

# Kojenerasyon Teknolojisi

**Nazmi Ekren** (nazmiekre@marmara.edu.tr), **Özgür Yılmaz** (oyilmaz@marmara.edu.tr)  
**Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü**

**Özet:** Türkiye son yaşanan krizlerden sonra bir enerji darboğazı ile karşı karşıya kalmıştır. Elektrik kesintileri ve voltaj dalgalanmaları gün geçtikçe artmaktadır. Dolayısıyla, bugün bir çok işletmenin kendi elektriğini üretme ihtiyacı doğmuştur. Yaşanan elektrik kesintileri ve voltaj dalgalanmaları kısa süreli de olsa, uzun süreli üretim kayıplarına yol açmaktadır. Ayrıca bu duruşlar kalıp yaralanmalarına, mekanizma ve sistemlerin hasara uğramalarına da sebep olmaktadır. Üstelik üretilen elektriğin birim maliyeti TEDAŞ'tan alınan elektriğin birim fiyatından daha düşüktür. Dolayısıyla, elektrik kesintileri ve voltaj dalgalanmalarından dolayı oluşan üretim kayıplarını önleme, frekans ve gerilim dalgalanması gibi elektriğin kalitesini etkileyen unsurların makinalara olan olumsuz etkilerinden kaçınma, ucuz elektrik üreterek maliyetlerin düşmesini sağlama amaçlarıyla elektrik üretimi işletme için kaçınılmaz olmuştur. Ayrıca, son yıllarda enerjinin üretim ve kullanım aşamasında verimliliğin artırıl-

**Kojenerasyon sistemleri ile elektrik üretiminin, ihtiyaç olan yerde ve zamanda yapılması verimliliği en üst seviyeye getirmektedir. Böylelikle elektrik enerjisinin taşınmasından kaynaklanan kayıplar en aza indirilmiştir.**

ması, kayıpların en az düzeyde tutulması daha fazla önem kazanmaya başlamıştır. Bundan dolayı, doğal gaz ve propan gibi yakıtların yanı sıra biyogaz gibi alternatif yakıtları da kullanarak elektrik üreten kojenerasyon sistemleri ile elektrik üretiminin, ihtiyaç olan yerde ve zamanda yapılması verimliliği en üst seviyeye artırmaktadır.

## 1. Giriş

Primer yakıt rezervlerinin azaldığı ve global rekabetin arttığı günümüz ortamında enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve asgari maliyetleri sağlamak, kaçınılmaz

olmuştur. Bu anlamda kojenerasyon günümüz çağdaş "enerji yönetimi" teknikleri içinde ön sıralarda yer almaktadır.

Aynı makineden elektrik ve ısı enerjisini bir arada üretmek anlamını taşıyan kojenerasyon sistemleri, elektrik enerjisinin yanı sıra sıcak su, buhar, sıcak hava, kızgın yağ ihtiyacı olan uygulamaların alanlarında, %35-40'ı elektrik verimi, %45-50'si ısı verim olmak üzere toplamda %90'lara varan çevrim verimlerinde kesintisiz, kaliteli ekonomik ve çevre dostu enerji üretmektedir.

## 2. Kojenerasyon Sistemlerinin Tanımı

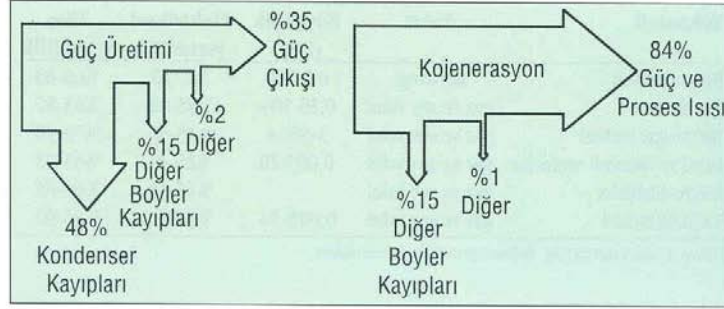
Kojenerasyon kısaca, enerjinin hem elektrik hem de ısı formlarında aynı sistemden beraberce üretilmesidir. Bu birliktelik, iki enerji formunun da tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik neticeler oluşturmaktadır. Şekil 1, tek bir sistemden elde edilen ısı ve gücün daha yüksek enerji kullanım verimliliğini göstermektedir. Şekil 1.a'da basit çev-

rimde çalışan, yani sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da motoru kullandığı enerjinin %30-40 kadarnı elektriğe çevirebilir. Şekil 1b'de ise, aynı sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması halinde sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir bölümü kullanılabilir. Değerlendirilen bu atık ısı enerjiye dönüştürülerek toplam enerji girişinin % 70-90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilir.

Bu tekniğe "birleşik ısı-güç sistemleri" (CHP) ya da kısaca "kojenerasyon" denilmektedir. Her iki enerji biçiminin ayrı ayrı aynı miktarlarda üretilmesi için gerekli olan birincil enerji miktarının, kojenerasyonla üretilmesi durumunda ne oranda azalacağı Şekil 2'de görülmektedir.

Şekil 2'deki grafiğe göre kojenerasyon tekniği ile kullanılan birincil enerjiden tasarruf %42 seviyesinde gerçekleşmektedir. Dolayısı ile kojenerasyon sisteminin çevreye en önemli katkılarından biri de burada ortaya çıkmakta, büyük enerji tasarrufu yanında atık emisyonları da aynı oranda azalmaktadır. Yani elde edilen her kWh enerjiye karşılık çok daha az CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazları atmosfere bırakılmaktadır. Ülkemizde henüz üzerinde çok durulmayan bu husus, sistemin özellikle Avrupa ülkelerinde yaygın teşvik görmesinin ana sebeplerinden birisidir. Bunun yanısıra yakıtın en etkin şekilde kullanımını da sağlamaktadır.

Kojenerasyonda birincil amaç, yakıt enerjisinden en yüksek



(a) Basit Çevrimde Çalışan Gaz Türbini  
Şekil 1. Yakıt Kullanım Verimliliği

(b) Kojenerasyon Sistemi

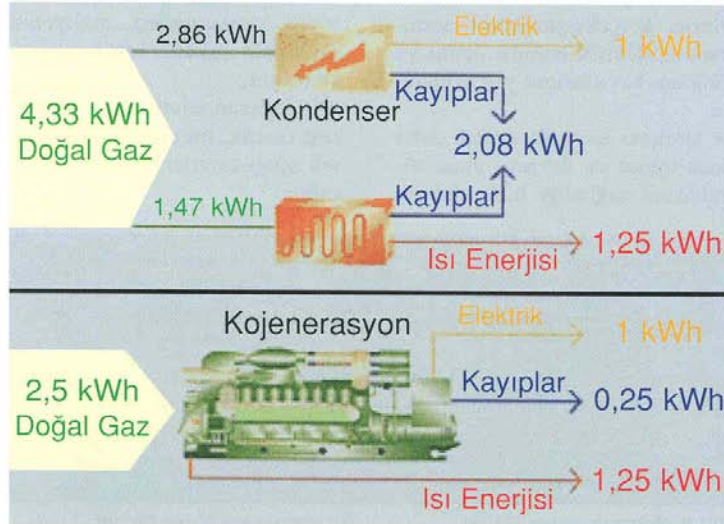
oranda yararlanmaktır. Enerjiden yararlanma amacı, kojenerasyon santralinde bir yılda üretilen elektrik ve ısı enerjisinin toplamının tüketilen yakıt enerjisine oranı olarak tanımlanır. Sadece elektrik üretilen santrallerde bu değer %25-40 arasında değişirken, kojenerasyon santrallerinde bu değer %90'lara çıkabilmektedir.

Bir elektrik jeneratörü ve ısıyı

yeniden kullanma sistemi bütün kojenerasyon projelerinde mutlaka bulunur. Bunların yanısıra aşağıda sıralanan teknolojiler de projelerde kullanılmaktadır:

- Buhar türbinleri,
- Gaz türbinleri,
- Dizel ve benzinli motorlar

Ayrıca, son zamanlarda üç yeni teknoloji daha kojenerasyon sistemlerinde kullanılmaya başlamıştır:



Şekil 2. Kojenerasyon ve Diğer Üretim Sistemleri Arasındaki Isıl Bilanço

Teknoloji	Yakıt	Büyüklik (MW)	Elektriksel verimlilik	Tüm verimlilik
Buhar türbini	herhangi	0,5-500	%7-20	%60-80
Gaz türbini	gaz ve sıvı yakıt	0,25-50+	%25-42	%65-87
Buhar-gaz türbini	gaz ve sıvı yakıt	3-300+	%35-55	%73-90
Dizel ve benzinli motorlar	gaz ve sıvı yakıt	0,003-20	%25-45	%65-92
Mikro-türbinler	gaz ve sıvı yakıt		%15-30	%60-85
Yakıt hücreleri	gaz ve sıvı yakıt	0,003-3+	%37-50	%85-90

Tablo 1. Kojenerasyon Teknolojisi Karakteristikleri

- Mikro-türbinler,
- Yakıt hücreleri

Kojenerasyon projeleri değişik büyüklüklerde, 5kW ila 500MW elektriksel kapasite aralığında olabilmektedir.

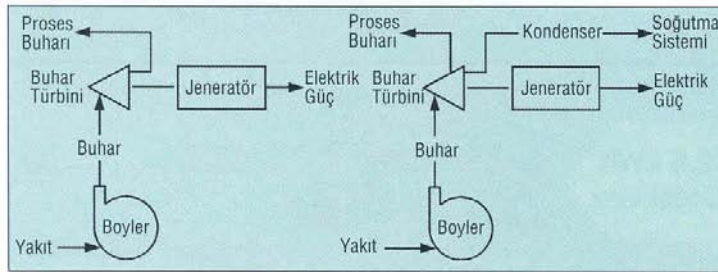
Kojenerasyon sisteminin yararlarını şöyle sıralanabilir:

Makro düzeyde:

- Yüksek birincil enerji kullanım verimliliğinin sağladığı yerel veya ithal enerji kaynaklarının tasarrufu,
- Enerji çevriminin tüketim yerinde gerçekleştirilmesi sonucunda elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıplarının yok edilmesi,
- Merkezi santrallara göre daha kısa inşaat ve devreye alma sürelerinin sağladığı hızlı elektrik

enerjisi arz satışı,

- Üretilen yararlı ısı güç birimi başına çevreye atılan katı, sıvı ve gaz madde miktarının, yalnız elektrik üreten merkezi enerji santrali veya yalnız buhar üreten bir endüstri kazanına göre daha az olması,
- Sanayi tarafından tüketilen elektrik enerjisinin az sayıda merkezi santral yerine, dağılmış bir şekilde endüstriyel tüketim yerlerinde üretilmesinin ulusal güvenliğe sağlayacağı katkı. İşletme bazında:
- İşletmenin azalan toplam enerji giderleri, nihai ürün kalitesini düşürmeden maliyetini azaltacak, şirketin rekabet gücü artacaktır,
- İşletmenin enerji temin güvenesi olacak, üretim kesintilerinin yol açtığı zararlar ortadan kalkacaktır.



(a) Backpressure Buhar Türbini  
Şekil 3. Buhar Türbini

(b) Ekstraksiyon Buhar Türbini

### 3. Kojenerasyon Teknolojileri

Kurulan kojenerasyon sistemlerinde ana amaç güç üretimi ise çevrim "Topping-cycle Kojenerasyon Sistem"i olarak adlandırılır. Amaç, bir prodesten geri kazanılan düşük seviyeli enerjiden güç üretmek ise "Bottoming-cycle Kojenerasyon Sistem"i olarak adlandırılır. Topping-cycle yada Bottoming-cycle sistemleri ile elektrik yada mekanik gücün ve termal enerjinin ortak üretimi yapılabilir. Topping-cycle sisteminde yakıt, elektrik üretmek üzere yakılır. Bu prodesten egzoz olan termal enerji endüstride yada ısıtma amacıyla kullanılabilir. Bottoming-cycle sisteminde ise endüstriyel bir proses uygulamasından çıkan atık ısı elektrik üretmek üzere kullanılır. Kombine çevrim sisteminde bir topping-cycle gaz türbini kullanılır ve çıkan egzoz gazları bir bottoming-cycle buhar türbininde daha çok elektrik ve proses için termal enerji üretmek üzere kullanılır.

#### 3.1. Topping-cycles

Buhar türbini ve gaz türbini olmak üzere iki tip topping-cycle sistemi bulunmaktadır. Her iki sistem de Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir. Her iki sistemdeki elektrik üretiminde de daha sonra endüstriyel bir prodeste kullanmak için ısı veya buhar üretilir.

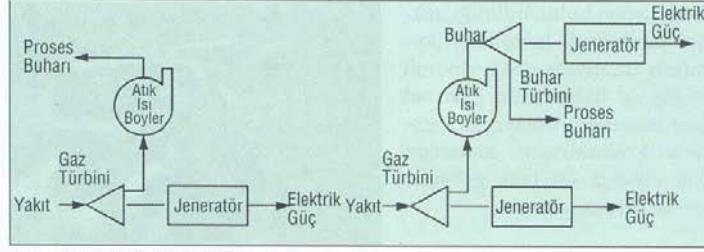
Şu anda kullanılan pek çok topping-cycle sistemi kömür, oil, gaz yada proses atık yakıtları ile kullanılmaktadırlar. Klasik buhar

türbinleri sistemi kömür, oil, doğalgaz yada artık yakıt kullanarak gaz türbin kojenerasyon sistemleri doğalgaz veya oil kullanılmaktadır. Artık oil ve kömür türevli gaz veya sıvı yakıtlar gibi daha bol yakıtlar kullanabilen yanma türbin sistemleri geliştirmek üzere yeni araştırmalar yapılmaktadır. Hükümetler topping-cycle kojenerasyon tesislerinde katı atık malzemelerin direkt yakılmasını teşvik etmektedirler.

İki topping-cycle sisteminde üretilen birim proses termal enerjisi başına çıkan güç seviyeleri arasında önemli bir fark vardır. Her iki sistem aşağıda tartışılmıştır.

### 3.1.1. Buhar Türbinli Kojenerasyonu

Buhar türbinli sistemleri genel olarak bir boyler ve back-pressure buhar türbininden oluşmuştur. Bu sistemde 600-1500 psig basınçlarda 750 ve 950 F° sıcaklıklar arasında boylerde buhar üretmek için fosil yakıtlar veya atık yakıtlar yakılır. Bu yüksek basınçlı buhar, bir rotoru döndürmek üzere buhar türbinine gönderilir. Türbin bir jeneratörü tahrik eder ve elektrik üretir. Türbinin terk eden düşük sıcaklık ve düşük basınçtaki buhar bir proses uygulamasında kullanılabilir. Back-pressure türbinin alternatifi olarak aynı tarzda çalışan, ancak endüstriyel bir proseste kullanmak için orta kademede farklı basınç ve sıcaklıklarda buhar çekilen Ekstraksiyon buhar türbinini de kullanılabilir. Türbinin son kademesinden çı-



(a) Atık Isı Boylerli Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemi  
Şekil 4. Gaz Türbinli

(b) Kombine Çevrim

kan buhar bir endüstriyel prosese yada yeniden kullanılmak için yoğunlaştırılarak boylere gönderilir.

Back-pressure türbinleri genelde, sadece proses buharı üreten klasik buhar türbinlerinden ve yalnız elektrik üreten güç tesislerinden %10-30 daha verimlidirler. Buhar türbinleri, gaz türbinleri yada dizel motorlarda üretilen birim güç başına daha az yakıtı ihtiyaç duyarlar. Ancak birim proses buharı başına diğer iki sistem kadar elektrik üretemezler. Örneğin; 1 milyon Btu proses buharı başına buhar türbiniyaklaşık 43 kWh elektrik üretirken, gaz türbinini 175 kWh elektrik üretir. Topping-cycle sistemlerde üretilen elektrik, türbine giren buhar basıncıyla orantılı olarak artar. Ayrıca buhar türbinli kullanmanın önemli



avantajı, kömür, doğalgaz, akar-yakıt gibi çok değişik yakıt türlerinin kullanılabilmesidir.

### 3.1.2. Atık Isı Kullanımlı Gaz Türbin Kojenerasyonu

Sıkıştırılmış havayı ve bir gaz yakıt (doğalgaz) veya sıvı bir petrol ürünü (distile oil) yakarak işleten atık ısı geri kazanımlı gaz türbinli bir topping-cycle sistemidir.

Yanarak genişleyen sıcak gazlar türbinin içinden geçerek bir rotoru döndürür. Gaz türbin rotoru bir jeneratöre bağlıdır ve elektrik üretir. Türbinden çıkan sıcak gazlar (yaklaşık 1000 °F) bir atık ısı boylerine girerek endüstriyel proses uygulaması ve alan ısıtması için buhar üretirler yada direkt olarak proses ısıtı uygulamasında kullanılırlar.

Gaz türbin topping-cycle sistemi, buhar türbinli topping-cycle sisteminden daha fazla yakıtı ihtiyaç duyar. Ancak gaz türbin sistemi, buhar türbin sisteminde birim proses buharı başına daha fazla elektrik gücü üretir. Kullanılan bazı gaz türbinleri çift yakıtlıdır. Hem doğalgaz hem de petrol türevlerini kullanabilirler.

Doğalgazın bulunabilirliği, teknolojideki hızlı gelişmeler, kurulum maliyetindeki önemli düşüş ve daha üstün çevresel performanstan dolayı, gaz türbinli kojenerasyon sistemleri son yıllarda en hızlı gelişime sahne olmuştur.

Öte yandan daha fazla elektrik gücü gerekli ise gaz türbini ve buhar türbininin bir birleşimi olan Kombine çevrimi kullanılabilir. Türbinin shaft çalışmasından üretilen elektrik ile fazla egzoz ısısını ilave elektrığe dönüştüren buhar çevriminin birleştirilmesinden oluşan birleşik çevrim ile sürülen doğalgaz türbini %60'a varan termal verimliliğe ulaşabilir. Yüksek verimlilikleri, maliyet ve doğalgazın elde edilebilirliği ile birleştiğinde, bu sistemleri modern elektrik alt yapısında önemli bir güç haline getirmiştir. Kombine çevrim sisteminin elektrik çıkışı 1 milyon Btu buhar başına 380 kWh'tır ve gaz türbin sistemlerindeki gibi yakıt değişkenliği sınırlıdır.

#### 4. Sonuç

Kojenerasyon sistemleri özellikle son 10 yılda temiz, verimli ve ekonomik olması nedeni ile en çok tercih edilen enerji üretimi olmuşlardır. Ayrıca, tüketim talebini karşılamak için yakın, küçük ve modüler üretim düzenlerinin geliştirilmesiyle, mevcut üretim ve iletim alt yapısının yerini, dağıtılmış üretim yöntemleri almaya başlamıştır.

Kojenerasyon sistemleri ile elektrik üretiminin, ihtiyaç olan



yerde ve zamanda yapılması verimliliği en üst seviyeye getirmektedir. Böylelikle elektrik enerjisinin taşınmasından kaynaklanan kayıplar en aza indirilirken, depolanamayan bir enerji olan elektrik üretiminin de talepteki dalgalanmalardan etkilenmesi azalmaktadır. Kullanıcı ucuz ve kaliteli sabit gerilim, frekans, kesintisiz elektrik kullanımından yararlanırken atık gaz ile ısıtma ve soğutma yaparak bu sistemden kazancını daha da artırmaktadır.

Ülkemizde beklenen enerji krizi ve şebekedeki elektrığın kalite problemleri göz önünde tutulduğunda, kojenerasyon sistemlerinde enerji kaybının minimuma yakın olması dolayısıyla daha fazla enerji veriminin elde edilmesi, çevreye zararsız enerji üretim sistemi olması gibi avantajları nedeniyle daha geniş bir kullanım alanı bulacağı muhakkaktır.

#### Kaynaklar

[1] Güzel, B.: "Kojenerasyon Sistemleri ve Topkapı Şişe San. A.Ş.'den Elektrik Üretilmesi", I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,

Yüksek Lisans Tezi, Haziran, (1997).

[2] Türkiye Kojenerasyon Derneği: "Kojenerasyon Nedir?", <http://www.kojenerasyon.com/> (Erişim Tarihi: Eylül 2003).

[3] KaleKalıp: "Kojenerasyon Sistemleri", [http://www.kalekalip.com.tr/urunlerimiz/kojenereasyon\\_sistemleri.asp](http://www.kalekalip.com.tr/urunlerimiz/kojenereasyon_sistemleri.asp) (Erişim Tarihi: Eylül 2003).

[4] Manning, K.: "Opportunity for Cogeneration", ASHRAE Technology Award Case Study, (1996).

[5] Limaye, D. R.: "Planning Cogeneration Systems", The Fairmont Press, Atlanta, (1992).

[6] Ağabay, Ö.: "Kojenerasyon Teknolojileri", Energy With All Aspects in 21.St Century Symposium, April 28-30, İstanbul, (1994).

[7] Özgürel, B.; Şahin S.: "Kojenerasyon (Kombine ısı ve Güç Üretimi)", Energy With All Aspects in 21.St Century Symposium, April 28-30, İstanbul, (1994).

[8] Genç, Ö.; Sakarya, C.; Yıldız, O.: "Elektrik Enerjisi Üretiminde Kojenerasyon Teknolojisi", Endüstri&Otomasyon Aylık Elektrik, Elektronik, Makina, Bilgisayar ve Kontrol Sistemleri Dergisi, Sayı: 69, İstanbul, (Aralık 2002).

[9] Fidancı, A. A.: "Dünyada Öncü Trijenerasyon Uygulaması", Termodinamik Aylık Dergi, İstanbul, (Şubat 2003).

[10] İnalı, M.; Yücel, H. L.; Işık, E.: "Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği", Mühendis ve Makina Aylık Dergi, Sayı: 506, İstanbul, (Mart 2002).