

Büyük Kapasiteli Soğutma Sistemlerinde Kojenerasyon Kullanımının Değerlendirilmesi*

Canan Cimşit¹, İlhan Tekin Öztürk²

ÖZET

Bu çalışmada kojenerasyon sisteminde elde edilen enerjinin büyük kapasiteli soğutma sistemlerinde kullanım durumu analiz edilmiştir. Kojenerasyon tesisi kullanılarak üretilen elektrik ve ısı enerjisinin; buhar sıkıştırma, buhar sıkıştırma-absorbsiyonlu kaskad ve kombine soğutma sistemlerinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Buhar sıkıştırma-absorbsiyonlu kaskad soğutma sisteminin absorbsiyonlu kısmında NH_3-H_2O akışkan çiftine alternatif olarak $LiBr-H_2O$ çiftinin kullanılması buhar sıkıştırma kısmında ise NH_3 kullanılması durumlarının teorik termodinamik analizleri yapılmıştır. Buhar sıkıştırma-absorbsiyonlu kaskad çevrimin kullanılması ile buhar sıkıştırma çevrimlere göre % 52 daha az bir elektrik enerjisi kullanılarak soğutma yapmak mümkün olabilmektedir. Kojenerasyon kaskad ve kombine soğutma sistemleriyle uygun bir şekilde birleştirilmesi durumlarında daha az elektrik enerjisi ve daha az düşük sıcaklıkta ısı tüketilerek etkin soğutma yapılabilir.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Dünyadaki artan nüfus ve sanayileşmeye paralel olarak enerji problemi de

hızlı bir şekilde artmaktadır. Enerji kaynaklarının (fosil yakıtların) tükenebilir veya sınırlı miktarda oluşundan dolayı bunların etkin ve verimli kullanılmasıyla birlikte alternatif kaynakların da geliştirilmesi gerekmektedir.

Klasik buhar sıkıştırma soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların ozon tabakasına zararlı etkileri ve günümüzde yaşanan enerji darboğazı nedeniyle özellikle absorbsiyonlu soğutma sistemleri büyük önem kazanmıştır. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan akışkan çiftlerinin ozon tabakasına zarar vermemesi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, atık ısı gibi kaynakların kullanılabilmesi nedeniyle absorbsiyonlu soğutma sistemleri daha avantajlı bir konuma gelmiştir.

Kojenerasyon ısı ve elektrik enerjisinin birlikte üretilmesiyle hem ekonomik hem de olumlu çevresel etkileri olan bir sistemdir. Bu sistemlerle üretilen elektrik ve ısı enerjisinin soğutma sistemlerinde kullanılması durumunda hem yakıt ekonomisi hem de sera gazlarının azaltılması sağlanarak çevre korunmasına yardımcı olunacağı söylenebilir.

Bu çalışmada etkin soğutma yapmak amacıyla soğutma için gerekli enerjinin (mekanik enerji ve ısı enerjisinin) kojenerasyon sisteminden karşılanması ve gerekiyorsa trijenerasyon şeklinde kullanılmasının değişik soğutma sistemleri

üzerinde uygulamalarının termodinamik analizleri yapılmıştır.

2. KOJENERASYONUN SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KULLANILMASI

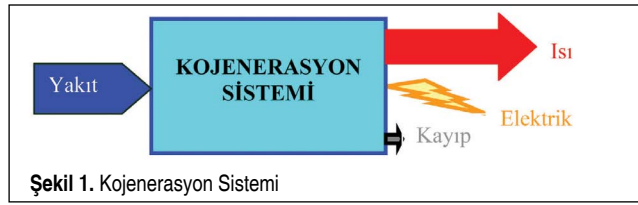
Kojenerasyon sistemlerinde enerji; ısı ve elektrik olmak üzere aynı sistemden birlikte üretilir. Ana tahrik mekanizmasında tüketilen enerjiden ardışık olarak elektrik ve yararlı ısı, sıcak su ya da buhar üreterek önemli ölçüde enerji tasarrufu ile ekonomik kazanç sağlamak mümkündür. Basit çevrimle çalışan ve fosil yakıt kullanılarak sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da motoru ile kullanılan enerjinin % 30-45' i kadarı elektrik enerjisine çevrilebilir. Sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir kısmı da faydalanabilir enerjiye dönüştürülerek, toplam tüketilen birincil enerjinin %70-90 kadarı değerlendirilmiş olur [1].

Kojenerasyon tesisleri, kentsel yerleşimler ve sanayinin birçok uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Şekil 2). Enerjinin tüketildiği yerde üretimi de sağlanan bu tesislerle kentsel yerleşimlerin ısıtma ve soğutma ihtiyaçları hem ekonomik hem de çevre koruması sağlanarak karşılanabilmektedir. Ayrıca uygulamalarda kullanılan trijenerasyon sistemleriyle ısı ve elektrik enerjisinin yanında ısının bir kısmı kullanılarak soğutma da yapılabilmektedir; yani sant-

¹ Kocaeli Üniversitesi, Gölcük MYO, Gölcük, Kocaeli - ccimsit@kocaeli.edu.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Umuttepe-Kocaeli - ilhan@kocaeli.edu.tr

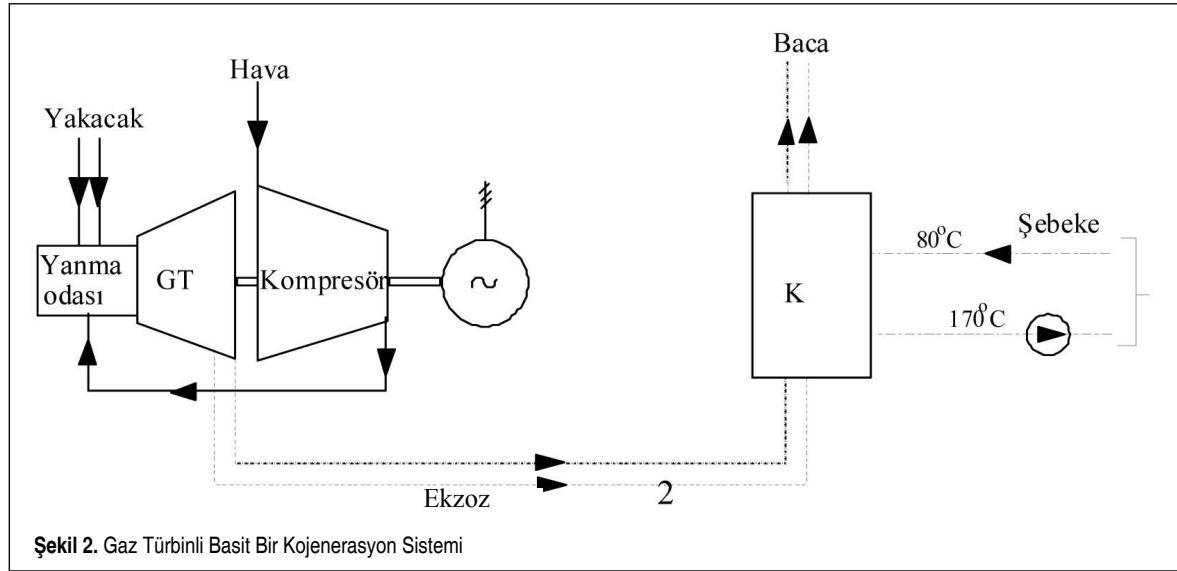
* Bu yazı, 31 Mart - 2 Nisan 2011 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Kocaeli'de düzenlenen III. Enerji Verimliliği Kongresi'nde bildiri olarak sunulmuştur.



Şekil 1. Kojenerasyon Sistemi

in için kompresörlerin çalıştırılması için hem elektrik enerjisi hem de absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin çalıştırılabilmesi için

Bu çalışmanın ilk kısmında kombine soğutma sistemi için NH_3-LiNO_3 yerine NH_3-H_2O eriyiği kullanılarak sistemin analizi yapılmıştır. Bu analiz için esas olmak üzere tek kademeli NH_3-H_2O eriyiği ile çalışan absorpsiyonlu-buhar



Şekil 2. Gaz Türbinli Basit Bir Kojenerasyon Sistemi

ral aynı anada üç işlevi yerine getirecek şekilde çalışabilmektedir.

Kojenerasyon ve trijenerasyon tesislerinin en büyük avantajı ihtiyaç duyulan enerji türlerinin istenildiği zaman ve miktarda üretilmesidir. Bu tesisler kendi enerjilerini kendileri ürettiklerinden dışa bağımlı olmazlar. Ayrıca üretilen enerjinin devamlılığı da söz konusu olabilmektedir.

Kojenerasyon sistemleri kurularak ısıtılacak mekanların, sıcaklığı $60-180^\circ C$ arasında değişen sıcak su ihtiyacı karşılanabileceği gibi endüstriyel alanda da proses ısısına gereksinim duyan tesislerin ısı ihtiyaçları bir buhar türbininin çıkışından veya çürük buhardan yararlanılarak karşılanabilir. Bu yüzden birleşik ısı ve güç tesislerindeki enerji tasarrufu büyük boyutludur [2].

Özellikle endüstriyel tesislerde büyük kapasiteli soğutma sistemlerinde ya da aynı tesis için kullanılan farklı amaçlı soğutma sistemlerinin örneğin $-20^\circ C$ 'ye proses soğutulması veya soğuk oda için gerekli soğutmayla beraber klima sistemleri için duyulan soğutma ihtiyacı

yeterli miktarda ısı enerjisine ihtiyaç duyulabilir. Uygun seçilmiş kojenerasyon ve trijenerasyon tesisleri, ihtiyaç duyulan bu elektrik ve ısı enerjilerini karşılayabilir.

Absorpsiyonlu/buhar sıkıştırımlı kombine ve kaskad soğutma çevrimlerinin termodinamik analizlerinde kullanılan ilgili bağıntılar ve akışkanların termodinamik özellikleri literatür çalışmalarında mevcuttur ([3], [4], [5], [6]). Bu çalışmada buhar sıkıştırımlı-absorpsiyonlu kombine ve kaskad soğutma çevrimlerinde kojenerasyonun kullanılabilirliği detaylı incelenecektir.

2.1 Absorpsiyonlu-Buhar Sıkıştırımlı Kombine Soğutma Sistemlerinde Kojenerasyon Kullanımı

Absorpsiyonlu-buhar sıkıştırımlı kombine soğutma sisteminin analizi Ayala vd. (1997) tarafından NH_3-LiNO_3 akışkan çifti kullanılarak yapılmıştır. Kombine soğutma çevriminin performansının buhar sıkıştırımlı veya absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

sıkıştırımlı kombine soğutma çevriminin şematik diyagramı Şekil 3'te gösterilmektedir [7].

Amonyak-su eriyiği kullanan kombine soğutma sisteminin çalışma prensibini aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

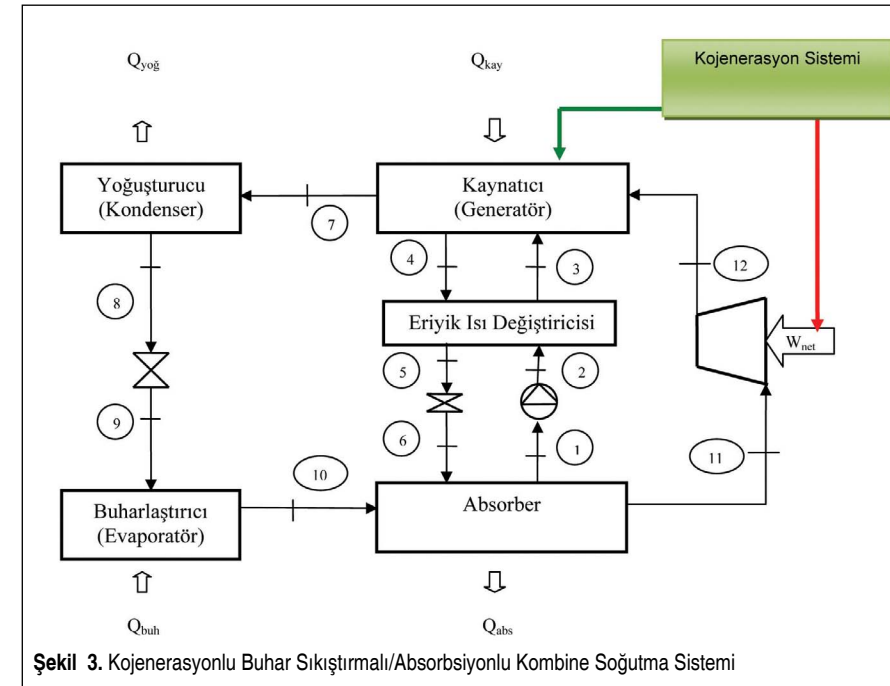
1-3: Absorberden çıkan amonyak bakımından zengin olan eriyik bir pompa aracılığıyla ısı değiştiricisinden geçerek kaynatıcıya (generatöre) gelir.

3-7: Burada dışarıdan verilen ısıl enerjisiyle soğutucu akışkan buharlaşarak eriyikten ayrılır ve yoğuşturucuya (kondensere) girer.

4-6: Kaynatıcıdan amonyak bakımından fakirleşen eriyik, ısı değiştiricisinden geçerken zengin eriyiğe ısı vererek absorbere geri döner.

8-9: Yoğuşturucudan doymuş sıvı olarak çıkan amonyak kısılma vanası aracılığıyla buharlaştırıcı basıncına kadar genişletilir.

9-10: Buharlaştırıcıda (evaporatör) amonyak soğutulan ortamdaki ısıyla buharlaşarak absorbere girer.



Şekil 3. Kojenerasyonlu Buhar Sıkıştırımlı/Absorpsiyonlu Kombine Soğutma Sistemi

11-12: Absorberden çıkan bir miktar amonyak kaynatıcı basıncına kompresör tarafından sıkıştırılır ve daha sonra kaynatıcıya gelen zengin eriyikle birleşir.

2.1.1 Absorpsiyonlu-buhar sıkıştırımlı kombine soğutma sistemlerinde kojenerasyon kullanımının termodinamik analizi

Bu çalışmada yapılan çevrimlerin termodinamik analizlerinde aşağıda belirtilen kabuller yapılmıştır, bunlar:

1. Analiz sürekli rejim şartlarında yapılmıştır.
2. Generatör çıkışındaki akışkan kızgın buhar olup sıcaklığı, generatör sıcaklığındadır.
3. Kondenserden çıkan soğutucu akışkan, doymuş sıvı fazındadır.
4. Evaporatörden çıkan soğutucu akışkan, doymuş buhar fazındadır.
5. Absorberden çıkan eriyik, absorber basıncı ve sıcaklığında denge halindedir.
6. Generatörden çıkan eriyik, generatör sıcaklığı ve basıncında denge halindedir.
7. Sistemde bütün basınç kayıpları ihmal edilmiştir.

8. Absorpsiyonlu sistemde pompanın tükettiği iş ihmal edilmiştir.

Soğutma sistemindeki paylaşımı görmek için kompresördeki sıkırtmayla absorpsiyon arasındaki oranı belirlemek için, sıkırtma oranı (CP) parametresi kullanılır. Bu oran, kompresörde sıkıştırılan soğutucu akışkan miktarının (\dot{m}_1 'in) çevrimde kullanılan toplam soğutucu akışkan (\dot{m}_7) debisine bölünmesiyle elde edilir [3]:

$$CP = \frac{\dot{m}_{11}}{\dot{m}_7} \quad (1)$$

CP=1 karma sistemin yalnızca bir buhar sıkıştırımlı olarak, CP=0 durumunda ise yalnızca bir absorpsiyonlu soğutma sistemi olarak çalıştığını gösterir.

Sistemi oluşturan her bir cihazın kütle ve enerji dengeleri yazılarak ısıl kapasitelerinin hesabı aşağıda belirtildiği gibi yapılabilir:

Yoğuşturucu (Kondenser):

$$\dot{Q}_{yog} = \dot{m}_7 (h_7 - h_8) \quad (2)$$

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (3)$$

Absorber:

$$\dot{Q}_{abs} = \dot{m}_6 \cdot h_6 + \dot{m}_{10} \cdot h_{10} - \dot{m}_1 \cdot h_1 - \dot{m}_{11} \cdot h_{11} \quad (4)$$

$$\dot{m}_6 + \dot{m}_{10} = \dot{m}_1 + \dot{m}_{11} \quad (5)$$

$$\dot{m}_6 x_6 + \dot{m}_{10} x_{10} = \dot{m}_1 x_1 + \dot{m}_{11} x_{11} \quad (6)$$

Kaynatıcı (Generatör):

$$\dot{Q}_{kay} = \dot{m}_4 \cdot h_4 + \dot{m}_7 \cdot h_7 - \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_{12} \cdot h_{12} \quad (7)$$

$$\dot{m}_3 + \dot{m}_{12} = \dot{m}_4 + \dot{m}_7 \quad (8)$$

$$\dot{m}_3 x_3 + \dot{m}_{12} x_{12} = \dot{m}_4 x_4 + \dot{m}_7 x_7 \quad (9)$$

Buharlaştırıcı (Evaporatör):

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_9 \cdot (h_{10} - h_9) \quad (10)$$

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \quad (11)$$

Kompresör:

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m}_{12} \cdot (h_{12} - h_{11}) \quad (12)$$

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} \quad (13)$$

Eriyik Isı Değiştiricisi (EID) için kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (14)$$

$$x_2 = x_3 \quad (15)$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 \quad (16)$$

$$x_4 = x_5 \quad (17)$$

$$\dot{Q}_{EID} = \dot{m}_4 (h_4 - h_3) \quad (18)$$

Eriyik için genişleme valfinde kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (19)$$

$$h_5 = h_6 \quad (20)$$

Soğutucu akışkanın genişleme valfindeki kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_9 \quad (21)$$

$$h_8 = h_9 \quad (22)$$

Pompadaki kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (23)$$

Tablo 1. Örnek Kaskad, Kombine ve Buhar Sıkıştırımlı Çevrimlerinin Sistem Elemanlarının Isıl Kapasiteleri ve Performans Değerlerinin Karşılaştırılması ($T_{buh1}=T_1=-6\text{ }^\circ\text{C}$, kaskad $T_{yog}=T_{12}=40\text{ }^\circ\text{C}$, kombine $T_{yog}=T_8=40\text{ }^\circ\text{C}$ $Q_{buh1}=4000\text{ kW}$)

	Kaskad soğutma sistemleri		Değişik CP oranları için kombine soğutma sistemleri			Klasik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi
	$LiBr-H_2O$ NH_3	NH_3-H_2O NH_3	NH_3-H_2O (CP=0.5)	NH_3-H_2O (CP=0.8)	NH_3-H_2O (CP=0.9)	NH_3
Q_{kay} (kW)	6044	9300	7260	2680	1160	-
W_{komp} (kW)	536	536	505	810	910	1110
Q_{buh1} (kW)	4000	4000	4000	4000	4000	4000
STK_{cevg}	0.608	0.407	0.515	1.146	1.932	3.604

enerji de azalmaktadır. $CP = 1$ karma sistemin yalnızca bir buhar sıkıştırımlı olarak, $CP = 0$ durumunda ise yalnızca bir absorpsiyonlu soğutma sistemi olarak çalışmaktadır. Buna göre CP arttıkça kompresör işi de (W_{komp}) artmaktadır. Buna karşılık Q_{kay} azalmaktadır (Tablo 1). Kombine soğutma çevrimlerinde verilen kapasiteler için seçilecek kojenerasyon çevrimi yardımıyla belirlenecek uygun CP oranı için ihtiyaç duyulan elektrik ve ısı enerjisinin tamamı kojenerasyon tesisinden karşılanabilir.

Kaskad sistemlerde verilen kapasitelerde çevrim için gerekli ısı enerjisinin belirli bir kısmı kojenerasyon sisteminde geri kalan kısmı da alternatif enerji kaynaklarından temin edilebilir.

Kojenerasyonun soğutma sistemlerinin enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanımı termodinamik açıdan uygun olmasına karşın ekonomik değerlendirme yapılarak bu konudaki son karar verilmelidir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yapılan çalışmayla aşağıda belirtilen sonuç ve öneriler elde edilmiştir.

- Klasik buhar sıkıştırımlı çevrimlere göre, aynı soğutma miktarı için daha az elektrik enerjisi tüketimi,
- Kojenerasyon yardımıyla daha verimli elektrik ve ısı üretiminin sağ-

lanarak soğutma çevrimlerinde kullanılması,

- Enerji kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanımıyla dışa bağımlılığının azaltılması,
- Düşük emisyon ve atık oluşturulması sebebiyle çevre korumasının sağlanması,
- Büyük ölçekli işletme maliyeti azalması, böylece endüstriyel kuruluşlar için rekabet gücünün artması,

mümkün olabilmektedir.

SEMBOLLER

- \dot{Q} : Isıl güç, kW
 STK : Soğutma tesir katsayısı
 T : Sıcaklık, $^\circ\text{C}$
 \dot{W} : Kompresör gücü, kW

Alt indisler

- abs* : Absorber
buh : Buharlaştırıcı
cevg : Çevrim genel
kay : Kaynatıcı
komp : Kompresör
yog : Yoğuşturucu

KAYNAKÇA

1. **Değirmencioğlu, H.** 2009. Kojenerasyon Sistemleri, Ege Bölgesi Enerji Forumu, Denizli.

2. **İmal, M., Onat, A.** 2003. “Endüstriyel Tesislerde Kullanılan Birleşik Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Analizi,” Politeknik Dergisi, cilt:6, sayı: 3, 531-539.
3. **Ayala, R., Heard, C. L., Hollabd, F.A.** 1997. Ammonia-Lithium Nitrate Absorption/ Compression Refrigeration Cycle, Part I. Simulation, Applied Thermal Engineering, 17, 3, 223-233.
4. **Kairouani, L., Nehdi, E.** 2006. Cooling Performance and Energy Saving of a Compression-Absorption Refrigeration System Assisted by Geothermal energy, Applied Thermal Engineering, 26, 288-294.
5. **Kaita, T.** 2001. Thermodynamic Properties of Lithium Bromide-Water Solutions at High Temperatures, Int. J. Refrigeration, 24, 374-390.
6. **Sun, D.W.** 1998. Comparison of the performance of NH_3-H_2O , NH_3-LiNO_3 and Absorption Refrigeration Systems, Energy Conversion & Management, 39, 357-368.
7. **Cimşit, C.** 2009. Absorpsiyonlu Buhar Sıkıştırımlı Kaskad Soğutma Çevrimlerinin Termodinamik ve Termoeconomik Analizi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
8. www.unienerji.com