

SOMA A TERMİK SANTRALİNİN BESLEME SUYU ÖN ISITMA UYGULAMASI İLE YENİDEN GÜÇLENDİRİLMESİNİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ

Mustafa Zeki YILMAZOĞLU*, Ali DURMAZ

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Maltepe Ankara
zekiyilmazoglu@gazi.edu.tr, adurmaz@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.02.2013

Kabul Tarihi: 13.12.2013

ÖZET

Soma A termik santrali 27.10.1957 yılında işletmeye alınmış ve Eylül 2010'a kadar hizmet vermiştir. Bu santral $2 \times 22 \text{ MW}_{el}$ kurulu gücünde tasarlanmış ve buhar kazanında yakıt olarak yaklaşık 14850 kJ/kg alt ısı değerinde linyit kullanılmıştır. Bu çalışmada Thermoflex paket programı ile santralin mevcut ve besleme suyu uygulaması ile yeniden güçlendirilmesi durumları farklı gaz türbini gücü oranlarında incelenmiştir. Besleme suyu yeniden güçlendirme uygulamasında besleme suyu ön ısıtıcıları için buhar türbininden alınan ara buharlar alınmayarak, yeni kurulacak gaz türbininin atık ısısı ile besleme suyu ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ara buharlar buhar türbinine gönderilerek buhar türbininden eskiye göre daha fazla enerji üretimi sağlanmaktadır. Bununla birlikte, santral net elektrik verimi artarken birim güç için CO_2 emisyonları da azalmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre 7.7 MW_{el} gücünde bir gaz türbini ve iki adet ekonomizer ilavesi ile santral kurulu gücü 31.84 MW_{el} ve verim %34 olarak bulunmuştur. Mevcut durumda bir ünitenin kurulu gücü 22 MW_{el} ve santralin net elektrik verimi %30 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma ile ülkemizde verimleri zamanla azalan ve işletme zorlukları artmakta olan termik santrallerin de yeniden güçlendirme uygulamaları ile performanslarının iyileştirilmesi gerekliliği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Yeniden güçlendirme, Termik santral, Besleme suyu ön ısıtma*

TECHNOECONOMIC ANALYSIS OF REPOWERING OF SOMA A THERMAL POWER PLANT BY FEEDWATER HEATING APPLICATION

ABSTRACT

Soma A thermal power plant, which had commissioned in 27.10.1957 and had served till September 2010. Its installed capacity was $2 \times 22 \text{ MW}_{el}$ and lignite was used as fuel with a 3550 kcal/kg lower heating value. In this study, current status of the power plant and feedwater repowering application was simulated by Thermoflex software with different gas turbine power rates. In feedwater repowering application the bled steam was not taken from the specified stages and waste heat of new installed gas turbine was used for feedwater heating. Besides, the net electrical efficiency of the power plant was increased, CO_2 emissions per generated power was decreased. According to the results, with the addition of a capacity of 7.7 MW_{el} gas turbine and two economizers the installed capacity of the power plant and the efficiency were found 31.84 MW_{el} and 34% respectively. In current situation installed capacity of one unit and net electrical efficiency were found 22 MW_{el} and 30% respectively. With this study, it is shown that, the necessity of performance improvement with repowering applications in thermal power plants which the efficiency declining over time and increasing operating difficulties in our country.

Keywords: *Repowering, Thermal power plant, Feedwater heating*

1. GİRİŞ

Yeniden güçlendirme, mevcut bir buharlı termik santralin kurulu güç kapasitesinin ve net elektrik veriminin artırılması amacı ile çevrimsel değişiklikler yapılması olarak tanımlanabilir. Yeniden güçlendirme uygulamalarında buharlı santraller, gaz türbinleri ile desteklenip gerekli çevrimsel değişiklikler yapılarak mevcut buharlı güç santrali kombine çevrim santraline dönüştürülür. Yeniden güçlendirme uygulamaları ile ekonomik işletme ömrü daha az olan santral bileşenlerinin değerlendirilerek santralin toplam ekonomik işletme ömrü uzatılabilir. Bu durumda yeni bir kombine çevrim santrali kurma maliyeti yerine, ilk yatırım maliyeti daha az olan bir santral kurulabilecektir.

Yeniden güçlendirme uygulaması sonrasında elektrik sistemleri, buhar türbini ve jeneratörü, santral binası gibi birçok santral bileşeni kullanılmaya devam edilebilir. Buhar kazanı, besleme suyu ön ısıtıcıları, pompalar, boru hatları ve kontrol ekipmanları yeni çevrim tasarımına göre yenilenebilir.

Çizelge 1’de Türkiye’deki bazı termik santraller, işletmeye giriş yılları, kurulu güçleri, ünite adetleri, kullanılan yakıt cinsi ve ısı değerleri belirtilmiştir. Santrallerin büyük kısmı 1980-1990 yılları arasında kurulmuş olup yakın bir gelecekte ekonomik işletme ömürlerinin tamamlanması öngörülmektedir. Kullanım ömürlerinin azalması nedeni ile buhar kazanlarında işletme zorlukları ve verim kayıpları da oluşmaktadır. Bu nedenlerle Türkiye’deki birçok santralin yeniden güçlendirilerek daha az maliyetle, daha yüksek verim ve kurulu güçle işletilmesi gerekmektedir.

Yeniden güçlendirme uygulamaları ile birim kurulu güç için CO₂ emisyonların azaltımı da sağlanmaktadır. Küresel ısınmaya neden olan CO₂ emisyonlarının tutulup depolanması (KTD) yönünde bir çok çalışma yapılmakta olup, KTD teknolojilerinin 2025 yılına kadar ticari olarak uygulamaya geçirilmesi beklenmektedir [1]. Termik santrallerde yeniden güçlendirme çalışmaları ile birim kurulu güç için CO₂ salınımlarında bir azalma olabileceği Escoza ve Romeo [2] tarafından belirtilmiştir. Gaz türbinlerinin buhar santrallerine ilave edilmesiyle yeniden güçlendirme işlemi bazı alternatif yollardan yapılabilir. Gaz türbinlerinin atık ısısından çeşitli yollarla yararlanılması santral verimi ve yakıt tüketimini doğrudan etkilemektedir. Bununla birlikte, atık ısı kazanından elde edilen fazla buharın buhar türbinine verilmesi ile buhar çevriminin de kapasitesi artırılabilir [3]. Buharlı termik santrallerin yeniden güçlendirilmesinde birçok yöntem mevcuttur [1-9]. Besleme suyu, yanma gazlarının geri beslenmesi, paralel yeniden güçlendirme bu yöntemlerden bazılarıdır. Bu yeniden güçlendirme yöntemlerinde gaz türbini kapasitesinin ve türbinin belirlenmesi termik santralin yeniden güçlendirilecek kısımları ile uyum içinde olmalıdır. Hava türevsel gaz türbinleri besleme suyu uygulamasında daha iyi sonuçlar vermekte olup, paralel yeniden güçlendirme uygulamalarında endüstriyel tip gaz türbinleri tercih edilmelidir [1-5]. İşletmede olan termik santrallere besleme suyu ve paralel yeniden güçlendirme seçeneklerinin uygulanması ile CO₂ emisyonlarında %10-30 azalma olabileceği belirtilmiştir [2]. Buhar santrallerinin yeniden güçlendirilmesi ile verim ve kapasite artışı sağlanabilir.

Santrallerin yeniden güçlendirilmesi temel olarak üç farklı şekilde yapılabilir.

1. Buhar kazanı sistemde tutularak buharın, türbine sadece kazandan sağlanması durumu,
2. Buhar kazanını sistemde tutularak gaz türbininden sonra kurulacak bir atık ısı kazanı ile elde edilen fazla buharın belirli bir orana kadar buhar türbinine verilmesi durumu,
3. Buhar kazanının sistemden çıkartılarak yerine atık ısı kazanı montajı ve buhar kaynağı olarak sadece atık ısı kazanının kullanılması durumudur.

Düşük kaliteli yakıtların mevcut buharlı güç santralinde kullanılıyor olması durumunda buhar kazanının yapısal durumuna göre ilk iki seçenektan birisi tercih edilmelidir. Düşük kaliteli bir yakıtta göre tasarlanmış bir buhar kazanının yerine aynı güçte bir atık ısı kazanı yapılması ekonomik bir çözüm olmayacaktır. Santralin yeniden güçlendirilmesinde en dikkat edilmesi gereken konu santral ekipmanlarının kullanım ömürleridir. Bu nedenle santralde tutulacak her bir ekipmanın tahmini kullanım ömürleri yapılacak etütler ile belirlenmelidir.

Gaz türbininden çıkan yanma gazı debisi ve gaz türbini çıkış sıcaklığı yeniden güçlendirme uygulamalarında gaz ve buhar türbini arasındaki bağlantının kurulmasında en belirleyici parametredir. Gaz türbini çıkış sıcaklığı ve yanma gazı debisi, yeniden güçlendirme uygulamasına göre mevcut sistemdeki buhar türbinini besleyecek ya da besleme suyunun ön ısıtılmasını sağlayacak kapasitede olmalıdır.

Çizelge 1. Türkiye’deki termik santraller[10]

	Konum	İşletmeye giriş	Kurulu güç [MW]	Ünite	Yakıt cinsi	Yakıt AİD-ÜİD [kcal/kg]
18 Mart Çan	Çan / Çanakkale	20.10.2003	320	2	Linyit	2340-2860
Afşin Elbistan A	Afşin / Kahramanmaraş	07.07.1984	1355	4	Linyit	900-1600
Afşin Elbistan B	Afşin / Kahramanmaraş	22.12.2004	1440	4	Linyit	950-1500
Aliğa	Aliğa / İzmir	02.09.1975	180	6	Motorin	10300-12000
Ambarlı Doğalgaz	Ambarlı / İstanbul	20.08.1988	1350	9	Doğalgaz	8500-9155
Ambarlı Fueloil	Avcılar / İstanbul	25.03.1967	630	5	Fueloil	9580-10150
Bursa Doğalgaz	Osmangazi / Bursa	24.11.1998	1432	6	Doğalgaz	8100-10427
Çatalağzı	Çatalağzı / Zonguldak	26.07.1989	300	2	Taşkömürü	3200-3500
Hamitabat	Lüleburgaz / Kırklareli	24.11.1985	1120	12	Doğalgaz	8060-8980
Hopa	Hopa / Artvin	28.01.1973	50	2	Fueloil	9600-10157
Kangal	Kangal / Sivas	06.03.1991	457	3	Linyit	1300-1430
Orhaneli	Orhaneli / Bursa	23.03.1992	210	1	Linyit	2350-3850
Seyitömer	Seyitömer / Kütahya	25.07.1973	600	4	Linyit	1500-2000
Soma A	Soma / Manisa	27.10.1957	44	2	Linyit	3050-3200
Soma B	Soma / Manisa	29.09.1981	1034	8	Linyit	2400-2640
Tunçbilek	Tunçbilek / Kütahya	1956-1966-1978	365	2-1-2	Linyit	2600-3000
Kemerköy	Gökova / Muğla	1995	630	3	Linyit	2100-2400
Yatağan	Yatağan / Muğla	1983	630	3	Linyit	2100-2400
Yeniköy	Muğla	1987	420	2	Linyit	2100-2400
Çayırhan	Ankara	1988-2000	660	2-2	Linyit	2700-2950

Yeniden güçlendirme verimi ve gaz türbini katkısı oranı sonuçların analizinde en belirleyici etkenlerdir. Yeniden güçlendirme verimi; η_{yg} , elektrik üretimindeki artışın, giren ısı enerjisindeki artışa oranıdır ve Eş. 1'deki gibi belirtilebilir. Gaz türbini katkısı oranı; λ_{GT} , elektrik üretimindeki net artışın gaz türbini elektrik üretimine oranı olarak tanımlanabilir ve Eş. 2'de belirtildiği gibi ifade edilebilir. Burada P elektrik gücünü [MW] ve Q ise termal gücü [MW] belirtmektedir.

$$\eta_{yg} = \frac{\Delta P_{el}}{\Delta Q_g} = \frac{P_y - P_e}{Q_{g,y} - Q_{g,e}} \quad (1)$$

$$\lambda_{GT} = \frac{\Delta P_{el}}{P_{el,GT}} = \frac{P_y - P_e}{P_{GT}} \quad (2)$$

Gaz türbini katkısı oranı gaz türbinli bir santral için 1'dir. Bu oran yeni bir kombine çevrim santrali için yaklaşık 1.5'dir (toplam üretilen gücün gaz türbini gücüne oranı). Yeniden güçlendirme uygulamalarında ise gaz türbini seçimine bağlı olarak bu oran değişim göstermektedir.

Bu çalışmada, Soma A Termik santralinin mevcut durumu ve besleme suyu ön ısıtma uygulaması ile yeniden güçlendirilmesi durumları Thermoflex paket programı kullanılarak incelenmiştir. Soma A termik santralinin besleme suyu yeniden güçlendirme uygulaması ile güçlendirilmesinden sonraki performans parametreleri (kurulu güç, net elektrik verimi, yakıt tüketimi, ısı oranı vb.) mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Besleme suyu ile yeniden güçlendirme uygulamasının ekonomik analizi yapılarak yatırımın geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

2.BESLEME SUYU YENİDEN GÜÇLENDİRME UYGULAMASI

Bu uygulamada, gaz türbininden çıkan yanma gazları buhar çevriminde besleme suyu ön ısıtıcılarından geçirilerek besleme suyunun ön ısıtılmasında kullanılır. Böylece buhar türbininden alınan ara buharlar yeni uygulama ile alınmadan, doğrudan buhar türbinine verilerek buhar türbininden geçen buharın debisi artırılır. Bunun sonucunda buhar çevriminden elde edilecek güç artırılır. Bu uygulamada dikkat edilmesi gereken nokta, gaz türbini seçiminde gaz türbini çıkış sıcaklığı ve yanma gazı debisinin mevcut ön ısıtıcılara yeterli ön ısıtmayı sağlayacak kadar seçilmesi gerekliliğidir. Hava türevsel gaz türbinleri maliyet açısından aynı kapasitedeki endüstriyel tiplere göre daha ucuz olmasına karşın, daha düşük sıcaklıkta yanma gazı üretirler. Gaz türbini yanma gazları atık ısıdan degazörden önce ve sonra olmak üzere iki adet ısı değiştiricisi ile faydalanır. Atık ısının yaklaşık %85'lik kısmı ilk ısı değiştiricisinde geri kazanılarak yüksek basınçlı besleme suyu ön ısıtıcısında kullanılır. Geri kalan kısım ise düşük basınçlı besleme suyu ön ısıtıcılarında kullanılır.

Hava türevsel bir gaz türbininden yanma gazı çıkış sıcaklığı yaklaşık 460°C, degazör sıcaklığı 140°C ve yaklaşım sıcaklığı 15°C olarak kabul edilirse; ilk ısı değiştiricisinde elde edilebilecek sıcaklık farkı 305°C olarak bulunabilir. İkinci ısı değiştiricisinde ise baca sıcaklığının 100°C kabul edilmesi durumunda sıcaklık farkı 55°C olmaktadır. Eş. 3 ve 4'te T_d degazör sıcaklığını, T_y yaklaşım sıcaklığını ve T_b baca sıcaklığını belirtmektedir.

$$\Delta T_{ID1} = T_{GTç} - (T_d + T_y) \quad (3)$$

$$\Delta T_{ID2} = (T_d + T_y) - T_b \quad (4)$$

Bu uygulama ilk olarak 1949 yılında Belle Isle (Oklahoma) santralinde gerçekleştirilmiştir [8]. Bu uygulamada 3.5 MW'lık bir gaz türbini 35 MW gücünde buhar çevrimine sahip olan besleme suyu ön ısıtıcılarında kullanılmıştır. Bununla birlikte, Danimarka, Belçika ve Tayland'da son yıllarda benzer uygulamalar ile besleme suyu ön ısıtması gaz türbinlerinin atık ısılarından faydalanılarak yapılmaktadır. Günümüzde bu tip yeniden güçlendirme uygulamaları özellikle tercih edilmektedir ve ekonomik işletme ömrünü tamamlamış olan birçok santral besleme suyu ön ısıtma yöntemi ile yeniden güçlendirilmektedir. Bunun dışında yanma gazlarının geri beslenmesi ile yapılmış olan yeniden güçlendirme uygulamaları mevcuttur [11]. Son yıllarda gaz türbinleri yerine parabolik kollektörlerle tasarlanmış olan projeler mevcut olsa da ilk yatırım maliyeti nedeni ile henüz bir yeniden güçlendirme uygulamasında kullanılmamıştır [12].

Buhar santralının %16'sı gücünde bir hava türevsel gaz türbini seçimi ile 1 MW gaz türbini kurulu gücü için santralin toplam gücünde 1.22 MW artış sağlanır. Bu durumda yeniden güçlendirme verimi %53 olarak bulunmuştur [8]. Buhar santralının %30'u gücünde bir hava türevsel gaz türbini seçilmesi durumunda ise yüksek basınç ön ısıtıcılarından geçen ön ısıtma suyunun %100'ü ısıtılabilir. Daha büyük kapasitede bir gaz türbini seçilmesi verimi düşürecektir. Bu nedenle yeniden güçlendirme uygulamalarında besleme suyu ön ısıtma uygulaması kullanılacak ise santral kapasitesinin %20'si kapasitesine sahip gaz türbini seçilmesi daha uygun olacaktır. Bu tür uygulamalarda hava türevsel gaz türbinlerinin kullanılması endüstriyel tiplere göre daha uygundur [8].

2.1.Soma A Termik Santrali Mevcut Durumu

1957 yılında devreye alınmış olan Soma A termik santrali teknolojinin eskimiş olması ve teknik personelin Soma B santraline kaydırılmış olması nedeni ile Eylül 2010'da devre dışı bırakılmıştır. Soma B termik santralinin (1 ünite gücü yaklaşık 160 MW) Soma A'ya göre daha büyük güçte olması da A ünitesinin devre dışı bırakılmasında bir etken olarak belirtilmiştir. Özelleştirme kapsamına alınmış olunan A ünitesinde bu nedenle yeniden güçlendirme çalışması yapılması bir alternatif olarak değerlendirilmesinde etken olacaktır. Soma A santrali 2x22 MW_{el} kurulu gücünde olup, santralde kullanılan yakıta ait kaba ve elementel analiz değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Soma A santralinde kullanılan linyit kaba ve elementel analiz değerleri

Elementel Analiz % ağı.	Orjinal bazda	Kuru bazda	Kaba Analiz	Tuvenan Ø0-30 mm	Şlam Ø0-0.5 mm
C	39.48	52.8	A	21.2	38
H	2.95	3.94	W	20.3	28
O+N	13.42	18	C _s	30.5	17.5
S	0.53	0.71	V	28	16.5
W	25.22	0			
A	18.4	24.55			

Soma A ünitesinde kullanılan linyitin kül ergime sıcaklığı 1400°C ve alt ısı değeri yaklaşık 3550 kcal/kg olarak belirtilmiştir. Santralde üç adet kapalı tip besleme suyu ön ısıtıcısı ve degazör bulunmaktadır. Degazörün yerden yüksekliği 12 metredir. Buhar türbini iki adet olup herbiri 22 MW_{el} gücündedir. Soğutma kulesi olarak çapraz akışlı ve cebri çekmeli soğutma kulesi kullanılmıştır. Yoğuşturucu basıncı 0.063 bar'dır. Ortam havası, hava ön ısıtıcılarından geçirilerek 220°C'de yanma odasına gönderilmektedir. Yanma gazları 160°C'de 55m yükseliğindeki bacadan dışarıya atılmaktadır. Çizelge 3'te Soma A santrali kazan çalışma karakteristikleri belirtilmiştir. Üretim sırasında kazan devamlı maksimum yük durumunda tutularak elektrik

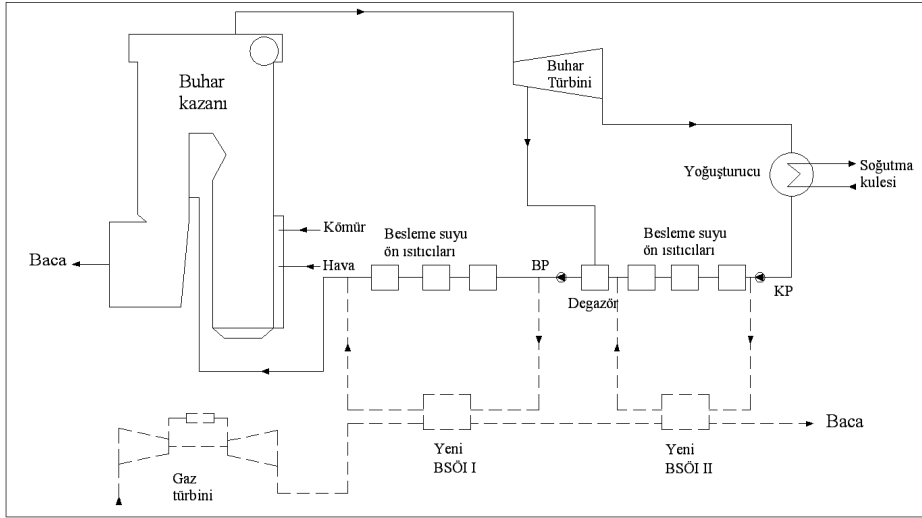
üretim gerçekleştirilmektedir. Kazana ait tasarımsal termal bilanço incelendiğinde kazan verimi % 87.18 olarak belirlenmiştir. Toplam kayıpların içinde baca kaybı % 8.36 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3. Kazan çalışma karakteristikleri

	Teknik Min.	Devamlı Min. Yük	Normal	Devamlı Maks. Yük	Geçici Maks.
Buhar debisi [t/h]	30	51	72	96	105
Türbin gücü [MW]	7	12	17	22	
Basınçlar [kg/cm²]					
Ekonomizer girişi	62	62.6	65.7	70	72
Dom çıkışı	59.6	61.5	64	68	69.8
Kızdırıcı çıkışı	59.4	60.7	62.4	65	66.2
Sıcaklıklar [°C]					
Kızdırıcı çıkışı	489.7	487.7	487	486.5	486.4
Ekonomizer girişi	139	165	180	192	196
Ekonomizer çıkışı	197	216	230	242	245
Kızdırıcı girişinde gaz sıcaklığı	826	872	922	980	1000
Ekonomizer çıkışında gaz sıcaklığı	239	261	278	296	302
Hava ön ısıtıcısı çıkışında hava sıcaklığı	206.5	213	222.5	226.5	228
Bacada gaz sıcaklığı	129	142	152	160	162.5
Debiler [t/h]					
Yakıt debisi	6.96	11.4	15.6	20.3	22
Yanma gazı debisi	60.6	93.3	121.4	150.8	161.5

Besleme suyu ön ısıtmasında kullanılan ara buhar, buhar türbininin 4., 8., 11. ve 13. kademelerinden alınmaktadır. 4. kademedan alınan ara buhar degazöre, diğer kademelerden alınan ara buharlar ise besleme suyu ön ısıtıcılarına beslenmektedir. Türbin toplamda 15 kademeli olup 3000 d/dk'da dönmektedir. 15. kademedan çıkan buhar, yoğuşturucuya gitmektedir. Buhar türbininden alınan ara buharların basınç ve sıcaklık değerleri sırasıyla 10-13 bar, 350°C 4. kademe, 4.5-4.8 bar, 250°C 8. kademe, 1.7-1.8 bar, 175°C 11. kademe ve 0.3-0.35 bar, 110°C 13. kademedir.

Yukarıda belirtilen veriler ile Soma A santralinin modeli Thermoflex'te oluşturulmuştur. Devamlı maksimum yükteki veriler ile simülasyon sonuçları arasındaki hata birçok parametre için yaklaşık % 1 dolaylarında bulunmuştur. Santralin besleme suyu ön ısıtma uygulaması ile yeniden güçlendirilmesi durumuna ait bağlantı şeması Şekil 1'de verilmiştir. Kesikli çizgiler yeniden güçlendirme sonrası santrale ilave edilen bileşenleri göstermektedir. Şekil 1'den de görüldüğü üzere yeniden güçlendirme sonrasında buhar türbininden ara buhar sadece 4. kademedan alınmaktadır. Besleme suyu ön ısıtmasında kullanılan diğer kademelerdeki ara buharlar iptal edilmiştir.



Şekil 1. Soma A santralinde besleme suyu ile yeniden güçlendirme uygulamasına ait bağlantı şeması

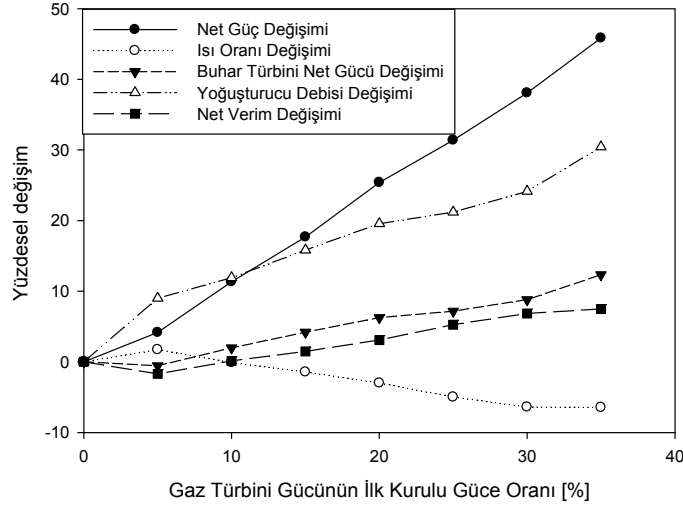
3.SONUÇLAR

Gaz türbininin atık ısı, iki adet ekonomizörden geçirilerek besleme sularının ön ısıtılmasında kullanılmaktadır. Ara buhar alma işlemi degazörün karışımı bir ısıtıcı olmasından dolayı sadece degazörde devam etmektedir. Gaz türbininde yakıt olarak 46286 kJ/kg alt ısı değerinde doğalgaz kullanılmıştır. Buhar kazanı sistemde sabit tutularak devamlı maksimum yükte çalıştırılmaya devam edilmiştir. Bu uygulama ile yapılan temel değişiklikler, besleme suyu ön ısıtıcılarının sökülerek yerine gaz türbini, iki adet ekonomizer, gaz türbini bacası montajı işlemlerinin yapılmasıdır. Bu çalışmada doğalgaz hattının kullanım noktasına kadar çekildiği kabul edilmiştir. Farklı güçteki gaz türbini güçlerinin santral performansına etkileri Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekilde yatay eksen seçilmesi planlanan gaz türbini gücünün santral mevcut durum kurulu gücüne oranı, düşey eksen ise yüzde olarak değişimi göstermektedir.

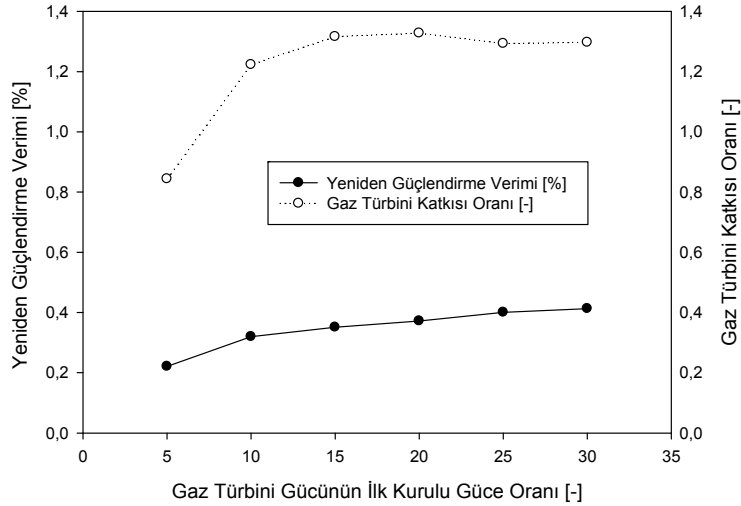
Başlangıç noktası santralin mevcut durumunu temsil etmekte olup, her %5’lik artış, yaklaşık 1.1 MW_{el} gücünde gaz türbini gücüne karşılık gelmektedir. Net güç, gaz türbini gücüne ve buhar türbini gücündeki artışa bağlı olarak artmaktadır. Buna karşın, dikkat edilmesi gereken nokta buhar türbininden geçebilecek maksimum debidir. Genellikle %20 kapasite artışına uygun olan buhar türbinleri, yoğuşturucu debisi artış oranı dikkate alındığında yaklaşık %20’lik gaz türbini gücünün mevcut kurulu güce oranında limit değere gelmektedir. Bununla birlikte, net verim artış oranı da %25 oranından sonra yaklaşık sabit kalmaktadır. Birim enerji üretimi için sisteme verilen enerji ısı oranı olarak tanımlanmış olup, yeniden güçlendirme sonrasında bir azalma olmuştur. Böylece birim güç üretimi için daha az birincil enerji tüketimi sağlanmıştır. Buhar türbinindeki debi artış oranı (maks. %20) sınır olarak alınırsa, Soma A santralinin besleme suyu ön ısıtılması işlemi ile yeniden güçlendirilmesinde bir ünite için seçilecek gaz türbini kurulu gücü yaklaşık 4.4 MW_{el} olarak bulunmaktadır. Bu durumda santralin net gücü 27.4 MW_{el} ve net elektrik verimi %32.7 olarak bulunmuştur.

Şekil 3’te farklı gaz türbini gücü oranları için yeniden güçlendirme verimi ve gaz türbini katkısı oranının değişimi gösterilmiştir. Gaz türbini katkısı oranı %10 değerinden sonra sabit kalmaktadır ve en yüksek

değerini %20 oranında almaktadır. Yeniden güçlendirme verimi, artan gaz türbini gücü oranı ile artış göstermekte olup %20 gaz türbini gücü oranında %37.2 olarak hesaplanmıştır.



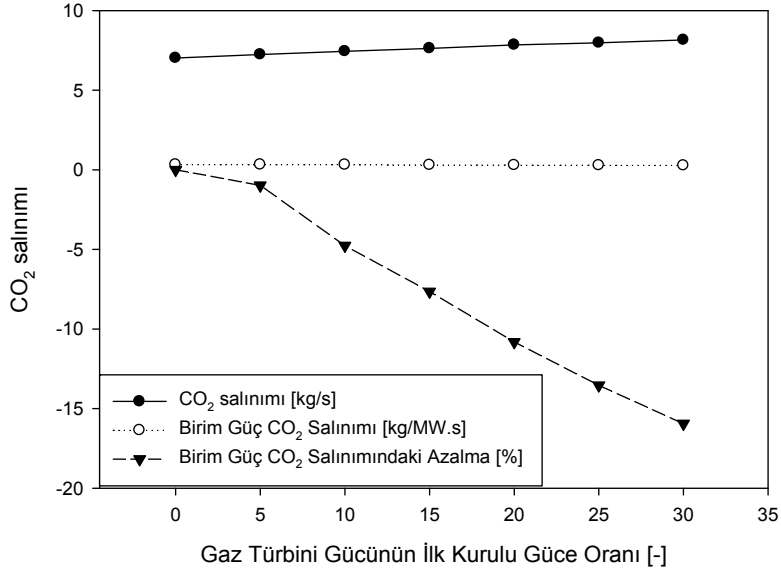
Şekil 2. Farklı güçteki gaz türbinlerinin santral performansına etkileri



Şekil 3. Farklı güçteki gaz türbini gücü oranları için yeniden güçlendirme verimi ve gaz türbini katkısı oranının değişimi

Yeniden güçlendirme sonrasında gaz türbini seçimine göre CO₂ emisyonu salınımının değişimi Şekil 4'te belirtilmiştir. Artan gaz türbini gücü oranlarında santralin CO₂ salınımı da artmaktadır. Buna karşın, birim

kurulu güç için CO₂ salınımı büyük oranda azalmaktadır. Gaz türbini gücünün mevcut güce oranı %20 olarak seçildiğinde CO₂ salınımı 7.849 kg/s olarak bulunmuştur. Bu durumda, santralin mevcut durumuna kıyasla CO₂ salınımında %11.8'lik bir artış olmaktadır. Buna karşın, birim kurulu güç için santralin CO₂ emisyonundaki azalma %10.82 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak mevcut bir termik santral için aynı kurulu güçte yeniden güçlendirme uygulaması ile CO₂ emisyonlarında bir azalma olacağı bulunmuştur.



Şekil 4. CO₂ emisyonları yönünden yeniden güçlendirme uygulamasının değerlendirilmesi

Gaz türbininde atık ısı geri kazanımı besleme suyunun ön ısıtılması iki adet ekonomizör ile sağlanmıştır. Birinci ekonomizör gaz türbininin çıkışındadır. Burada sıcaklık farkını ve ekonomizörlerin tasarımını belirleyen en önemli parametre degazör basıncıdır. Degazöre giren ara buhar yeniden güçlendirme işleminden sonra da alınmaya devam edilmekte olup, degazör karışımli bir ısı değiştiricisi olarak düşünülürse degazörden besleme suyunun çıkış sıcaklığına bağlı olarak birinci ekonomizörün kapasitesi belirlenir. İkinci ekonomizör ise gaz türbini bacasından önce olup yoğuşturucudan çıkan suyun degazör sıcaklığına kadar ön ısıtılmasını sağlamaktadır. Çizelge 4'te 1. ve 2. ekonomizördeki yanma gazından suyu aktarılan ısı transferi miktarları belirtilmiştir. Artan gaz türbini güçlerinde, 1. ekonomizörde gazdan suya olan ısı transferi miktarı yaklaşık sabit kalmaktadır. Bu durum, mevcut degazörün yeniden güçlendirme sonrası tekrar kullanılması ile ilgilidir. Degazör bir karışma odası olarak düşünülürse, ara buhar basıncı, sıcaklığı ve degazörden çıkan besleme suyu sıcaklığı mevcut durumla aynı kalacaktır. Bu durumda farklı gaz türbini güçlerinde degazör için alınan ara buhar debisi değişecektir. Artan gaz türbini güçlerinde degazör için alınan ara buhar debisi azalacak ve sonuç olarak buhar türbinine giren buhar debisi artacaktır.

Çizelge 4. Birinci ve ikinci ekonomizördeki ısı transferi miktarları

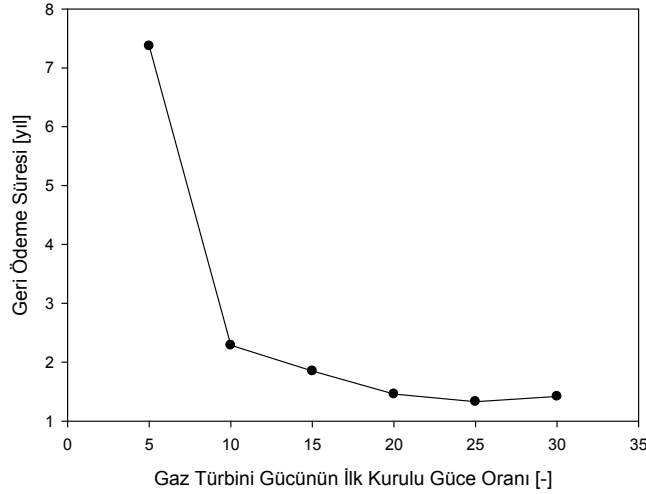
GT gücünün mevcut güce oranı	5	10	15	20	25	30	35
1. Ekonomizör [kW]	424	396	397	397	397	398	399
2. Ekonomizör [kW]	2324	4680	6763	8716	9574	11116	14414

Çizelge 5'te farklı gaz türbini güçlerinin ve gaz türbini gücüne bağlı olarak tasarlanan ekonomizerlerin yaklaşık maliyetleri belirtilmiştir. Çizelge 5'te belirtilen borulama ve diğer giderler gaz türbini ve ekonomizer maliyetlerinin toplamının %35'i olarak öngörülmüştür. Baca maliyeti, işçilik, bakım-revizyon ve bazı kontrol ekipmanları da bu kalem içinde değerlendirilmiştir. Birinci ekonomizör maliyetindeki değişim, gaz tarafı ile ilgili bir durum olup farklı güçlerdeki ve yapıdaki gaz türbinlerinin yanma gazı çıkış sıcaklığının farklı olması bu durumda etkindir. Bu çalışmada sadece gaz türbini gücü dikkate alınmış olup, gaz türbinleri hava türevsel ya da endüstriyel olarak sınıflandırılmamıştır. İkinci ekonomizör maliyetinin birinciye göre yüksek çıkmasının nedeni yoğunlaştırıcı sonrası su sıcaklığının degazör sıcaklığına kadar yükseltilmesidir. Soma A santralının mevcut durumu da incelendiğinde degazörden sonra başka bir ön ısıtıcı kullanılmamıştır. Bu nedenle, besleme suyunun ön ısıtılması işlemi bu santral için ikinci ekonomizörde olmaktadır. Gaz türbini gücünün artması ile toplam yatırım maliyeti de artmaktadır.

Çizelge 5. Farklı gaz türbini gücü oranlarında yeniden güçlendirme maliyetleri

GT gücü oranı	5	10	15	20	25	30
GT maliyeti [bin\$]	1200	1600	2200	2500	3000	3800
1. Eko maliyeti [bin\$]	20,385	13,50	15,975	20,295	20,57	29,025
2. Eko maliyeti [bin\$]	206,55	339,3	422,10	594,90	620,6	984,60
Montaj giderleri [bin \$]	499,4	683,5	923,3	1090,3	1274,4	1684,8
Toplam YG maliyeti [bin \$]	1926,4	2636,3	3561,4	4205,5	4915,5	6498,4

Şekil 5'te besleme suyu ön ısıtma ile yeniden güçlendirme uygulamasında geri ödeme sürelerinin farklı gaz türbini oranlarında değişimi gösterilmiştir. Geri ödeme süresi, toplam yeniden güçlendirme yatırım maliyetinin yıllık kazanç oranı olarak bulunabilir. Paranın zaman değerinin göz önüne alınmadığı bu sonuç, yatırımın detaylı ekonomik analizi ve yatırımcı için yaklaşık olarak yatırımın değerini gösterir. Geri ödeme süresi hesaplanırken santralin yıllık çalışma süresi 6000 saat, elektrik satış fiyatı 0.21376 TL/kWh ve doğalgaz alış fiyatı ise 0.506251 TL/m³ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5. Farklı güçteki gaz türbinleri ile yeniden güçlendirme uygulamasının geri ödeme süresine etkileri

Gaz türbini gücünün mevcut kurulu güce oranının %5 olması durumunda geri ödeme süresi yaklaşık 7.4 yıl olarak bulunmuştur. Buna karşın, diğer oranlarda bu süre 2.2 yıl ile 1.3 yıl arasında değişmektedir. Gaz türbini gücünün ilk kurulu güce oranının %20 olduğu durumda ise geri ödeme süresi 1.46 yıl olarak bulunmuştur.

4.DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Soma A santralının besleme suyu ön ısıtma ile yeniden güçlendirilmesinin teknoekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. 1957 yılında devreye alınan Soma A santrali Eylül 2010'da devre dışı bırakılmıştır. İki adet 22 MW gücünde buhar türbinine sahip olan santralin Thermoflex'te modeli oluşturulmuştur. Besleme suyu ön ısıtma uygulaması durumundaki model mevcut durum ile kıyaslanmıştır. Farklı gaz türbini güçlerinde santralin performans parametrelerinin değişimi belirlenmiştir. Besleme suyu ile ön ısıtma uygulaması durumunda seçilecek gaz türbini gücü ilk kurulu gücün %10-20'si arasında olmalıdır. Bununla birlikte birim güç başına CO₂ emisyonlarında azalma olacağı da belirtilmiştir. Farklı güçteki gaz türbinleri için yeniden güçlendirme uygulamasının geri ödeme süreleri hesaplanmış ve %10-25 güç oranında geri ödeme süresi yaklaşık 1.5 yıl olarak bulunmuştur. Bu süre enerji ekonomisi ve verimliliği uygulamalarında kısa bir geri ödeme süresi olup, birim güç başına CO₂ emisyonlarının da azaltılması mevcut linyit yakıtlı santrallerimizin en uygun yöntemlerle yeniden güçlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Böylece hem eskimiş olan santrallerimizin ekonomik ömürleri uzatılacak hem de büyük yatırımlara gerek kalmadan mevcut santrallerimizin kurulu güçleri ve verimleri artırılarak ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, gösterdikleri destek ve ilgi için Soma Santrali çalışanlarına teşekkür ederler. Bu çalışma DPT 2008 K120630 Kodlu proje ile sağlanmış olunan simülasyon programı ile gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] İnternet: The European technology platform for zero emission fosil fuel power plants (ZEP). Strategic resear chagenda; <<http://www.zero-emission platform.eu>> (2006).
- [2] M.J. Escosa, M.L. Romeo, "Optimizing CO₂ avoided cost by means of repowering", Applied Energy, 86, 2351–2358, (2009).
- [3] R. Carapellucci, "A unifiedapproachtoassess performance of different techniques for recovering exhaus heat from gasturbines", Energy Conversion and Management, 50, 1218–1226, (2009).
- [4] A.F. D'Yakov, V. Nechaev,R. Olkhovsky, G. Gurgen,"Repoweringexisting thermal power stations", Proccedings of Am Power Conference,Vol. 2, pp. 1033-1037. (1998).
- [5] H. Schenk,G. Ehren, "Gasturbinebased power plants repowering reducesemission sandincrease efficiency of existing plant swhile re-utilisingavailableassets", Proceedings of the International Gas Turbine Congress(2003).
- [6] A.B.Walters, "Power plant toppingcyclere powering", Energy Engineering, 92, 49-71, (2008).
- [7] P.F.Mathieu, "Repowering options forexisting power plants", Proceedings of the NATO Advances Study Institute on Thermodynamics and Optimization of Complex Energy Systems, 251-260, (1998).
- [8] M.A.Elmasri, "Design of Gas Turbine Combined Cycleand Cogeneration Systems", Thermoflow Inc. Seminar, Milan, ITALY, (2008).
- [9] M.Z. Yılmazoğlu, A. Durmaz, "Soma A termik santralinin paralel yeniden güçlendirilmesi", 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniđi Kongresi, Zonguldak, (2011).
- [10] İnternet, Türkiye'deki termik santraller, <<http://www.euas.gov.tr/Sayfalar/AnaSayfa.aspx>> (2011).
- [11] M.Z. Yılmazoğlu, A. Durmaz, "Hot wind box repowering of coalfired Thermal power plants" Turkish Journal of Engineering and Environ mental Sciences, doi:10.3906/muh-1203-3, (2013).
- [12] M.Z. Yılmazoğlu, A. Durmaz, D. Baker, "Solar Repowering of Soma-A Thermal Power Plant" Energy Conversion and Management, 64, 232-237, (2012).