

Nevşehir Kapadokya Havalimanı'nın Trijenerasyon Sisteminin Tasarımı

Battal DOĞAN
Fatih TÜRKÖĞLU

ÖZET

Ülkemizde son yıllarda havacılık sektörü gelişmektedir. Havaalanları özellikli binalardan oluşmaktadır. Bu binalarda kullanılan enerjinin verimliliği hem ekonomi hem de çevre açısından önem arz etmektedir. Trijenerasyon tek bir enerji kaynağı kullanılarak elektrik, ısı ve soğuk üretiminin eş zamanlı yapılmasıdır. Trijenerasyon sistemlerinde elektrik üretimi için yapılan sistemin yan çıktısı olan ısı enerjisi değerlendirilmektedir. Sonuçta kayıplar büyük oranda azaldığından, yakıt tüketimi önemli oranda azalır ve enerji verimliliği sağlanır. Bu çalışmada Nevşehir Kapadokya Havalimanı'nda enerjiyi daha verimli kullanmak için bir trijenerasyon sistemi tasarımı yapılmış ve sistemin fizibilitesi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Havaalanı, Trijenerasyon

1. GİRİŞ

Nevşehir Kapadokya Havalimanı, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü tarafından işletilen havalimanlarından birisidir. Hâli hazırda her türlü sivil – askeri trafiğe, uluslararası standartlarda hizmet verecek alt yapı, üst yapı tesisleri ile teknik donanım ve teçhizata sahip olup, Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı'nın (ICAO) yaptığı sınıflandırma kriterlerine göre kategori I (CAT – I) niteliklerinde 24 saat esasına göre hizmet vermektedir.

1.500 m² iç hatlar terminali, 2.000 m² dış hatlar terminali, 3.000x45 m boyutlarında beton kaplama pisti, 240x120 m ebadında 5 uçak (büyük gövdeli) kapasiteli apronu, 238x24 m boyutların da taksi yolu, Arama Kurtarma Yangın Binası, ısı merkezi, güç merkezi, tamir – bakım atölyesi mevcut olup, toplam 2.495.500 m² alan üzerine kurulmuştur. Bunun yanı sıra 24 saat hizmet veren Meteoroloji İstasyonu, Poaş ve Thy-Opet'a ait akaryakıt ikmal tesisleri, Gümrük Müdürlüğü, Havaş Yer Hizmet Kuruluşu ve 400 araç kapasiteli otoparkı bulunmaktadır.

Abstract:

Aviation sector is developing in our country in recent years. Airports consist of specific buildings. The efficiency of the energy used in this building is important in terms of both the economy and the environment. Trigeneration is a generation of heating and cooling simultaneously using a single source of energy. Released heat energy by the system building for electric generation is evaluated in trigeneration system. As a result fuel consumption is significantly reduces because of energy losses reduces and the efficiency of energy is provided. In this study, a trigeneration system was designed for using energy more efficiently in Nevşehir Cappadocia Airport and feasibility of the system was analyzed.

Key Words:

Energy Efficiency, Airport, Trigeneration

Makale

Isınma ihtiyacını 2 adet kazandan, elektrik ihtiyacını şehir şebekesinden ve motorinle çalışan jeneratörden, soğutma sistemini de klima santrallerinden karşılayan Nevşehir Kapadokya Havalimanı'na enerji tasarrufu yapmak maksadıyla buhar kazanı, buhar türbini ve absorpsiyonlu soğutma sisteminden oluşan trijenerasyon sistemi tasarımı yapılabilir. Bu çalışmada sistemin elemanları kısaca tanımlanmış ve sistemin her bir aşamasındaki parametrelerin termodinamik analizleri yapılmıştır. Daha sonra ise mevcut sisteme göre tasarlanan sistemin maliyet analizi yapılmıştır.



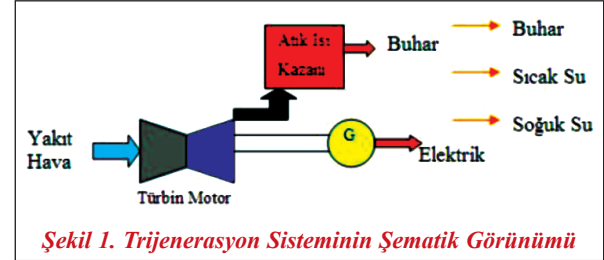
Resim 1. Nevşehir Kapadokya Havalimanı'ndan bir görüntü

Kojenerasyon santrallerinde ekserji ve mühendislik analizlerinin simülasyonu üzerinde çalışma yapılmıştır. Mühendislik analizi, yatırım ve geri ödeme maliyetlerine göre hesaplanmıştır. Bu analizin simülasyonu için algoritma oluşturulmuştur [1]. Birleşik ısı-güç sistemlerinin optimizasyonu için termoekonomik analiz yöntemi uygulamışlardır. Bu yöntemin amacı termodinamiğin ikinci yasasına bağlı olarak minimum ekserji üretim maliyetinin modelini çıkartmaktır.

Optimizasyon için seçilen değişkenler; kazandan buhar türbinine gelen buharın sıcaklık-basınç değerleri, basınç oranı, gaz türbini egzoz sıcaklığı ve gazın debisidir [2]. Mevcut bir fabrikada trijenerasyon sistemi kurulununun ilk yatırım maliyeti ve başabaş noktası belirlenmiştir. Sistem elemanlarının analizi ve detaylı incelenmesi yapılmıştır [3]. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri sera gazı emisyonlarının değerlendirmesi yapılmıştır [4]. Bir firma bünyesinde kurulu enerji üretimi 1.070 kW ısıl gücü 1.360

kW olan bir dizel motorlu kojenerasyon sisteminin analizi yapılmıştır. Çalışmada termodinamiğin 2. yasası kullanılarak ekserji analizi yapılmıştır [5]. Talep belirsizlikler altında trijenerasyon sistemi ve termal depolama yapılmaya çalışılmıştır [6]. Bir üniversite kampüsünde trijenerasyon sistemi kurulmuştur. Elektrik, ısı ve kampüsteki diğer talepler ve mevcut durum göz önünde bulundurularak sistem, optimum trijenerasyon kapasite ve işletme stratejisi tanımlanmıştır [7].

Şekil (1)'de gösterilen "Üçlü Üretim" anlamına gelen trijenerasyon sistemleri ısı ve elektrik enerjisinin yanı sıra kojenerasyonun atık gazından elde edilen sıcak su veya buhar ile soğuk suyun elde edildiği sistemlerdir.



Şekil 1. Trijenerasyon Sisteminin Şematik Görünümü

Kojenerasyon tesislerine, çeşitli şekillerde sistemler eklenerek trijenerasyon sağlanabilir. Bunlardan ilki, tesisden atılan ıslığı geri kazanım şeklinde alıp bir absorpsiyonlu soğutma sistemine vererek soğutulmuş su elde etme uygulamasıdır. İkinci olarak da buhar sıkıştırılmalı bir çevrim ile soğutulmuş su sağlanmasıdır ve bu soğutma için ihtiyaç duyulan shaft gücünün direk olarak motordan veya türbinden elde edilmesi yöntemi ile sistemler birleştirilebilir. Diğer bir yöntem ise tamamen dönen kısımlardan bağımsız, elektrik ile çalışan bir buhar sıkıştırılmalı konvansiyonel makine ile soğutma sağlanmasıdır. Bu yöntemler içinde en verimli ve en çok uygulaması olan, absorpsiyonlu soğutma sistemidir.

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin çalışma prensibi düşük sıcaklıkta suyun evaporasyonu (kaynatılması) sayesinde alçak enerji seviyesindeki kaynağın ıslığının alınması esasına dayanır. Sistem evaporatör, kondenser, absorber, jeneratör ve solüsyon ve refrejerant pompasından oluşur. Sistem atmosfer basıncının

çok altında, yani vakum altında çalışır. Sistemde suyu emen yani sisteme adını veren, absorbe eden lityum bromid (bir çeşit tuz) ve refijerant olarak su kullanılmaktadır.

Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacminin toplam enerjisinde değişim olmaz. Böylece sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmine ısı, iş veya kütle akışı olarak giren enerjinin çıkan enerjiye eşit olması zorunludur. Enerjinin Korunumu Yasası kullanılarak trijenerasyon sistemlerinde modelleme yapılabilir.

2. TRİJENERASYON SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Nevşehir Kapadokya Havalimanı için tasarlanacak trijenerasyon sisteminin uygulanması işletmenin toplam enerji giderlerini azaltacaktır. Son yıllarda artan enerji maliyetleri enerji tasarrufunu işletmelerin önceliği haline getirmiştir.

2.1. Isı İhtiyacı Kapasitesinin Belirlenmesi

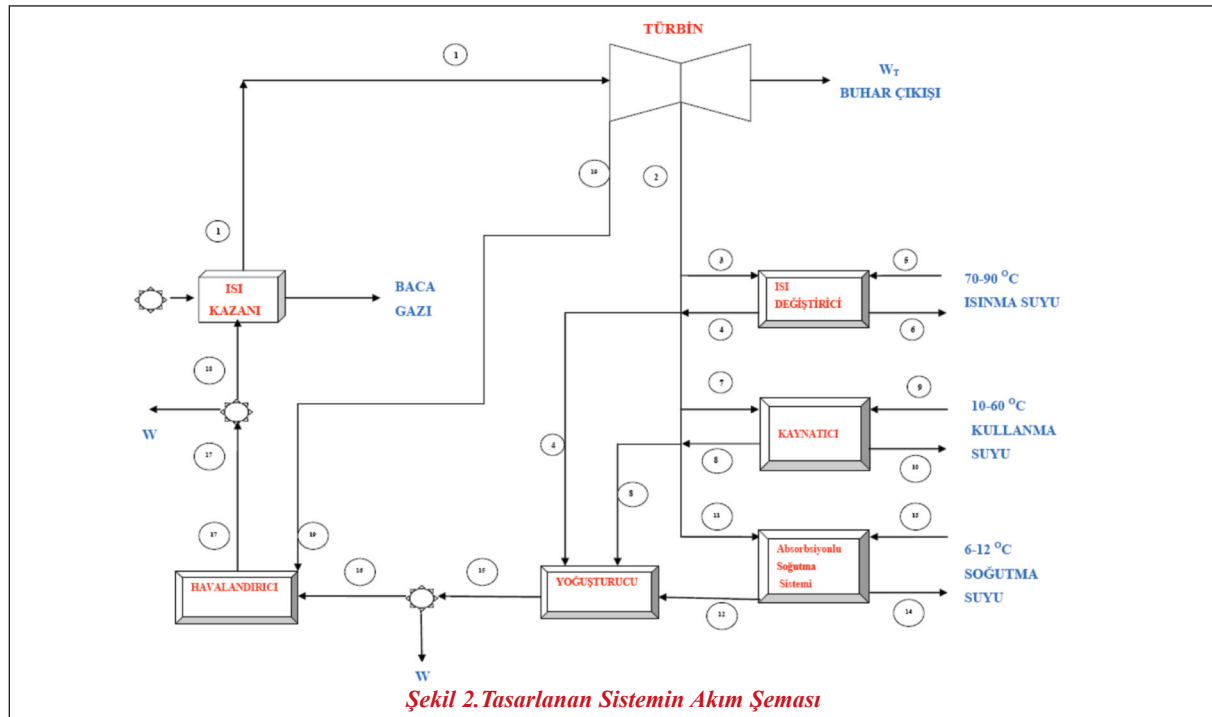
Nevşehir Havalimanı'nda ısınma ihtiyacını karşılamak üzere yıllık olarak yaklaşık 190.000 kg fuel-oil 4 (kalorifer yakıtı) kullanılmaktadır. Fueloil 4'ün ortalama ısıl değeri 10.100 kcal/h olarak alınarak, havalimanının yıllık ısı ihtiyacı 1.919.106 kcal ola-

rak bulunabilir. Isıtma sistemlerinin yaklaşık olarak 6 ay boyunca günlük ortalama 10 saat çalıştığı dikkate alınarak saatlik ısı ihtiyacı, 1.066.111 kcal/h olarak hesaplanır. Havalimanında da 1.100.000 kcal/h biri yedek olmak üzere iki adet ısıtma kazanı bulunmaktadır.

2.2. Sistem Parametrelerinin Belirlenmesi

Havalimanının elektrik ihtiyacını karşılamak için türbin, soğutma ihtiyacını karşılamak için absorpsiyonlu soğutma grubu, kapasiteleri karşılayacak şekilde yoğunlaşma tankı, havalandırıcı, pompalar ve buhar kazanı eklenerek sistemin elektrik, soğutma ve ısıtma ihtiyaçlarını karşılayacak bir trijenerasyon sistemi kurulabilir. Tasarımı yapılacak olan sistemin akım şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.

Havalimanı kullanımına sunulmak üzere 6-12 °C soğutma suyu, 70-90 °C ısıtma suyu ve 60 °C kullanma suyu elde edilecektir. Yeni kurulacak olan trijenerasyon sistemi de bu parametrelerle çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Öncelikle sistemimizin tasarımına, mevcut ihtiyaçlara göre hatlardaki buhar debileri ve su debileri hesaplanarak başlanmıştır. Termodinamik parametrelerin tespiti için su ve su buharı tablolarından faydalanılmıştır. Tablo 1'de tri-



Şekil 2. Tasarlanan Sistemin Akım Şeması

Makale

Tablo 1. Trijenerasyon Sistemindeki Tüm Akımların Termodinamik Özellikleri

Akım No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P (bar)	35	14	8	8	5	5	8	8	5	5
T (°C)	325	170,7	170,4	170,4	70	90	170,4	170,4	10	60
h (kJ/kg)	3043,1	2705,06	2667,5	719,09	293,45	377,37	2667,5	719,09	42,51	251,58
s (kJ/kgK)	6,5588	6,6616	6,6596	2,0416	0,9549	1,1926	6,6596	2,0416	0,151	0,831

Akım No	11	12	13	14	15	16	17	18	19
P (bar)	8	8	5	5	8	14	14	35	14
T (°C)	170,4	170,4	12	6	170,4	170,4	195,04	195,04	220
h (kJ/kg)	2667,5	719,09	50,89	25,72	719,09	720,09	829,97	833,47	2855,5
s (kJ/kgK)	6,6596	2,0416	0,1804	0,091	2,0416	2,0426	2,2835	2,2868	6,6062

jenerasyon sistemindeki tüm akımların termodinamik özellikleri verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda bu özellikler kullanılmıştır.

2.3. Isı Değiştirici

Sistemde bulunan ısı değiştirici havalimanının ısınma ihtiyacı için kullanılacaktır. Havalimanının ısı ihtiyacı 1.280 kW'dır. Isı değiştiriciye ait akım şeması Şekil 1'de ve ısı değiştiriciye ait akımların termodinamik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de verilen değerlerin kullanımı ile buhar debisi $\dot{m}_3 = 2.365$ kg/h ve sıcak su debisi $\dot{m}_6 = 55$ kg/h olarak bulunur.

2.4. Kaynatıcı

Kaynatıcı, havalimanının 60 °C'deki sıcak kullanma suyu ihtiyacını karşılayacaktır. kapasitesi 120 kW olarak alınarak, kullandığı kaynak türbinden çıkan 8 bar doymuş buhardır. Buhar debisi $\dot{m}_7 = 222,7$ kg/h ve sıcak su debisi $\dot{m}_{10} = 2.066$ kg/h olarak bulunmuştur.

2.5. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi

Soğutma sistemi kapasitesi belirlenirken mevcut soğutma sistemi kapasitesi esas alınmıştır. Havalimanında terminal binasında 226,2 kW'lık 2 adet ve teknik blokta da 124,3 kW ve 47,8 kW'lık 2 adet soğutma grubu bulunmaktadır. Bu sebepten havalimanının soğutma için toplam enerji miktarı

630 kW'dır. Klima santrali COP (performans katsayısı değeri) 1,50 alınarak Tablo 3'deki değerler bulunur. Tablo 1'deki değerler kullanılarak buhar debisi $\dot{m}_{11} = 776,12$ kg/h ve soğuk su debisi $\dot{m}_{13} = 90107$ kg/h olarak bulunmuştur.

2.6. Alçak Basınç Pompası

Alçak basınç pompası ön basınçlandırma yapmak amacıyla suyu 8 bar'dan 14 bar'a çıkarmak için kullanılmaktadır. Yani pompanın basınçlandırma yapacağı miktar 6 bar'dır. Debi ise ısı değiştirici, kullanma suyu ve absorpsiyonlu soğutma sisteminden gelen yoğunlaşma sularının toplam debisidir ($\dot{m}_{15} = \dot{m}_4 + \dot{m}_8 + \dot{m}_{12} = 3362,82$ kg/h'dir).

Bir pompanın adyabatik verimi, sıvının verilen basınca izantropik hal değişimiyle sıkıştırmak için gerekli işin, gerçek işe oranı biçiminde tanımlanır. Bu bir bağıntı olarak ifade edilirse denklem (1)'deki gibi yazılabilir;

$$\eta_p = \frac{\text{izantropik pompa işi}}{\text{gerçek pompa işi}} \quad (1)$$

Tablo 1'de alçak basınç pompasına ait termodinamik değerler verilmiştir. Pompa verimini %60 alınarak pompa gücü $\dot{W}_p = 3362,82$ kJ/h = 0,94 kW olarak bulunur.

2.7. Havalandırıcı

Yoğuşma suyunda oluşacak gazları sistemden uzaklaştırabilmek için türbinden 14 bar basınçta 220 °C'de çekilen ara buharla sistemden havalandırıcıya gelen yoğuşma suyu doyma sıcaklığına ulaştırılabilir. Tablo 1'de havalandırıcıya ait termodinamik özellikler verilmiştir. Tablo 1 kullanılarak $\dot{m}_{17} = 182,4 + 3362,82 = 3545,22$ kg/h bulunur.

2.8. Yüksek Basınç Pompası

Havalandırıcıdan çıkan 14 bar basıncındaki yoğuşma suyunu kazan çalışma basıncı olan 35 bar'a çıkarmak için kullanılır. Basınçlandırma miktarı 21 bar'dır. Pompa verimini %60 olarak alınarak pompa gücü $\dot{W}_p = 11769,87$ kJ/h = 3,27 kW hesaplanır.

2.9. Türbin

Kazandan gelen 35 bar 325°C'de kızgın buhar türbine girer. Burada bir kısım enerjiyle elektrik üretilir. Bir kısım buharda 14 bar basınçla havalandırıcıya gider. Türbin verimi %90 olarak düşünülmüştür. Türbine giren kızgın buharın 8 bar basınçtaki entalpisi su buharı tablosundan 2.667,5 kJ/kg olarak alınarak türbinin gerçek çıkış entalpisi $h_2 = 2.705,06$ kJ/kg hesaplanır. Türbinde üretilen güç $\dot{w}_t = 1.109.327,41$ kJ/kg = 308 kW olur.

Havalimanında ortalama saatlik elektrik tüketimi 209 kW civarındadır. Dolayısıyla türbinde üretilen 308 kW'lık elektrik enerjisi havalimanının ihtiyacını karşılamaya yetecektir.

2.10. Buhar Kazanı

Kazanda LNG'nin (sıvılaştırılmış doğalgaz) yakılmasıyla, ısı kazanına gelen yoğuşma suyundan 35 bar 325°C'de kızgın buhar elde edilir. Isıtma kazanına gerekli olan enerji miktarı 2.064 kW'dır.

2.11. Sistemde Kullanılacak Yakıt Miktarı

Sistemde yakıt olarak LNG (sıvılaştırılmış doğalgaz) kullanılacaktır. LNG'nin ısı değeri 9.155 kcal/m³'tür. Tüketilen yıllık LNG miktarı 387.715 m³/yıl'dır.

3. MEVCUT SİTEMLE TRİJENERASYON SİSTEMİNİN MALİYET KARŞILAŞTIRMASI VE DEĞERLENDİRME

Havalimanında bulunan mevcut sistem Tablo 3 ile kurulması tasarlanan trijenerasyon sisteminin maliyeti ise Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 3 ve 4'ün karşılaştırılması yapıldığında yıllık tasarrufun yaklaşık 344.300 TL civarında olduğu görülmektedir. Bu ise 4.330.000 TL'lik yatırım maliyeti göz önüne alındığında yaklaşık 12 yılda sistem kendisini amorti edecektir. Sistemin ömrünün 25 yıl olduğu düşünülürse geriye kalan 13 yılda yaklaşık 4.400.000 TL tasarruf edilecektir.

Tablo 3. Mevcut Sistemin Yakıt Maliyetleri

	Miktar	Tutar (TL) (2014 Ocak ayına göre)
Kalorifer Yakıtı (kg)	190.000	418.000
Elektrik Enerjisi (kW)	1.700.000	493.000
Jeneratör Motorin (kg)	4.000	14.813
		925.813

Tablo 4. Trijenerasyon Sisteminin İncelenmesi

Yatırım Maliyeti (TL)			Miktar (m ³)	Tutar (TL)
Trijenerasyon Sistemi (1kW \cong 750 €)	4.180.000	LNG Sarfiyatı	387.715	581.500
LNG Dönüşümü	150.000			
Toplam	4.330.000		Toplam	581.500

4. KAYNAKLAR

1. Exergetic and Engineering Analyses of Gas Turbine Based Cogeneration Systems, Energy 25, 1215-1229, 2000.
2. Silveria, J.L. and Tuna, C.E.; 2003.

Makale

- Thermoeconomic Analysis Method for Optimization of Combined Heat and Power Systems, Part I, Progress in Energy and Combustion Science 29, 479-485, 2003
3. İster, İ., “Mevcut Bir Fabrikada Trijenerasyon Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, 2006
 4. Mancarella P., Chicco G. (2008), Assessment of the greenhouse gas emissions from cogeneration and trigeneration systems, Part II, Energy, 33: 418-430
 5. Kaya, M., “Birleşik Isı-Güç Santralinin Enerji Üretimi ve Maliyet Açısından İncelenmesi”, CBU Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi, sayı:11, 2009
 6. Lai S., Hui C (2010), Integration of trigeneration system and thermal storage under demand uncertainties, Appl. Energy, 87: 2868-2880
 7. Süleyman Hakan Sevilgen and Onur Sancar, “Economical analysis of trigeneration system” International Journal of the Physical Sciences, Vol. 6(5), pp. 1068-1073, 4 March, 2011, ISSN 1992-1950 ©2011 Academic Journals.