

# DOĞALGAZ YAKITLI KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARI

Bülent ÖZGÜREL - M. Sinan EGELİ

Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş. Santrallar Proje ve Tesis Dairesi

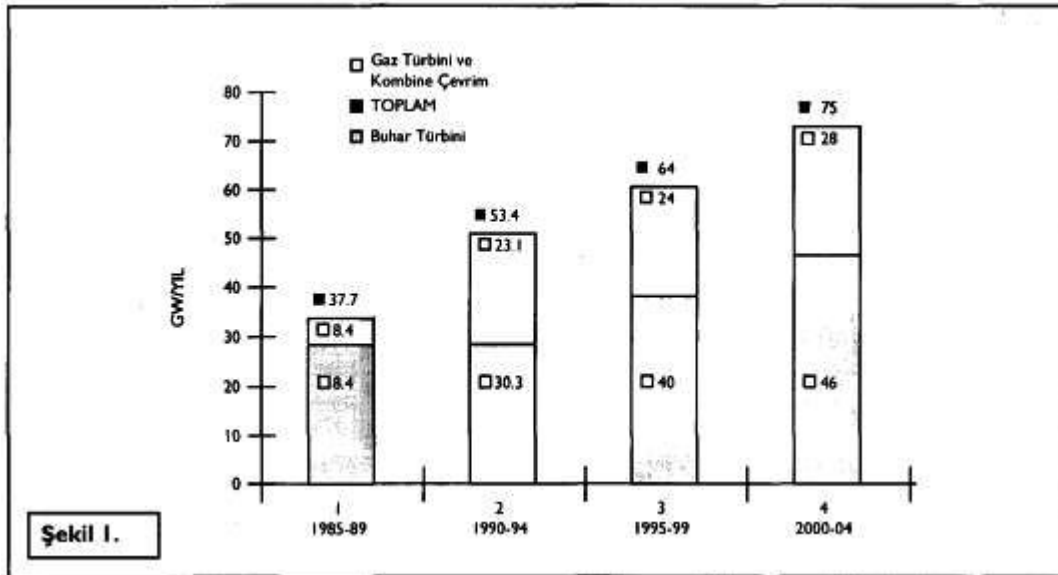
## ÖZET

Fosil yakıtlar, dünya enerji üretiminde kullanılan en önemli kaynak olmak özelliğini halen korumaktadır. Ancak fosil yakıtlı konvansiyonel santrallarda yanına ürünü olarak oluşan zararlı atıkların yol açtığı çevre kirliliği ve global ısınma gibi olumsuzluklar, enerji üretiminde çevresel etkileri de dikkate alan yeni arayışları gündeme getirmiştir. Gaz türbin teknolojisindeki gelişmeler neticesinde % 55 gibi yüksek bir verimliliğe ulaşan doğal gaz yakıtlı kombine çevrim santralleri; fosil yakıtlı santraller içinde en yüksek verime ulaşması, CCh atımının diğer konvansiyonel santrallara göre daha az olması, NOx emisyonunun limitlerin çok altına düşürülmesi ve çevreye olumsuz etkilerinin çok az olması nedenleriyle son yıllarda dünyada en çok tercih edilen enerji üretim sistemi konumuna gelmiştir.

## 1. GİRİŞ

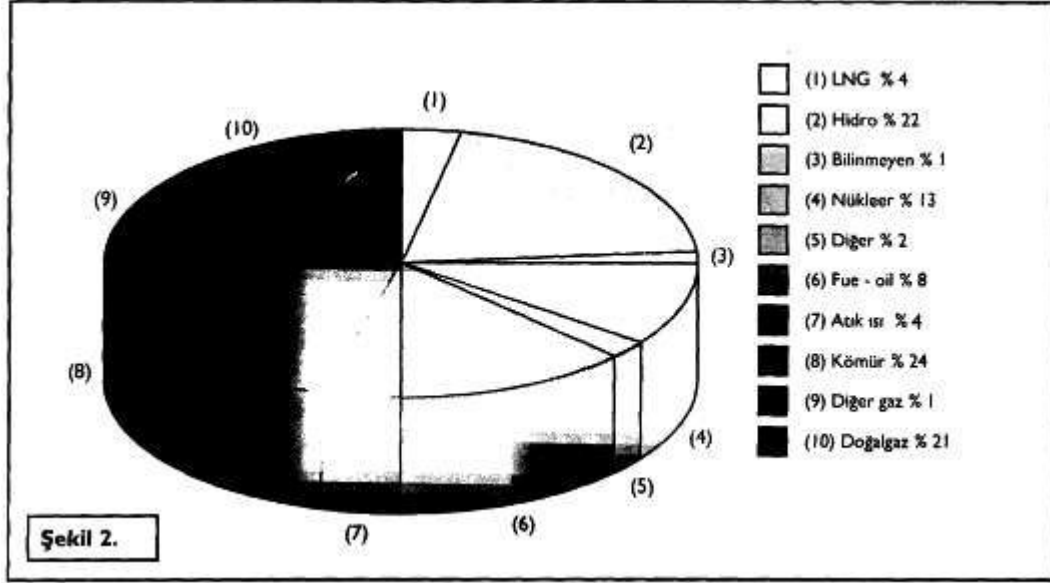
Elektrik enerjisi üretiminde, nükleer, hidro ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının günden güne daha da artmasına karşın, halihazırda dünya elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık % 65'lik kısmını karşılayan fosil yakıtlı termik santrallerde de hızlı bir artış görülmektedir. Aşağıda şekil 1'den de görüleceği üzere dünyada 1985-1989 yıllarında fosil yakıtlara dayalı toplam 37700 MW gücünde santral sipariş edilmişken, bu miktar yılda yaklaşık % 7.2 artışla 1990-1994 döneminde 53400 MW'a ulaşmıştır. Dünyadaki elektrik tüketiminin 1995-2010 yılları arasında % 60 oranında artacağı tahmin edilmekte olup; 1995-1999 döneminde yıllık % 3.7'lik bir artışla toplam 64000 MW, 2000-2004 döneminde ise yılda % 3. artışla toplam 75000 MW kurulu gücünde yeni fosil yakıtlı santrallerin sipariş edilmesi beklenmektedir.

Şekil 1'de belirtilen Gaz türbini ve Kombine Çevrim değerleri içinde, kombine çevrim olarak sipariş edilmiş olan santrallerin toplam kurulu gücü 1985-1989 döneminde toplam 47 00 MW iken, bu miktar 1990-1994 döneminde 19 500 MW olmuştur. Yeni tesis edilecek kombine çevrimlerin 1995-1999 döneminde 12000 MW'a 2000-2004 döneminde ise 28000 MW'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Görüleceği üzere 1989 yılı itibariye kombine çevrim santralleri, fosil yakıtlı santraller içinde yaklaşık % 12.5 oranında bir yer tutmakta iken, 2000 yılına girerken bu oran % 37 mertebesine ulaşacaktır. Bu oranın artmasında en önemli etken ise kombine çevrimlerde elde edilen yüksek termik verim olmaktadır.



Verim artışı bir yandan CO2 emisyonunu daha da azaltmakta bir yandan da yakıt tüketiminde büyük tasarruf sağlamaktadır. Örneğin 3.75 US\$/Giga Joule yakıt fiyatına göre 350 MW'lık bir kombine çevrim santralinde termik verimdeki % 1'lik bir artış yaklaşık olarak 6.3 milyon US\$'lık bir bedele tekabül etmekte, bu ise toplam yatırım bedeli içinde % 4.5'lük bir yer tutmaktadır. Siemens firması tarafından yapılan bir çalışmaya göre,

santral veriminin % 55'ten % 57'ye çıkarılmasıyla 350 MW'lık üç bloktan oluşan bir kombine çevrim santralında 20 yıllık bir işletme sürecinde elde edilen kazanç yaklaşık 81 milyon US\$ olmaktadır. Bu ise toplam ilk yatırım bedelinin % 20'sine tekabül etmektedir.



UDI/MeGravv-Hill tarafından yapılan bir çalışmada ise (World Drectory of New Electric Power Plants). 1993-2002 yılları arasında dünya enerji üretim kapasitesine tüm yakıtlar itibariye gelecek toplam ilave kapasitenin % 26'sının gaz yakıtlı enerji üretim tesisleri olacağı belirtilmekte ve toplam kapasite içinde doğalgaz yakıtlı santrallara 113927 MW, LNG yakıtlı santrallara 21755 MW ve diğer gaz yakıtlı santrallara ise 4212 MW'lık bir pay ayrılmaktadır.

Gaz yakıtlı enerji üretim tesislerinde görülen bu büyük artışın bir diğer önemli nedeni ise, son yıllarda çevre sorunlarının kritik boyutlara ulaşması ve çevreye verilen önemin artmasıdır. Bu nedenle, elektrik enerjisi üretiminde daha az yakıt tüketimiyle yakıt rezervlerinin en ekonomik şekilde kullanımını sağlayacak ve dolayısıyla daha az çevre zararıyla elektrik üretecek yeni teknolojiler geliştirilmeye başlamıştır.

Bu anlamda kombine çevrim santralleri günümüzde en yaygın tesis edilen ve son yıllarda en çok tercih edilen baz yük santralleri durumuna gelmiştir.

## 2. KOMBİNE ÇEVİRİMİN TANIMI

Kombine Çevrim terimi, esas itibariyle gaz türbin çevrimi ve buhar çevriminin bir sistem içine alınarak birbirini tamamlayıcı şekilde çalıştırılmasını ifade etmekte olup, genel prensibi gaz türbin çevriminden çıkan egzost gazlarının yüksek dereceli ısısının su/ buhar çevriminde kullanılarak ek bir enerji üretiminin sağlanmasına dayanmaktadır. Kombine çevrimlerde birincil olarak elektrik üretimi sağlanmakla birlikte, istenirse çevrimden ara buhar alınarak santral, birleşik ısı-güç (cogeneration) sistemi olarak da çalıştırılabilir. Bu özelliği ile kombine çevrimler, ısı-güç üretiminde günümüzde varolan en verimli yöntem konumundadır.

Genel olarak kombine çevrimin çalışma prensibi şöyle özetlenebilir:

Atmosferden alınan hava, bir filtre sisteminden geçirildikten sonra gaz türbinin kompresör kısmına girer ve burada sıkıştırılarak yanına odasına iletilir. Yanma odasına püskürtülerek verilen yakıt da bu sıkıştırılmış hava ile karışarak yanar. Yanma sonucu oluşan 1000-1100 °C sıcaklığındaki atık gazlar bir egzost kanalıyla atık ısı kazanına iletilir. Egzost gazlarını burada su/buhar çevrimine transfer ederek soğur ve daha sonra kazan basıncından atmosfere atılırlar.

Atık ısı kazanlarında, genel olarak üç ayrı ısı eşanjör bölümü bulunur. Su/buhar çevriminde, su/ kondensat ilk önce kazanın ekonomize bölümüne girer ve doyma sıcaklığının çok az altında bir sıcaklığa kadar ısıtılır, daha sonra evaporatör bölümünde buhar haline dönüşür ve bu doymuş buhar kızdırıcı bölümünde tekrar ısıtılarak kızgın buhar olarak türbinine verilir. Yukarıda tek basınç kademeli bir kazan/buhar türbini grubu için su/buhar çevrimi basit olarak izah edilmiştir. Ancak, kazan/buhar türbini gruplarının tekrar kızdırmalı veya tekrar kızdırmaz, iki ya da üç basınç kademeli olmaları durumunda; ekonomizör, evaporatör ve kızdırıcı bölümleri de her bir basınç kademesi için kazan içinde ayrı ayrı yer alırlar ve bu basınç kademelerine bağlı olarak su/buhar çevrimi de kendi içinde ayrı çevrimler oluşturur.

Atık ısı kazanında üretilerek türbine verilen buhar, türbin kademelerinde genişler ve böylece termik enerji

mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur. Türbinin tahrik edilmesiyle de türbine bağlı genaratörden elektrik enerjisi üretilir.

Buhar türbininden çıkan düşük basınç ve sıcaklıktaki buhar kondensere gelir ve burada soğutma sistemi vasıtasıyla yoğuşturularak su haline dönüşür. Daha sonra kondensat pompaları ile, içlerindeki yoğuşmamış gazların alınması için degzör/besleme suyu tankına gönderilir. Su, besleme suyu tankından besleme suyu pompaları ile tekrar atık ısı kazanına basılır. Bu şekilde su/buhar kapalı çevrimi; kazan, buhar türbini ve kondenser arasında sirküle eder.

### 3. KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARININ AVANTAJLARI

Kombine çevrimin en büyük avantajı, fosil yakıtlı santraller içinde en yüksek verime sahip olmasıdır. Günümüzde, 20 MW'ın üstüne güçlere haiz gaz türbinlerine dayalı tekrar kızdırmalı ve üç basınç kademeli kombine çevrimlerde net % 55 civarında verime ulaşılmıştır.

Tablo 1'den de görüleceği üzere, kombine çevrimlerde ulaşılan verimler, süper kritik basınçlı tekrar kızdırmalı buhar türbin verimlerinden de yüksektir.

Tablo 1	
ÜNİTE	NET VERİM ISO LVH (%)
Gaz Türbini (Doğalgaz yakıtlı-Türbin giriş sıcaklığı: 1042°C (Ambarlı 5'notu GT ünitesi performans değeri 1989)	33.9
Buhar Türbini (Buhar şartları : 60 bar/530 °C)	34
Buhar Türbini (Buhar şartları : 120 bar/530 °C)	37
Tekrar Kızdırmalı Buhar Türbini (190 bar /530 °C/530 °C)	41
Süper Kritik Basınçlı-Tekrar Kızdırmalı Buhar Türbini (254 bar/541°C/569°C) (20x80 MW Shidongkou TS/Çin-Performans değeri 1992)	42
Akışkan Yataklı Kombine Çevrim Santrali (140 bar/540°C/540°C) (2x80 MW GT + 573 MW BT-GT giriş sıcaklığı: 830°C)	44.1
Kömür-gaz Kombine Çevrim Santrali (110 bar/520°C/520°C) (KoBra 300 MW Demonstrasyon Santrali-Goldenberg/GRG)	45
İki Basınç Kademeli-Tekrar Kızdırmalı Kombine Çevrim (Ambarlı K.Ç.Santrali I. Blok Performans değeri-1991)	52.5
Üç Basınç Kademeli-Tekrar Kızdırmalı Kombine Çevrim (1400 MW Bursa Kombine Çevrim Santrali Garanti Değeri)	55 (ISO)

Yüksek veriminin dışında kombine çevrim santrallerinin daha birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi de kombine çevrimlerin birçok değişik alana hizmet verebilecek esnekliğe sahip olmasıdır. Kombine çevrim santrallerinde yalnızca elektrik üretimi yapılabildiği gibi, aynı zamanda ister kazandan isterse buhar türbinden alınacak ara buharın bölgesel ısıtmada ya da prosesde kullanılmasıyla santral, % 85-90 civarında bir ısı verimliliği ile ve birleşik ısı-güç (cogeneration) sistemi olarak da hizmet verebilir.

Kombine çevrimlerde doğal gazın her çeşidi, ham pertolden motorin ve fuel-oil'e kadar tüm likit yakıtlar ile gazlaştırma yöntemi ile kömür dahil olmak üzere çok geniş bir yakıt kullanım olanağı mevcuttur. Ayrıca istendiği takdirde gaz türbin brülörleri çift yakıt yakabilecek şekilde de dizayn edilmektedir. Örneğin Ambarlı Kombine Çevrim Santralında doğalgazın yanı sıra gerektiğinde fuel-oil de kullanılabilir.

Kombine çevrim santrallerinin soğutma suyu ihtiyacı diğer konvansiyonel tip santrallerden daha azdır. Zira kombine çevrimlerde toplam elektrik üretiminin yalnızca üçte bir mertebesindeki kısmı buhar türbinlerince yapılmaktadır. Bu nedenle sistemle ilgili masraflar ve çevreye yapılan ısı deşarjı da dahil olmak üzere soğutma suyu ile ilgili bir çok sorun büyük ölçüde azaltılmış olmaktadır.

Kombine Çevrim santrallerinin tercih edilme nedenlerinden biri de ekonomik olmasıdır. Zira herhangi bir kazan/buhar türbin ünitesine göre birim (kW) yatırım maliyetleri daha azdır. Örneğin 1400 MW'lık bir kombine çevrim santralının yaklaşık birim yatırım maliyeti 1995 yılı fiyatları ile 350-400 US\$/kW iken, 320 MW'lık konvansiyonel bir termik santralin baca gazı arıtma sistemi dahil birim yatırım maliyeti 1200-1500 US\$/kW civarındadır.

Ayrıca % 55 civarındaki yüksek verimi nedeniyle, yakıt fiyatlarına göre değişkenlik göstermesine karşın genel anlamda konvansiyonel buhar santrallerine göre kombine çevrim santrallerinin birim üretim (kWh) maliyeti

daha azdır. Örneğin, birim fiyatı 12,46 US\$7106 kcal olan doğalgaz kullanan 700 MW gücünde % 55 verimli bir kombine çevrim santralında üretim maliyeti yaklaşık 3 cent/kWh olurken, birim fiyatı 6,92 US\$7106 kcal olan linyit kullanan 2x340 MW gücünde % 35.5 verimli konvansiyonel bir termik santralde üretim maliyeti 4,27 cent/kWh olmaktadır.

Kombine çevrim santrallarının verimlerinin yanı sıra emre amadelik ve güvenilirlik oranları da yüksektir.

Gerek verim ve üretim kapasitesinin, gerekse emre amadelik ve güvenilirlik oranlarının yüksek olması nedeniyle toplam yatırımın geri ödeme süresi de çok kısa olmaktadır. 1993 yılında yaptığımız bir fizibilite çalışmasında % 100 kredili olarak tesis edilecek ve yılda 7000 saat çalışacak bir kombine çevrim santralının geri ödeme süresi 30 ay olarak bulunmuştur.

Kombine çevrim santrallarının en önemli avantajlarından birisi de konuya çevresel açıdan bakıldığında ortaya çıkmaktadır. Günümüzde çevreye verilen önemin büyük ölçüde artmış olması ve bu nedenle zararlı madde emisyonları ile ilgili limit değerlerin oldukça düşük seviyelere çekilmesi sonucunda kombine çevrim teknolojileri büyük rağbet görmeye başlamıştır. Doğalgaz yakıtlı bir kombine çevrim santrali bir kömür yakıtlı bir buhar santrali için Tablo-2'de gösterilen emisyon değerleri, kombine çevrim santrallarının önemini bu anlamda daha açık olarak ortaya koymaktadır.

<b>Tablo 2</b>		
	<b>600 MW Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santrali</b>	<b>600 MW Kömür Yakıtlı Buhar Santrali</b>
Verim (%)	53	42
CO <sub>2</sub> (g/kWh)	375	830
NO <sub>2</sub> (mg/kWh)	125-300	600
CO (mg/kWh)	33	75
SO <sub>2</sub> (mg/kWh)	-	600

(Kaynak: Siemens Power Journal-4/93)

Bunların yanı sıra özellikle ilave yanmasız kombine çevrim santralları ele alındığında diğer avantajlar da şöyle özetlenebilir;

- Konvansiyonel termik santrallara göre tesis süresi daha kısa ve modüler yapısı daha basit olan kombine çevrim santrallarının işletmesi daha kolaydır. Bundan dolayı işletme personeli ihtiyacı daha az olmaktadır.
- Santralin bütünü ihtiyaç duyulan alan konvansiyonel termik santrallardan daha küçüktür. Örneğin kül stok sahası hariç santral ana yapıları, salt sahası ve kömür park sahası için 4x340 MW'lık Afşin-Elbistan Santralına yaklaşık 120 hektar bir alan kullanılırken, 3x450 MW'lık Ambarlı Kombine Çevrim Santralının ana yapılar ve salt sahası yerleşim alanı, fuel-oil arıtma sistemi dahil yalnızca 23 hektardır.
- Gaz türbin üniteleri ile atık ısı kazanları arasına by-pass bacası ve damperlerinin konulması durumunda gaz türbinlerinin, kazan ve buhar türbi ünitelerinin tamamlanmasını beklemeden çok kısa sürede işlemeye alınabilmesi ve kombine çevrim grubunun devreye alınmasına adar sürekli basit çevrimde çalıştırılabilme olanağı mevcuttur. Örneğin, Ambarlı Kombine Çevrim Santralının ilk iki gaz türbin ünitesi sözleşmenin yürürlüğe girmesinden 8 ay sonra devreye alınmıştır.
- Gaz türbinlerinin 15-20 dakikada tam yüke ulaşabilmeleri neticesinde kombine çevrim santrallarının çabuk devreye alınması mümkün olmaktadır.
- Küçük yerleşim alanı ihtiyacı nedeniyle istenirse şehir yük merkezlerinin çok yakınında kurulabilme olanağı vardır.
- Gerek yüksek verimi ve ekonomikliği gerekse çevreye dost özelliği ile doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallarını günümüzde en çok tercih edilen fosil yakıtlı santral konumuna gelmiştir. Örneğin ABD'de 1990-2000 yılları arasında toplam 21500 MW kömür yakıtlı santral kurulması planlanmış iken, aynı dönemde çoğu kombine çevrim ve birleşik ısı-güç (cogeneration) santrali olmak üzere kurulması planlanan toplam doğalgaz yakıtlı santral 52200 MW civarındadır. 2000 yılına kadar kurulması planlanan doğalgaz yakıtlı santrallarını toplam kurulu gücü, bu an yıllık dönem için tahmin edilen 44800 MW'lık kapasitenin % 17 üzerinde olmaktadır (Modern Power Systems-May 1993).

Shell firması tarafından İngiltere ve Galler için yapılan bir çalışmaya göre de bu ülkelerde 2003 yılına kadar ihtiyaç duyulan toplam ilve kurulu güç kapasitesi yaklaşık 20000 MW'dır.

Bu dönem içinde kömür yakıtlı santrallerin çoğu ve bir kaç nükleer santral ile bir tane çift yakıtlı santral kapatılacak ve 2000 yılına kadar 10000 M W, 2003 yılına kadar da toplam 20000 MW doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali kurulacaktır (Brain W. Gaineve. Shell Ltd. Gas Pojer 92 Conference-London).

Yukarıda bahsedilen avantajları nedeniyle bir yandan dünyanın bir çok ülkesinde yeni kombine çevrim santralleri kurulurken bir yandan da konvansiyonel termik santraller çeşitli uygulamalarla kombine çevrim haline dönüştürülmektedir. Bu tip dönüşüm uygulamaları ve belli başlı kombine çevrim sistemleri aşağıda özetle anlatılmıştır.

#### **4. KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARI UYGULAMALARI**

Kombine Çevrim santrallerinin aşağıdaki üç ana grupta uygulamaları mümkündür.

- İlave yanmasız kombine çevrim
- Tam yanmalı kombine çevrim
- Paralel-güç üniteli kombine çevrim

Bu üç uygulama şekline birinin seçilmesi tamamen yakıtın mevcudiyeti ile mevcut bir santralin iyileştirilmesi veya yeni bir santralin kurulması durumları için planlama çalışmalarına bağlı olacaktır.

##### **4.1. İlave Yanmasız Kombine Çevrim Santralleri**

###### **(Unfred Combined Cyde Power Plants)**

İlave yanması/, kombine çevrim santrallerinde, yanma tamamen gaz türbininde olur ve türbinin egzost gazı bir atık ısı kazanına gönderilir. Basit konveksiyon tip ısı eşanjörleri olan alık ısı kazanlarında ise, herhangi ilave bir yakıt yakılmadan sadece gaz türbinin egzost gazlarının yüksek ısısından yararlanılmak suretiyle buhar elde edilir. Genel olarak gaz türbinleri ile aynı sayıdaki atık ısı kazanları, buhar kapasitesine bağlı olarak bir veya daha çok buhar türbinine bağlanır.

Bu tip kombine çevrim santrallerinin da buhar çevrimi, "iki basınç kademeli/tekrar kızdırmaz" veya " üç basınç kademeli/tekrar kızdırmalı" şeklinde olmaktadır. İki basınç kademeli kombine çevrimler, basit tekrar kızdırmaz buhar çevrimleri olmasına karşın oldukça iyi bir termik performans göstermektedirler. Ülkemizde doğalgaz ile çalışan bu tipte iki kombine çevrim santrali bulunmaktadır.

Hamidabat (Lüleburgaz)'da kurulmuş olan 1200 MW Trakya Doğalgaz Kombine Çevrim Santralının 2+2+1 konfigürasyonundaki dört kombine çevrim bloğunda toplam 8 adet gaz türbin ünitesi, 8 adet atık ısı kazanı ve 4 adet buhar türbin ünitesi bulunmaktadır. Gaz türbinlerinin nominal kapasitesi 95 MW, buhar türbinlerinin nominal kapasitesi ise 110 MW'dir. Santralin ilk gaz türbin ünitesi, sözleşmenin yürürlüğe girmesinden 12 ay sonra Aralık 1985 tarihinde işletmeye alınmıştır. İlk kombine çevrim bloğu sözleşmenin yürürlüğe girmesinden 29 ay sonra işletmeye alınan santralda yapılan performans testlerinde elde edilen en düşük verim % 50,23 ve en yüksek verim ise % 52,20 olmuştur.

İstanbul'un 40 km batısında kurulmuş olan 1350 MW Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santralının yine 2+2+1 konfigürasyonundaki üç kombine çevrim bloğunda ise toplam 6 adet gaz türbin ünitesi, 6 adet atık ısı kazanı ve 3 adet buhar türbin ünitesi bulunmaktadır. Gaz türbinlerinin kapasitesi 138.80 MW, buhar türbinlerinin nominal kapasitesi ise 17.40 MW'dir. Santralin iki gaz türbin ünitesi sözleşmenin yürürlüğe girmesinden sekiz ay sonra Ağustos 1988 tarihinde paralele alınmışlardır. İlk kombine çevrim bloğunun orijinal tesis süresi 26 ay olan santralda yapılan performans testlerinde elde edilen en düşük verim % 52, en yüksek verim ise % 52.50 olmuştur.

TEAŞ Genel Müdürlüğü tarafından Bursa'da tesis edilecek olan 1400 MW gücündeki yeni kombine çevrim santralında ise; her birinde 200 MW'ın üzerinde güçlere haiz iki gaz türbinini ile bir buhar türbinini bulunan 700 MW'lık iki blok olacaktır. "F" tipi olarak adlandırılan ve günümüzde ticari işletmeye alınmış en gelişmiş gaz türbinlerinin kullanılacağı santralin atık ısı kazanları/buhar türbinini grubu, "üç basınç kademeli/tekrar kızdırmalı" olacak ve böylece net verim % 55 mertebesine yükseltilecektir.

Ayrıca, düz-buhar çevrimli yada düz-gaz çevrimli termik santralleri da, mevcut buhar türbin ünitelerine gaz türbinleri veya mevcut gaz türbinlerine buhar türbinleri eklenmesiyle, ilave yanmasız kombine çevrim santralına dönüştürülecek daha yüksek verim ve çıkış güçlerine ulaşabilir.

##### **4.1.1. Buhar Türbinlerine Gaz Türbinleri İlavesi İle Güç ve Verim Artırımı**

###### **(Full epowvering of Steam Tuurbines with Gas Turbines)**

Bu sistemde; mevcut santralin buhar türbininin orijinal veya bazı değişikliklerle revize edilmiş buhar parametrelerine cevap verebilecek yeni atık ısı kazanları, buhar kazanları ile değiştirilir ve atık ısı kazanları ile aynı sayıda gaz türbinini sisteme ilave edilir. Bu dönüşüm özellikle buhar türbinlerinin hizmet ömrünün kömür

yakıtlı kazanlardan daha uzun olması nedeniyle uygulanabilir olmaktadır.

Bu şekilde santral veriminin % 37-38 seviyelerinden yaklaşık % 50 gibi oldukça yüksek bir seviyeye çıkarılmasının yanı sıra; kombine çevrim sistemlerinde takribi 60;40, 65;35 mertebelerinde olan gaz türbini/buhar türbini kapasite oranları dikkate alındığında santral toplam kapasitesi de iki hatta üç kat artırılmış olmaktadır.

#### **4.1.2. Gaz Türbinlerinde Buhar Türbini İlavesi İle Güç ve Verim Artırımı**

##### **(Adding on Steam Turbines to Gas Turbines)**

Basit çevrimde çalışan mevcut gaz türbin üniteleri, atık ısı kazanı ve buhar türbini ilavesiyle kombine çevrim santralına dönüştürülebilir. Bu durumda gaz türbini egzosunun ısısı tümüyle atık ısı kazanında kullanılacağından dolayı mümkün olan en yüksek verim elde edilmiş ve santral kapasitesi de yakıt tüketimi artırılmaksızın en az % 50 oranında yükseltilmiş olacaktır.

Bu tip bir uygulama 1975-1976 yıllarında işletmeye alınmış olan İzmir-Aliağa Gaz Türbinlerinde yapılmış ve mazotla çalışan her biri 30 MW'lık dört gaz türbin ünitesine 1980-1983 yıllarında aynı sayıda atık ısı kazanı ve her biri 30 MW'lık iki buhar türbin ünitesi ilave edilerek santral verimi yaklaşık % 28 mertebesinden % 44 mertebesine yükseltilmiştir.

#### **4.2. Tam Yanmalı Kombine Çevrim Santralları**

##### **(Fully Fired Combustion Cycle Power Plants)**

Bu tip santrallar 1960'lı yılların ortasından 1970'lı yılların sonuna kadar Orta Avrupa'daki elektrik üretim tesislerinde bugünün şartlarına göre daha düşük giriş ve egzost sıcaklıklarına sahip gaz türbinlerinden oluşan ünitelerin verimini yükseltmek amacıyla yaygın olarak uygulanmıştır.

Tam yanmalı kombine çevrimlerde gaz türbini egzostu, cebri çekiş fanları tarafından atmosferden alınan hava ile karışarak, buhar kazanlarında ana yakıtın (genellikle kömür) yakılmasında gereken yanma havasının ön-ısıtmasını sağlar. Bu işlem ile tam bir yanma sağlanmış olmaktadır. Zira gerek atmosferden alınan havadaki, gerekse gaz türbin egzostundaki hemen hemen tüm oksijen ana yakıtın yakılmasında kullanılmakta yalnızca % 3-5 mertebesinde bir oksijen miktarı baca gazı ile atılmaktadır. Böylece NOx konsantrasyonu da daha düşük bir seviyeye çekilmektedir.

Ayrıca herhangi bir konvansiyonel buhar kazan/ türbin ünitesinin gaz türbin üniteler ilavesi (topping) ile tam yanmalı kombine çevrim santralına dönüştürülmesi mümkündür. Bu durumda gaz türbin egzostu ve ilave fanlarla alınan hava kazanlarda kullanılacağından mevcut ünitenin ön ısıtıcılarının ve cebri çekiş fanlarının kaldırılması gerekmektedir.

#### **4.3. Paralel-Güç Üniteli Kombine Çevrim Santralları**

##### **(Parallel-Power Combined Cycle Power Plants)**

Paralel güç üniteli kombine çevrim santrallarında buhar türbinleri iki ayrı bağımsız güç kaynağından beslenmektedir.

Genellikle ana kaynak konvansiyonel bir buhar kazanı, ikinci kaynak ise gaz türbinin bağlı bir atık ısı kazanı olmaktadır. Bu manada paralel-güç üniteli kombine çevrim, tam yanmalı çevrim ile ilave yakıtlı çevrimin birleşimi olarak da düşünülebilir.

Bu sistemde gaz türbini egzost gazı, üniteye bağlı atık ısı kazanına verilir, diğer buhar kazanında yakıtın yanmasına destek amaçlı olarak kullanılmaz. Sistemin en büyük avantajı; dizayn, yakıt ve işletme yönünden sağlam esnekliktir. Gaz türbini ve buhar türbini kapasiteleri ile buna bağlı olarak gaz veya likit yakıtların katı yakıtlara oranı serbestçe tayin edilebilmektedir. Bununla birlikte, kömür yakıtlı kazanın baca gazı emisyonlarının kabul edilebilir limitlerin altına çekilebilmesi için arıtma tesislerine de ihtiyaç duyulabilir.

Mevcut buhar türbin üniteleri de iki ayrı yöntemle paralel-güç üniteli kombine çevrim santrallarına dönüştürülebilir. Birinci yöntemde (paralel-repowering), üniteye gaz türbini ve atık ısı kazanı ilave edilerek buradan elde edilen buhar ile mevcut kazandan elde edilen buharın takviye edilmesi neticesinde buhar türbininin tam kapasitede kullanılması sağlanabilir.

Genelde buhar kazanlarının hizmet ömrünün buhar türbinlerinden daha kısa olması nedeniyle zamanla kazanların daha düşük yükte çalışmalarının zorunlu hale gelmesi durumunda bu sistem uygulanabilir olmaktadır.

İkinci yöntemde (boosting) ise, üniteye eklenen gaz türbini ve atık ısı kazanı yalnızca mevcut sistemin kondensat ve/veya besleme suyu ısıtılmasında kullanılır. Böylece hem santral verimi hem de çıkış gücü yükseltilmiş olur.

## 5. VERİMİN YÜKSELTİLMESİ İLE ZARARLI MADDE EMİSYONUNUN AZALTIKMASI

Yukarıda izah edilen tüm kombine çevrim konfigürasyonlarının en önemli hedeflerinden birisi de verimin yükseltilerek zararlı madde emisyonlarının azaltılmasıdır. Gaz yakıtlı bir kombine çevrim santralında elde edilen verim, aynı yakıtı kullanan tekrar kızdırmalı bir buhar santralından en az % 8 daha yüksek olmaktadır. Ulaşılan yüksek verim sayesinde kombine çevrim santrallerinde zararlı madde emisyonu bu tip termik santrallara göre % 15 daha az olmaktadır.

### 5.1. CO2 Emisyonu

Her ne kadar karbondioksitin, azot oksitler ve kükürdioksitler gibi havayı kirleten bir etkisi olmasa da, sera etkisi yaratması nedeniyle santrallerdeki CO2 emisyonunun asgariye indirilmesi bir zorunluluk olmaktadır. Elektrik santrallerinde net verimin yükseltilmesi yani yakıttaki kimyasal enerjinin en yüksek oranda elektrik enerjisine dönüştürülmesi CO2 miktarının azaltılmasındaki en etkin yöntemdir.

Kömür yakan termik santrallerde doğalgaz kullanan kombine çevrim santrallerine oranla yaklaşık iki kat daha fazla CO2 emisyonu olurken, bu değer % 44 verimli modern bir buhar santralında 800 gr/Wh olmaktadır.

### 5.2. NOx Emisyonu

Gaz türbini egzostunda azot oksitler iki şekilde meydana gelmektedir.

Bazı NOx bileşimleri, yakıtta bulunan organik azot bileşimlerinin oksidasyonu neticesinde (yakıttaki NOx) oluşurken, diğer NOx bileşimleri de yanma havasındaki azot ve oksijenin yakıcı alevindeki yüksek sıcaklık nedeniyle reaksiyona girmeleri neticesinde (termik NOx) ortaya çıkarlar.

Doğalgazdaki azot bileşimleri normalde çok az olduğu için yakıttaki NOx oluşumu ihmal edilecek miktardadır. Termik NOx oluşumu ise yakıcı alevindeki sıcaklığın yükselmesine bağlı olup, ancak alevin yüksek-sıcaklık bölgesinin azaltılması ile düşürülebilir. Alev sıcaklığı genelde su veya azot gibi katkıların yakıtı ilavesiyle düşürülebildiği gibi direkt olarak aleve püskürtülmeleriyle de azaltılabilir. Ayrıca, aleve buhar veya suyun püskürtüldüğü "ıslak metod" ile de oldukça tatmin edici sonuçlar alınmaktadır.

Ambarlı Kombine Çevrim Santralında ise kullanılan özel yakıcılar (Hybrid Burners) sayesinde NOx emisyonu 30 ppm (% 15 Ox'de) civarında tutulabilmektedir. Premix yanma olarak adlandırılan bu yöntemde, yanmadan önce yakıt büyük miktarda hava ile karıştırılmakta ve böylece alev sıcaklığı 1400°C'in altına indirilmektedir. Bu yöntem ile termik NOx emisyon değeri, hava kirliliği kontrol yönetmeliklerindeki limitlerin çok altında bir seviyeye çekilmektedir.

Bursa Kombine Çevrim Santrali için garanti edilen NOx emisyonu ise 25 ppm (50 mg/m1) olacaktır.

### 5.3. Yanmamış Hidrokarbon ve CO Emisyonu

Ambarlı Kombine Çevrim Santralında da mevcut olan özel tip brülörler ile elde edilen % 99,99'luk bir yakma verimi neticesinde yanmamış hidrokarbon emisyonu en az seviyeye indirilebilmekte, CO emisyonu ise hemen hemen hiç olmamaktadır. Doğalgaz yakılması durumunda, % 40 yükün üzerinde egzost gazındaki yanmamış hidrokarbon konsantrasyonu yalnızca 4 ppm (%15 C2'de ) civarında olmaktadır. Ambarlı Kombine Çevrim Santralında yapılan ölçümlerde CO emisyonunu da 2 ppm'in altında olduğu görülmüştür.

### 5.4. SO2 Emisyonu

Doğalgazda ve distile yakıtlarda genellikle kükürt bulunmadığı için SO2 emisyonu da olmamaktadır.

### 5.5. Partikül Emisyonları

Doğalgaz kül ihtiva etmediği için kombine çevrim santrallerinde herhangi bir partikül emisyonu da söz konusu değildir.

Distile yakıtlarda ise kül oranı yalnızca % 0.01 mertebesinde olduğundan ayrıca herhangi bir filtrasyona gerek duyulmamaktadır. Fuel-oil yakıtlı kombine çevrim santrallerindeki uçucu kül miktarı ise 0,02 g/kWh mertebesinde olmaktadır.

## 6. SONUÇ

Günümüzde tüm dünyada çevreye karşı duyarlılık büyük ölçüde artmış ve bir çok ülkede zararlı madde emisyonlarına karşı oldukça sıkı regülasyonlar uygulamaya konulmuştur. Bu nedenle artık elektrik enerjisi üretiminde de çevresel hususları dikkate alan ve en düşük zararlı madde emisyonunu sağlayabilecek yüksek verimli santrallerin tesisi hedeflenmektedir.

Yukarıda özet bir anlatımla çeşitli uygulama yöntem ve alanları belirtilen doğalgaza dayalı kombine çevrim santralleri bu anlamda gerek ekonomik oluşları, gerekse yüksek verimleri ve düşük zararlı madde emisyonları ile çevreyi en az kirleten enerji üretim sistemleri olarak günümüzde çok yaygın olarak tesis edilmektedir.

## KAYNAKÇA

1. Power Engineering International-March/April 1995
2. McGraw-Hill's Electric Power International-Third Quarter, 1994.
3. Joyce, J.S., "How Gas Turbines Can Improve the Operating Economy and Environment Compatibility of New and Old Steam Generating Stations", Siemens Power Journal, December 1992.
4. Haupt, G. and Joyce, J.S., "GUD Combined-Cycle Technology for Extremely Clean Power Generation", Siemens Power Journal 4-93.
5. Özgürel, B., Egeli, M.S., Gökgöz, F. : "Turkish Experience in Combined Cycle Technology". World Bank-Maghreb Energy Seminar Paper, Marrakech-Haziran 1992.
6. Özgürel, B., Egeli, M.S. : " En Yüksek Verim, En Az Çevresel Etki : Kombine Çevrim Santralleri", 21. Yüzyılda Bütün Yönleriyle Enerji Sempozyumu Bildirisi, İstanbul, Nisan-1994.
7. Özgürel, B., Egeli, M.S. : "Kombine Çevrim Yüksek Verim, 6. Enerji Kongresi Bildirisi, İzmir-1994.
8. Özgürel, B., "Radip Development in Gas Fred Power-The Turkish Experience", Gas Povver Conference Paper, London-1992.
9. Egeli, M.S. : "Kombine Çevrim Santralleri ve Enerji Üretimindeki Verimlilikleri", Enerji Tasarrufu ve Enerji Verimliliği Uluslararası Sempozyumu Bildirisi, Ankara, Kasım-1992.