verimin değeri, türbin giriş koşullarına ve prosesin ısı ihtiyacına göre %20 ile %37 arasında değişmektedir. Ara buhar almalı çevrimde ısı verim karşı basınçlı çevrime göre %7 daha fazladır. Bu durum son noktada çevrimden yoğunlaştırucuya alınan buhardan çekilen ısı miktarından kaynaklanmaktadır.

Semboller

\dot{m} =Kütlesel debi (kg/s)

h =Entalpi (kJ/kg)

\dot{W}_t =Net türbin işi (kW)

\dot{W}_p =Net pompa işi (kW)

\dot{Q}_{bu} =Buhar üretici ısı yükü (kW)

\dot{Q}_y =Yoğuşturucu ısı yükü (kW)

WQ_0 =Elektrik ısı oranı

QGC_0 =Isı giriş çıkış oranı

KAYNAKLAR

- Çengel, A.Y., Boles, A.M., 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, McGraw Hill-Literatür, İstanbul, Türkiye.
- Dilip, R.L., 1984. Planning Cogeneration Systems, Fairmont Pres, Atalanta, USA.
- Dvorak, A., 1985. The District Heating Power Plant at Randers, Brown Boveri Review, Vol. 67, No.11, pp. 672-676.
- Horlock, J.P., 1987. Cogeneration: Combined Heat and Power, Thermodynamics and Economics, Pergamon Press, Oxford.
- Malhauser, H., 1987. Steam Turbines in Conventional Combined District Heating and Power Stations, Brown Boveri, Review, Vol.64, No.9, pp. 552-564.
- Olikar, I., 1989. Steam Turbines for Cogeneration Plants, Trans. ASME, Journal of Engineering for Power, Vol.102, pp.482-485.
- Philips, W.C. 1979. Thermodynamics Properties in SI Graphs Tables Computational Equations for Substances, Stanford University.