

KÖMÜRE DAYALI TERMİK ELEKTRİK SANTRALLARINDA VERİM VE KAPASİTE KULLANIM ORANI DÜŞÜKLÜĞÜNÜN NEDENLERİ VE BUNLARIN YÜKSELTİLMELERİ İÇİN ALINMASI GEREKLİ TEDBİRLER

Hıdır ASLAN*
Elektrik Mühendisi

ÖZET: Kömüre dayalı termik elektrik santrallerinde elde edilen elektrik enerjisi, dünyada üretilen tüm elektrik enerjisinin yarısından fazladır. Türkiye'de ise kömür kullanan termik santrallerde üretilen elektrik enerjisi 1995 yılında 27 milyar kwh'ti geçmiştir.

Bu çalışmada elektrik enerjisi üretiminde bu kadar önemli yeri bulunan termik santrallerin kısaca nasıl çalıştıkları anlatıldıktan sonra, santrallerdeki verim düşüklüğünün nedenleri ve verimi arttırabilmek için yapılması gerekli çalışmalar ve santrallerin kapasite kullanım oranlarının nasıl yükseltilebileceği anlatılmıştır.

1-GİRİŞ

Çağımızın modern yaşamı geçmiş dönemdekinden çok farklı hale gelmiştir. Bunun en büyük nedeni, makineler yardımıyla çeşitli şekillerdeki enerjinin, elektrik enerjisine çevrilmesiyle, çağımız insanı tarafından sürekli olarak artan şekilde kullanılmasıdır. Elektrik enerjisinin insan yaşamına girmesi sonucunda, ağır işlerde çalışan insanların çalışma koşulları hafiflemiş, çalışanların çalışma saatleri azalmış, yaşam standartları artmış, ulaşım ve haberleşmede sürat ve güvenlik artmış, sağlıklı ve dengeli beslenme imkanları gelişmiş, hastalıklarla ve tabii afetlerle mücadele daha kolay hale gelmiştir. Artık elektriksiz bir yaşam dünyanın her bölgesindeki insanlar için düşünülemez olmuştur. İnsanların yaşam standardı dahi o insanların kullandığı elektrik enerjisi miktarıyla ölçülür hale geldiği gibi, ülkelerin kalkınmışlığının derecesi de o ülkedeki kişi başına elektrik enerjisi üretimi ile ölçülür olmuştur.

Dünyada termik yolla yılda üretilen elektrik enerjisi miktarı milyar kwh ölçülerini çoktan aşmış artık billion kwh (1000 milyar kwh) değerindeki birimlerle ölçülmektedir. Bu elektrik enerjisi kömür, doğalgaz, petrol ve nükleer enerji ile çalışan termik santrallerde üretilmektedir. Tüm termik santrallerin net verimleri en iyi durumlarda dahi sırf elektrik enerjisi üretmek için kurulan santrallerde % 50'nin altında kalmaktadır. Tablo-1'de modern termik santral ünitelerinin verimleri gösterilmiştir.

Afşin-Elbistan ve Çayhan Termik Santralleri Eski İşletme Müdürü

Tablo-1

Termik Elektrik Santralı Gücü (MW)	Ana Yakıt Cinsi	Net Verim (%)
2x820	Linyit Kömürü	40.6
2x931	Linyit Kömürü	42.3
2x907	Linyit Kömürü	41.7
1x1025	Linyit Kömürü	>43
1x414	Taş Kömürü	47
1x750	Taş Kömürü	46.3
1x100 Gaz Türbini	Doğal Gaz	32
1000 Kombine Doğal Gaz Santralı	Doğal Gaz	47

Tablodan da görüleceği gibi yakıt ve ünite gücü değişikçe verimde değişmektedir.

Termik santrallardaki verim düşüklüğü büyük çapta sistemden dolayı olmaktadır. Enerji çevrimi sırasında meydana gelen kayıpların önüne geçmek şu durumda mümkün değildir. Sistemden dolayı gelen kayıplara ilave olarak termik elektrik Santrallarının hatalı işletilmelerinden dolayı meydana gelen kayıplar vardır. Bu kayıplar santral nominal veriminin % 5'ini asla geçmemelidir. Eğer kayıplar bu değeri aşıyorsa, gerekli tedbirler acil olarak alınmalıdır.

Tablo-2 yılda 5 milyar kwh elektrik enerjisi üreten kömüre dayalı bir termik elektrik santralın çeşitli verimlilikte çalışması durumunda (boşa) havaya verdiği ısı enerjisinin kwh olarak karşılığı görülmektedir.

Tablo-2

Termik Elektrik Santralı Çalışması	Santral Net Verimi %	Ürettiği Net Enerji Milyar kwh	Havaya (boşa) verilen enerji milyar kwh	İşletme Verimliliğinin Düşüklüğü Nedeniyle Boşa Verilen Enerji
A	38	5	8.15	-
B	36	5	8.6	450 milyon kwh
C	34	5	9.7	1550 milyon kwh
D	33	5	10.15	20Q0 milyon kwh

Tablodan görüleceği gibi, bir termik elektrik santralının % 33 gibi düşük bir verimde çalışması demek, % 38 gibi yüksek verimde çalışmasına göre ek olarak 2 milyar kwh'lik bir enerji daha boşa harcanmış olacaktır.

Yılda toplam 50 milyar kwh elektrik enerjisi termik santrallardan üretilen bir bölgede santralların yıllık net verimleri ortalama % 33 olduğunda, böyle bir bölgede termik elektrik Santrallarının boşa verdiği ısı enerjisinin karşılığı 101.5 milyar kwh'tir. Bu bölgede % 3'lük bir verimlilik artışı sağlandığında,

toplam yakıt ve diğer masraflar artmadığı halde 4.5 milyar kwh net enerji fazladan bedelsiz olarak elde edilecektir. Bu durum aynı zamanda çevrenin de daha az kirlenmesine yardım edecektir.

Görüleceği gibi termik elektrik Santrallerinin verimli çalıştırılmasının ekonomiye, çevreye ve kıt olan enerji kaynaklarının israf edilmemelerine büyük yararı olacaktır.

Santrallerin kapasite kullanım oranları termik elektrik Santrallerinin genel performansları içerisinde düşünülmelidir. Termik santrallerin performanslarının yüksek olması, elektrik üretiminin güvenilirliğini, kapasitesini her an kullanmaya hazır olmasını sağlarken santrallerin genel verimlerini de artırır.

2- Elektrik Santralleri

Elektrik güç santralleri kullanılan ilk enerji tipine göre sınıflandırılır.

1-Termik 2-Hidrolik 3-Nükleer

1- Termik elektrik güç santrallerinde, kimyasal yakıtlardaki ısı enerjisi kullanılır.

Kömür, Doğalgaz ve Fuel-Öil yakıt olarak kullanılır

2- Hidrolik güç santrallerinde sudaki potansiyel enerji kullanılır.

200-300 metre yüksekliklere kadar su düşülerinden ve büyük su debilerinden yararlanılır

3- Atom veya nükleer santrallerde nükleer fizyondan elde edilen ısı enerjisi kullanılır.

Yakıt olarak uranium madeni kullanılır.

Termik elektrik güç Santrallerinin hidrolik güç santrallerine göre avantajları vardır;

a) Kuruluş masrafları azdır,

b) Daha kısa zamanda üretim sağlanır.

c) Üretim iklime bağılı değildir.

Buna karşılık hidrolik güç santrallerinde ucuz elektrik üretilmesi, barajlardan tarım sulaması yapılması, baraj göllerinde balıkçılık geliştirilmesi gibi başka avantajlar mevcuttur.

3- TERMİK ELEKTRİK GÜÇ SANTRALLARI

Termik elektrik güç santralında yakıttaki kimyasal enerji önce kazanda ısı enerjisine çevrilerek buhara verilir. Daha sonra bu buhardaki ısı enerjisi türbinde mekanik enerjiye ve arkasından generatörde elektrik enerjisine çevrilir.

Modern orta ve büyük güçteki termik elektrik güç santrallerinde buhar kazaanlarma ek olarak buharlı turbo-generatör gurupları kullanılır. Buhar

türbinleri 100 MW tan 300, 500 ve 1000 MW güce kadar olabilmektedir. Çok yüksek basınç ve sıcaklık değerlerindeki buhar şartlarına göre yapılan buhar türbinlerinde verim % 40 ile % 46'ya kadar yükselmektedir. Buharlı turbo-generatörlerin işletmeleri çok güvenli ve nominal güçlerini binlerce saatte devamlı ve yüksek otomasyon seviyesinde verirler.

Termik elektrik güç santralleri iki tipte dizayn edilir:

- 1) Kondenseli santrallarda sadece elektrik enerjisi üretilir ve türbin kondenseye bağlıdır.
- 2) Isıtma ve güç santrallerinde elektrik gücü elde edildiği gibi ayrıca 15 bar'a kadar proses buharı veya ısıtma amacıyla sıcak su da elde edilir. Bu tip sistemde verim % 60~70'lere hatta karşı basınçlı türbin kullanıldığında verim % 85'lere kadar çıkmaktadır.

Termik elektrik güç santrallerinde ilk enerji dönüşümü buhar kazanlarında olur. Burada yakıttaki kimyasal enerji yakılarak elde edilen ısı su buharına verilir. Suyun buharlaştırılarak, buharın elde edildiği kazanlara buhar kazanı veya buhar üretici ismi de verilir.

Dünyada, ısı enerjisinin ve elektrik enerjisinin büyük kısmı buhar kazanlarında elde edilen buharla sağlanır. Termik elektrik santrallerinde ana işletme şekli su buhar çevrimiyle yapılır ve buhar kazanı ile turbo-generatör gurubunu içerirler. Kazan ünitelerinin de, turbo generator gurupları gibi binlerce saat kesintisiz olarak işletmede olmaları gerekir. Büyük güçlü termik elektrik santralleri çok büyük miktarlarda yakıt tüketirler ve bu durum buhar kazanları dahil tüm ünitelerin mümkün olabilecek en yüksek verimde çalıştırılmalarını önemli kılmaktadır.

Şema-1'de basit olarak bir termik elektrik güç santralının akış diyagramı gösterilmektedir. Buhar kazanında yakılan yakıttan elde edilen ısı ile saf suyun buharlaştırılmasından elde edilen buhar kazandan (K) çıkarak, buhar kızdırıcılarından (BK) geçer ve buhar türbinine (BT) akarak túbini 50 Hz'de çevirirken türbine bağlı generatörden (G) 50 Hz frekansta elektrik gücü elde edilir. Taşıdığı ısı enerjisi buhar türbininde mekanik enerjiye çevrilen buharın basıncı ve sıcaklığı düşerken türbinden çıkarak kondenseye (Kon) akar. Ve burada, bu iş görmüş buhar kondense soğutma suyu tarafından vakum altında yoğuşturularak su haline getirilir. Kondensede bu buhardan alınan ısı soğutma suyu ile dışarı taşınarak soğutma kulelerinde havaya verilir. Kondensede yoğuşan su, kondense pompası (KP) tarafından alınarak, kazan besleme suyu tankına (KBST) basılır. Bu tanka, sistem kaçaqlarını gidermek için katma suyu (KS) olarak saf su ilave edilir. Daha sonra kazan besleme pompası (BP) yardımıyla bu tanktan alınan ısıtılmış su yüksek basınçta buhar kazanına basılır. Böyle bir termik elektrik santralının çevrimine, ilave olarak, çeşitli sayıda besleme suyu ısıtıcıları, buhar hatları, yardımcı buhar hatları ve su tasfiye sistemleri vs. gibi çeşitli tesisleri vardır.

4- ELEKTRİK ENERJİSİ KAYNAKLARI

Dünyamızda enerjinin birinci ve temel kaynağı güneştir. Güneş enerjisinden kontrol edilebilir enerji elde edebilmek ancak şimdilik küçük miktarlarda olabilmektedir. Büyük miktarda enerji elde edebilmek için çok fazla solar sistem alanlarına ve bulutsuz hava şartlarına ihtiyaç vardır.

Rüzgar enerjisi de diğer bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi yüzlerce yıldır değirmenlerde kullanılmaktadır. Zamanımızda rüzgar generatörleri geliştirilerek elektrik enerjisi elde edilmektedir. Fakat bu da küçük miktarlarda olmaktadır.

Suların potansiyel enerjisinden elde edilen hidrolik enerjisinden ancak, elektrik taşıma hatlarının geliştirilmesi ile büyük çapta yararlanma imkanı doğmuştur.

İkinci dünya savaşından sonra nükleer enerjinin, reaktörlerde kontrollü olarak elde edilebilmesinden sonra, nükleer santraller geliştirilerek elektrik üretimi yapılmaktadır.

Zamanımızda elektrik enerjisinin üretiminde kullanılan ana yakıt kömür, petrol ve doğalgazdır.

5- TERMİK SANTRALLARDA KULLANILAN BAZI ÖNEMLİ FİZİK BİRİMLERİ

Çok çeşitli birimler kullanılmaktadır. Ancak burada yaygın olarak kullanılan bazı birimler verilecektir. Isı enerjisi birimi olarak en çok Calorie veya Joule kullanılmaktadır. 1 gr suyun sıcaklığını 1 C° yükseltmek için gereken ısı miktarına 1 Calorie denir. 1000 katına ise 1 kilocalorie (kcal) denir. Örnek olarak yetişkin bir insanın bir günlük enerji ihtiyacının 2000 ile 3000 kcal olduğu düşünülebilir.

Joule ve Robert Mayer'in çalışmaları ve deneyleri ile birim ısı enerjisinin mekanik enerji karşılığı da tespit edilmiştir.

$$1 \text{ cal} = 4.18 \times 10^7 \text{ erg} = 4.186 \text{ J (Joule)}$$

$$1 \text{ watt} = 10^7 \text{ erg/Sc} = 1 \text{ Joule/S} \cdot$$

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ N.M} = 1 \text{ kg.m}^2/\text{S}^2 = 0.738 \text{ ft.lb.}$$

$$1 \text{ H.P} = 746 \text{ W}$$

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 1.360 \text{ PS} = 1.341 \text{ HP} = 0.2388 \text{ kcal/s}$$

$$1 \text{ MW} = 1000 \text{ 000 W} = 10^6 \text{ W} = 1000 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kilowatt-saat} = (1000) \times (3600) \text{ W.S} = 3.6 \times 10^6 \text{ Joule} = 3412 \text{ BTU}$$

$$1 \text{ kw.h} = 8.6 \times 10^3 \text{ cal} = 860 \text{ kcal} = 3600 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kwh} = 1000 \text{ w.h.}$$

$$1 \text{ milyon kw.h} = 10^6 \text{ kwh}$$

$$1 \text{ milyar kw.h} = 10^9 \text{ kwh}$$

$$1 \text{ Billion kw.h} = 10^{12} \text{ kw.h}$$

1 electron -volt = 1 eV = 1.60×10^{-19} Joule = 3.827×10^{20} cat
 1 kilo electron-volt = 1 keV = 10^3 eV
 1 Mega (million) electron-volt = 1 MeV = 10^6 eV = 4.450×10^{20} kW.h.
 1 Giga electron-volt = 1 GeV = 10^9 eV

1 kW.h = 2.247×10^{19} MeV
 1 calorie = 2.613×10^{13} MeV

Yakıt ısı değeri: Q

Q = kcal/Kg veya Q = kJoule/Kg = Katı veya sıvı yakıt ısı değeri (1 Kg yakıt yakıldığında elde edilen ısı miktarı)

Q = kcal/stm³ veya Q = kJoule/st.m³ = Gaz yakıt ısı değeri

Santral ısı tüketimi:

Santral brüt ısı tüketimi =

Q_{brüt} - (kcal/kwh brüt) veya (kJoule / kWh brüt)

Q_{brüt} = Kazana yakıt ile verilen toplam ısı miktarı (kcal) / Santralde elde edilen brüt enerji miktarı (kwh)

Santral net ısı tüketimi = Q_{net} (kcal/kwh_{net}) veya (kJoule/kwh_{net})

Q_{net} = Kazana yakıt ile verilen toplam ısı miktarı (kcal) veya (kJoule) / Santralde elde edilerek

sisteme verilen net enerji

miktarı (kwh)

Q_{net} < Q_{brüt}

Termik santral net verimi r_{net}

% $r_{net} = (860/Q_{net}) \times 100$ (ısı birimi olarak kcal kullanılmış ise)

% $r_{net} = (3600/Q_{net}) \times 100$ (ısı birimi olarak kJoule kullanılmış ise)

1 atmosfer = 1 atm = 1.013×10^6 dyne/cm² = 76 cmHg = 1.013×10^5 PASCAL

1 atm = 1.01325 bar = 760 tor

1 bar = 10^6 dyne/cm² = 0.1 Mpa (MegaPascal)

1 tor = 1 mmHg

6- TERMİK ELEKTRİK SANTRALLARINDA KULLANILAN YAKITLAR

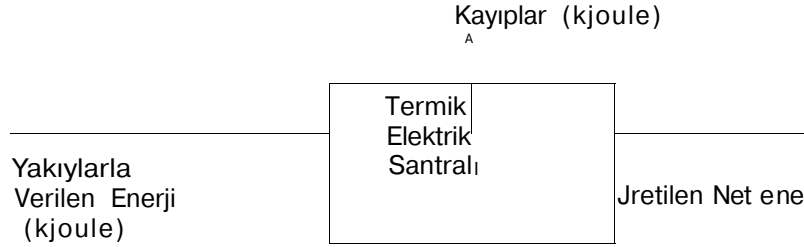
Daha önce de belirtildiği gibi termik elektrik güç santrallerinde yakıt olarak daha çok kömür, doğalgaz ve petrol kullanılmaktadır. Bunlar katı, gaz ve sıvı yakıtlar olarak da sınıflandırılabilir. Dünyada mevcut doğal yakıtların başında yer alırlar. Elektrik enerjisinin üretiminde yakıt olarak en önemli yeri katı yakıtlar dediğimiz taş kömürleri ve linyit kömürleri almaktadır. Dünyada elektrik enerjisi üretmek amacıyla termik santrallarda yakıt olarak kullanılan kömürlerin orjinal ısı değerleri 800 kcal/kg'dan 5000-7000 kcal/kg seviyelerine kadar çıkmaktadır. Bu kömürlerin içerdikleri kül oranı ise ağırlık olarak % 6-7'den % 30-40'lara kadar çıkmaktadır. Taş kömürleri dediğimiz kömürlerin ısı değerleri 5000~7000 kcal/kg arasında değişirken içerdikleri kül oranı ağırlık olarak % 6-12 arasında almaktadır. Linyit kömürlerin ısı

değerleri 1000 ile 4000 kcal/kg arasında değişirken içerdikleri kül yüzdeleri ise 20 ile 40 arasında değişmektedir.

Türkiye'de termik elektrik santrallerinde kullanılan kömürlerin ısı değerleri 1000 kcal/kg ile 3500 kcal/kg değerleri arasında, içerdikleri kül miktarları ağırlıklı olarak % 15 ile 35 arasında değişen linyit kömürleridir.

7- TERMİK SANTRALLARDA VERİM

Termik santrallarda genel olarak verim (η) belli bir zaman dilimi içerisinde, santralda net olarak üretilen enerjinin, gene bu zaman dilimi içerisinde santrala verilen enerjiye (aynı enerji birimlerinde) oranı ile elde edilir.



Verim:

$$\eta = \frac{\text{Üretilen Enerji (kWh)}}{\text{Verilen Enerji (kWh)}} * 100$$

Elektrik santrallerinde verim ölçümleri, Santrallerin kabulleri sırasında kabul testleri olarak, ve işletilmesi sırasında işletme verimliliği ölçme testleri olarak yapılır.

Kabul testlerinde elde edilen bir-iki saatlik verim değerleri ünitelerin en yüksek değerlerini gösterir. Santral işletmeciliğinde bu değerlere mümkün olduğunca yakın çalışmak zorunluluğu vardır. İyi bir işletmecilikle bu mümkündür.

Santral işletme verim ölçümleri, haftalık periyotlar içerisinde ani ölçümler şeklinde ve aylık, altı aylık, yıllık periyotlar için ise aylık, altı aylık ve yıllık zaman süreleri dikkate alınarak yapılmalıdır.

Ani verimlilik ölçümleri sırasında öncelikle kazandaki yanma incelenir. Çünkü iyi bir yanma yüksek verimliliğin yani enerji tasarrufunun ve çevre temizliğinin temel şartıdır.

Yanma kontrolü sırasında, yanma odasındaki alev gözetlenir, alev sıcaklığı ölçülür, baca gazı incelenir, gazdaki O_2 , CO ve duman miktarı ile gaz çıkış sıcaklığı tespit edilir.

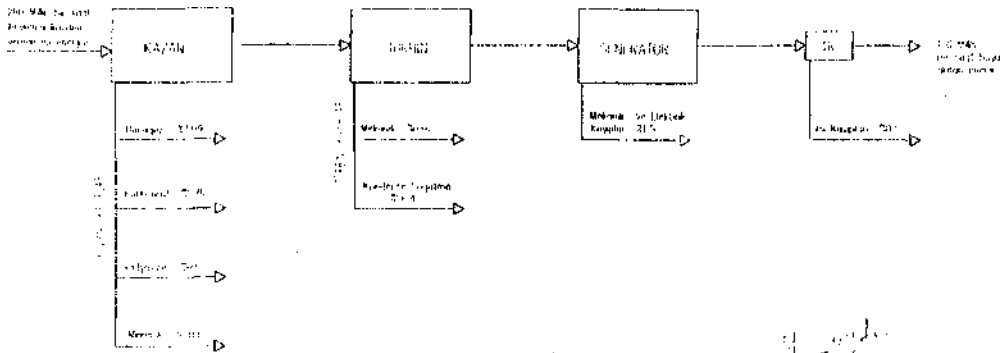
Kül ve Cüruftaki yanmamış karbon miktarı tespit edilir. Kazan, türbin ve yardımcı tesislerdeki su, buhar hatları kontrol edilir, varsa kaçaklar tespit edilir. Isıya maruz kalan bölgelerin izolasyonları kontrol edilir. Hasar varsa tespit edilir. İncelemeler ve ölçümler işletme şartlarında yapılmalıdır. Ölçümler raporlara geçirilerek verimde değişme olup olmadığı kontrol

edilmeli ve gerekli tedbirler vakit geçirilmeden alınmalıdır, çünkü her verim düşüşünün boşa giden bir enerji karşılığı vardır. Böyle ani verimlilik ölçümleri hafta da en az bir defa, konuyu bilen mühendisler tarafından mutlaka yapılmalıdır.

Aylık, altı aylıkve yıllık zaman süreleri için yapılan verimlilik hesapları, bu zaman dilimi içerisinde santrale ve ünitelere ayrı ayrı verilen toplam ısı (kWh) ile ünitelerden ve santraldan üretilen net elektrik enerjisinin(kWh olarak) birbirlerine oranı ile yapılmalı ve durum değerlendirilmelidir. Özellikle yıllık santral verimi hesaplanırken, kömür stok sahalarındaki kömür miktarı ve bu kömürün ortalama kalorisi kesin olarak standartlara uygun şekilde tespit edilmelidir. Ancak bu durumda santralin gerçek yıllık net verimi veya net ısı tüketimi hesaplanabilir.

Kömüre dayalı termik santrallarda verim çağımızdaki teknoloji gereğince oldukça düşük kalmaktadır. Modern bir termik santralda verim ancak test amacıyla ve kısa süreler için (bir veya iki saatlik) % 40 değerinin üzerine çıkabilmektedir. Şema-2 Saatte 100 MW net enerji üreten bir termik santraldaki kayıpların ne oranlarda nerelerde harcandığını göstermektedir.

ŞEMA-2



'>IIVI i (?)

Şemada görüleceği gibi orta bir termik santralda maksimum verim ancak % 38.4 civarında olabilmektedir. Bu değerin üç - beş değer daha üzerine çıkabilmek çok büyük ve modern ünitelerde mümkündür. Günümüzdeki teknik bilgi ve teknoloji koşulları mevcut kayıpları büyük çapta giderecek seviyede değildir.

Bununla birlikte % 38 değerine yaklaşmak böyle bir termik santralde işletmeciliğinin temel hedefi olmalıdır. Çünkü yıllık işletme süreleri dikkate alındığında termik santrallerin verimi % 30'lara kadar düşmektedir.

8- TERMİK SANTRALLARDA VERİM DÜŞÜKLÜĞÜNÜN NEDENLERİ

Modern bir termik santralda santral kayıplarının nedenleri şu şekilde sıralanabilir.

8/1- Teknolojiden kaynaklanan kayıplar: Şema-2'de görüldüğü gibi teknolojik kayıplar % 61 civarında olmaktadır. Bu kayıplar içerisinde en büyük yeri % 56 ile kondensenin soğutulması için soğutma suyu ile dışarı verilen ısı oluşturmaktadır. 100 MW elektrik gücü üreten bir santralda kondense soğutma suyu ile bir saatte dışarı verilen ısı 132.5 MWH elektrik enerjisi karşılığıdır. Gene böyle bir santralda kazandan çıkan bacagazı ve külleri ile dışarı atılan enerji karşılığı saatte 23.5 MWH elektrik enerjisidir. Bir saatte kazan, türbin, generator ve transformatör kayıpları toplam olarak, 100 MW elektrik gücü üreten bir santralda 160 MWH elektrik enerjisi karşılığı olmaktadır. Daha başka bir deyiş ile üretilen her 1 kWH karşılığında 1.6 kwh elektrik enerjisi karşılığı ısı çeşitli yollarla çevrimde harcanarak boşa verilmektedir.

8/2- İşletmecilikten kaynaklanan kayıplar: Modern termik santral işletmeciliğinde işletmeden dolayı meydana gelen kayıplar % 2yi geçmemektedir. Bu değeri aşan santral işletmeciliği kötü bir işletmenin örneğini oluştururlar. Çünkü bu kayıpları azaltmak işletme yönetiminin elindedir. Örnek olarak yılda 5 milyar kwh enerji üreten bir termik santralda işletme kayıplarını % 2 oranında azaltmak ile bedelsiz olarak geri kazanılan elektrik enerjisi 450 milyon kwh olacaktır. Bunun işletmeye mali katkısı net olarak (yaklaşık 3000 TL/kwh) elektrik satış fiyatı düşünülürse) 1.35 trilyon TL'yi aşmaktadır, (tablo-2)

İşletme kayıplarını etkileyen faktörler aşağıdaki gibi belirtilebilir;

- a- Yönetim
- b- Eğitim
- c- Kontrol ve testler
- d- Malzeme
- e- Bakım ve Revizyonlar
- f- İç Tüketim
- g- Yakıt
- h- Çevre

a- Yönetim Etkileri: Muhakkak ki her çeşit işletmede olduğu gibi termik santral işletmeciliğinde de yönetimin santral verimini etkilemekte büyük rolü vardır. Konuyu bilen, tarafsız, çalışkan, zeki yöneticilerin santral işletmeciliğine olumlu etkileri tartışılmaz.

b- Eğitimin Etkileri: Termik santral verimli ve güvenilir şekilde işletilebilmek için personel eğitiminin çok önemli bir yeri vardır. İyi eğitilen bilgili personelin çalıştığı işletmelerde verim ve güvenilirlik artmaktadır. Özellikle teknik eğitim işçi, teknisyen ve mühendis seviyelerinde sürekli geliştirilerek tekrarlanmalıdır.

c- Kontrol ve Testler: Santrallarda çevrim sürekli kontrol altında bulundurulmalıdır. Tüm ölçü ve kontrol sistemleri ile ölçü aletlerinin doğru çalışması, doğru değer göstermeleri, otomasyon sistemlerinin sağlıklı çalışması santral verimi için hayati önem taşıdığı gibi santralin emniyetini de güvenli kılar. Çevrimdeki buhar ve su kayıpları en kısa sürede giderilmeli, kazan ve buhar türbini nominal yüklerde çalıştırılarak sıcaklık, basınç, debi seviye ve diğer ölçümler ile yüzde oranları mümkün olduğu kadar ünitenin verim testlerinin yapıldığı işletme şartlarına çok yakın tutulmalıdır. Aşağıda gösterilen grafiklerde çevrimdeki çeşitli değerlerin sistem verimine etkileri görülmektedir.

d- Malzemenin Etkileri: termik santrallarda yüksek basınç, yüksek sıcaklık, yüksek aşınma ortamları, yüksek korozyon şartları ile yüksek gerilim ve akımların bulunması nedeniyle kullanılan malzeme ve teçhizatların bu çalışma ortam ve şartlarına uygun olmaları gerekir. Bu koşullara uygun malzeme ve teçhizatlar seçilmediği durumlarda termik santralların verimliliği ve kullanma faktörü önemli derecede düşer.

e- Bakım ve Revizyonların Etkileri: termik elektrik santrallarının verimli çalıştırılmalarında bakım ve revizyonların önemli yeri vardır. Bakımlar kesinlikle tamir etmenin dışında düşünülmelidir. Bakım işlemi tamir işlemine dönüştüğünde makinaların verimli ve güvenli çalışmaları mümkün olmaz. Ancak bakım, koruyucu işlevini gördüğü durumlarda güvenli bir işletme sağlanır. Koruyucu bakımın düzenli ve programlı yürütüldüğü santrallarda verimli bir işletme sağlandığı gibi, ani arızaların meydana gelmesi olasılığı azalacak ve dolayısıyla tamir bakım masrafları ile arıza nedeniyle üretilmeyen enerji de azalacaktır.

Aynı şekilde planlı-programlı yıllık revizyonlarında dikkatlice yürütülmesi durumunda termik santraldaki ünitelerin verimli çalışmaları sağlanmış olur.

f- İç tüketimin Etkileri: Termik santrallarda iç tüketim santralda üretilen brüt elektrik enerjisinin % 8'inden başlayarak, baca gazı arıtma tesislerinin bulunduğu santrallarda % 16'lara kadar çıkabilmektedir. Santraldaki iç tüketimin azaltılması için gerekli çalışmalar yapıldığında tabloda görüleceği gibi santral net üretiminde artış olacaktır.

g- Santral Verimine Yakıtın Etkileri: Kömürle çalışan termik elektrik santralinde ana hammadde girdisi kömürdür. Kazanda yakılacak kömürün kimyasal ve fiziksel özellikleri kazanın dizayn edildiği değerlere uygun olması gereklidir. Ancak bu durumda kazandan yüksek performans ve verim alınabilir. Bu durumda santral verim ve performansını doğrudan etkiler.

Türkiye'de termik santrallarda yakılan kömürler genelde içerdikleri kül oranı ve su miktarları nedeniyle yakıldıkları kazanların dizayn değerlerinin dışına çıkarlar.

Kömürlerdeki kül oranının artması, kömür hazırlama ve taşıma tesislerinde dar boğazlar meydana getirir. Bu dar boğazlar genellikle taşıma bantlarında hasarların olması, hatta yırtılmalar, kırma, eleme ve kazan kömür öğütme tesislerinde büyük çapta malzeme aşınmaları ve sistem tıkanmaları şeklin görürlerken üretimin aksamasına neden olurlar. Ayrıca kömür taşıma, hazırlama ve öğütme tesislerinde, kömür hazırlama birim enerji miktarı (kwh /ton kömür) tüketimi artarak iç ihtiyacın artmasına sebebiyet verir.

Buhar kazanının dizayn edildiği kömürde bulunması gereken yüzde kül oranından fazla kül miktarı içeren kömürler kazan içerisinde de üretimi etkileyen büyük sorunlara neden olurlar. Bu durumda kazan içerisinde fazla kül oluşacağından kazan basınçlı boru sistemlerinde aşınmalar artacak, özellikle kızdırıcı ve ekonomizerlerde boru patlamaları meydana gelecektir. Ayrıca aşırı kül ve cürufaların kazandan atılmaları aksayacak ve üniteye yük düşümüne veya ünitenin devre dışı kalmasına sebebiyet verecektir. Bu durum da zorunlu devre dışı kalma oranını ve devre dışı sayısını da arttıracaktır.

Kömürün içerdiği su miktarının dizayn kömüründeki değerden yüksek olması durumunda gene sistemde tıkanıklıklara, sıvanmalara, dolayısıyla aşırı malzeme aşınmalarına ve kazan yanma odasında sıcaklık düşmesine sebebiyet vererek santral yükünü ve verimini kötü yönde etkileyecektir. Türkiye'de termik elektrik santrallerinde yakılan kömürler genellikle buhar kazanlarının dizayn edildiği, kömürlere uymamaktadır. Bu nedenle termik santrallarda 1995 yılında yalnız kömür yetersizliği (Miktar ve kalite olarak) nedeni ile üretilmeyen enerji 9 milyar kWh kadar büyük bir değere ulaşmıştır.

Kazanlarda yakılacak kömürün içerdiği kül ve su yüzdelerinin kazan dizayn değerinden az olması halinde de kazanlarda sorunlar oluşmaktadır. Bu durumda kazana verilen kömürün ısı değeri yükselecek ve bu yüksek ısı değerli kömür kazanda yakılınca kazan performansını kötü şekilde etkileyecektir.

Düşük ısı değerine sahip kömürler için dizayn edilen kazanda daha yüksek ısı değerine sahip kömürler yakıldığında kazan içerisinde yüksek sıcaklıklar meydana gelecek ve bu durum kazanda büyük cürufanmalara neden olacaktır. Bu durum kazan yükünü ve verimini olumsuz şekilde önemli derecede etkiler Hatta böyle cürufanmalar nedeni ile ünitelerin devre dışı edildiği çok görülmüştür. Aynı şekilde kazan yanma odasındaki yüksek

sıcaklık nedeniyle kazan buhar sıcaklık kontrolünün yapılması zorlanacak ve neticede santralda yük düşümüne gidilecek ve hatta ünitenin devre dışı edilmesi bile zorunlu hale gelecektir.

Sanıldığıın tam aksine, kazan dizayn değerinden daha yüksek ısı değerlerine sahip olan kömürlerde santralin verimliliğini ve performansını düşürmektedir.

h- Çevre etkisi: Termik santrallardan modern yaşam için gerekli olan elektrik enerjisi elde edilirken, bir yandan da doğaya zarar verildiği bilinmektedir. Artık zamanımızda dünyamızın neresinde olursa olsun doğanın kirlenmesine göz yumulmamalıdır. Çünkü dünyamız bir anlamda küçülmüş, dünyanın bir yerindeki kirlilik yalnız o bölgeyi değil zamanla o bölgeden çok uzak bir bölgeyi de etkilediği görülmektedir. Bu nedenle dünyanın neresinde olursa olsun doğanın kirlenmesine çağdaş insanlar karşı çıkmaktadırlar ve karşı çıkılmalıdır.

Tüm sanai tesisleri gibi termik santral tesisleri de kurulurken ve işletilirken çevreye verecekleri zararları en aza indirecek tedbirler düşünülmeli, uygulanmalı ve işletme dönemlerinde sürekli denetlenmeleri gerekmektedir. Çevreye olan zararları en aza indiren tesislerin ön görülmediği yeni santralların kurulmalarına izin verilmemeli, bu tesislerin bulunmadığı ve işletilmekte olan santrallara da bir geçiş dönemi içerisinde bu çevre koruyucu tesislerin mutlaka eklenmeleri ve sürekli işletmede tutulup tutulmadıkları ve atıkların fiziki ve kimyasal değerleri devamlı kontrol altında tutulmalıdır.

Bir termik santralda çevreyi olumsuz şekilde etkileyen atıklar şöyle sıralanabilir:

1- Toz kirlenmesi

- a- Baca gazından dışa atılan küller
- b- Kömür taşıma, hazırlama ve stoklama ile kül taşıma ve stoklama sırasındaki tozuma kirlenmesi

2- Baca gazında bulunan kimyasal maddeler:

- a- Sülfür dioksid
- b- Nitrojen oksid
- c- Karbon monoksit
- d- Hidrokarbon'lar
- e- Oksidant'lar (No_x vs. gibi)

3- Santralda çevrimde kullanılan saf suyun elde edilmesi için su taşıma tesislerinde meydana gelen atıklar.

Termik elektrik güç santralleri işletilirken bu bahsettiğimiz çevreyi kirleten maddelerin çevreye etkileri çevre koruma standartlarının altına düşürülmediği takdirde santrallerin çalıştırılmasına merkezi ve yerel yönetimler tarafından müsaade edilmez. Santral yüksek parasal cezalara

maruz kalabilir ve hatta santralin devre dışı bırakılması bile söz konusu olabilir. Bu durumun örnekleride mevcuttur.

9- TERMİK ELEKTRİK SANTRALLARINDA PERFORMANS

Endüstrinin ve yaşamın en temel enerji kaynağı elektrik enerjisidir. Fakat elektrik enerjisini büyük çapta stoklamak mümkün değildir. Ancak üretim yerlerindeki ham maddesi stoklanabilir. Bu da kömür stoklamak, su biriktirmek şeklinde olur. Elektrik santralleri elektrik enerjisinin talabine göre otomatik olarak elektrik üretirler. Bu bakımdan elektrik Santrallerinin yüksek performansta çalışması, elektrik enerjisinin her an kullanılmaya hazır olmasını ve güvenilir olmasını sağlar.

Termik Santrallerinin performansları ayrı ayrı hesaplanan beş faktörle tespit edilir. Bu faktörler üniteler için ayrı ayrı hesaplandıkları gibi, yalnız santral içinde hesaplanır.

Bu faktörler şunlardır;

1) Kapasite kullanma faktörü= Toplam brüt üretim (Mwh) / Maksimum sürekli kapasite (MW) x
periyot süresi (saat)

2) Üretime hazır olma faktörü=Hazır olduğu saatler (toplam) / Periyot süresi (saat)(genelde 1 yıl)

3) Üretime hazır olma eşdeğer faktörü=Hazır olduğu saatler-(zorunlu devre dışı kalma saatleri+programlı devre dışı kalma saatleri) / Periyot süresi (saat) (genelde 1 yıl)

4) **(Zorunlu** devre dışı kalam oranı) = Zorunlu devre dışı kalma saatleri / serviste olduğu saatler+(zorunlu devre dışı kalma saatleri)

5) Devre dışı olma sayısı=Devre dışı sayısı / Periyot (1 ay, 6 ay, 1 yıl gibi)

Kapasite kullanım faktörünün düşük olması, elektrik santralına yapılan yatırımın, (1- kapasite kullanım faktörü) kadar boşa yapılması anlamına gelir. Bu da santralde yatırımdan gelen üretim maliyetini (TL / kWh) arttırır. Aynı zamanda ihtiyaç duyulacak elektrik enerjisini sağlamak amacıyla yeni yatırımların yapılmasını gerektirecektir. Termik santraller ise büyük para gerektiren pahalı tesislerdir. Bu tesislerin planlanarak işletmeye alınması 4-5 yıl gibi bir süre gerektirmektedir.

Termik elektrik Santrallerinin mutlaka yüksek kapasite faktörlerinde çalıştırılması için gerekli tüm tedbirler alınmalıdır, kalkınmış sanayii ülkelerinde santrallerin kapasite kullanım faktörleri yüzde 75 ' in üzerinde gerçekleşmektedir. Düşük kapasite kullanım faktörleri ile çalıştırılan santrallerde kapasite kullanım faktörünü arttırmak sureti ile elde edilecek enerji için yapılacak birim masraf (TL / kWh), yeni üniteler yapmak

sureti ile temin edilecek enerji ün yapılacak birim masraftan (TL / kWh) çok daha az olmaktadır.

Bu bakımdan düşük kapasite kullanım faktörü ile çalışan termik elektrik santrallerinde daha yüksek kapasite ve üretime hazır olma faktörleri ile çalıştırılması için gerekli tedbirlerin en kısa sürede alınması daha çabuk üretim artışı sağlayacak ve daha ekonomik olacaktır.

Termik elektrik santrallerinde devre dışı olma sayısı da önemli bir gösterge olarak görülmektedir. Normal olarak bir ünite yılda 3-4 defadan fazla sayılarda kontrolsüz olarak devre dışı olmamalıdır. Bir yılda bu sayılardan daha fazla devre dışı olan bir santralin enerji verme güvenilirliği zayıf demektir. Bu da müşteriler için risk oluşturur. Müşterilerin güvenini azaltır.

Ayrıca termik ünitelerinin çok sık devre dışı olması, santral verimini ve üretim maliyetlerinde kötü yönde etkilediği gibi, santralda daha başka beklenmedik arızaların oluşmasına ortam hazırlayan çeşitli tiplerdeki geçici rejimlerin doğmasına neden olur. Daha önemlisi santralin ömrü dahi ünitelerin devre dışı olma ve devreye alınma sayısının fazlalığı oranında kısalmaktadır. Çünkü yük baskı, yüksek sıcaklık ve yüksek debiler, yüksek elektrik gerilim ve akımların, üretildiği, ve taşındığı tüm malzemeler, geçici rejimler sırasında büyük çapta ısısal kuvvetlere-gerilimlere maruz kalırlar.

Tablo 3 te 150 MW gücündeki bir ünitenin, tam yükte çalışırken bir yılda çeşitli sayılarda devre dışı olması ve her seferinde yaklaşık 15 dakika devre dışı kalmasından sonra, enerji üretimine geçmesi halinde, bu onbeş dakikalık zaman içerisinde santral genel kayıplarına ilave olarak boşta harcanan net enerjinin kWh cinsinden karşılığı görülmektedir.

Tablo 3

		Ünitenin her seferinde 15 dakikalık süre boyunca devre dışı kalması halinde boşta harcanan ilave net enerji	
Unite net gücü	Unite genel kayıpları (η = % 61)	Yılda 5 defa devre dışı olma durumunda	Yılda 50 defa devre dışı kalma durumunda
150 MW	235 MW	$150000 \times 1/4 \times 5 = 187500 \text{ kWh}$	$150000 \times 1/4 \times 50 = 1875000 \text{ kWh}$

Tablodan da görüleceği gibi tam yükte çalışan 150 MW lik bir ünitenin yılda 50 defa 15 dakikalık süreler içinde devre dışı kalmasından dolayı, santral genel kayıplarına ek olarak, 1875000 kwh'lik enerji daha boşta harcanmış olacaktır.

Genel olarak termik elektrik güç Santrallerinin ve ünitelerinin performansının düşük olmasının nedenleri şunlardır.:

- 1- Düzenli periyodik bakımlarının aksaması
- 2- Genel ve kısmi revizyonların, bakım ve revizyon talimatlarına göre uygun olarak tam yapılmaması
- 3- Sistemin test ve ayarlarının en ileri seviyede yapılmaması

- 4- Kömürün, buhar kazanlarının dizaynı'na esas olan kömür değerlerine uymaması
- 5- Kömürün miktar olarak yetersiz kalması
- 6- Kazanlar için gerekli olan fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip suyun temin edilememesi
- 7- Kazan ve turbo-generatör yardımcı tesislerinin tam olarak çalışır vaziyette olması
- 8- Personelin eğitiminin, termik santraller gibi komplike sistemleri içeren tesislerin işletilmesine yetecek seviyede olması
- 10- Termik elektrik santrallerinde verimliliği yükseltmek ve santral performansını arttırmak için aşağıdaki tedbirler alınmalıdır.

1- Modern termik elektrik güç santrallerinde yüksek seviyede teknoloji kullanılmaktadır. En kaliteli, çeşitli özelliklerde malzemeler, bilgisayarlı ölçü kontrol sistemleri ve yüksek basınç ve yüksek sıcaklık değerlerinin bulunduğu üniteler ve yüksek gerilim elektrik tesisleri v.s.gibi karmaşık sistemlerin kullanıldığı termik elektrik santrallerinde çalışan tüm teknik personelin en iyi şekilde eğitilmeleri gereklidir. Bu personelin öncelikle fizik, kimya ve matematik gibi temel bilimlerde, bilgi dereceleri yeterli seviyelere getirilmelidir. Çünkü termik elektrik santrallerinde fizik, kimya ve matematik yoğun olarak kullanılmaktadır. Ancak bu temel bilgileri yeterince alan elemanlara santral birimlerine ait genel ve özel bilgiler yeterince öğretilir. Daha sonra santral işletme ve bakımlarıyla ilgili teorik ve iş başı eğitimleri ile personelin bilgi seviyeleri sürekli artırılmalıdır.

2- Santral ünitelerinin bakım ve revizyonları ile test ve ayarları en yüksek seviyede ve asla aksatılmadan periyodik olarak, işletme ve bakım talimatlarına uygun yapılmalıdır.

3- santral ünitelerinde performansı ve verimliliği düşüren arızaların tespiti edildiğinde, gerekli incelemeler yapılarak arıza nedenleri kesin olarak tespit edilmeli, arızanın ve problemin tekrarlanmaması için her türlü çalışma yapılmalıdır.

4- Santralde verimlilik test ve kontrolleri yapılmalı verimlilik kaybına sebep olan her türlü enerji kaçağı veya kaybının önüne geçilmelidir.

5- Kömür alınırken, kalori ve tonajının çok iyi bir şekilde normlara uygun olarak tespit edilmesi gerekir. Kömür taşıma ve hazırlama tesislerinde ve kömür park sahasındaki her türlü kömür ziyarı ve kalori kaybının önüne geçilmelidir, özellikle park sahaslarındaki kömürde meydana gelebilecek kömür yanmasına ve kalori kaybına azami derecede dikkat edilmelidir.

Aynı şekilde sıvı yakıt alımında da teslim alınan sıvı yakıtın tonajı doğru olarak tespit edilmeli ve sıvı yakıt stoklama ve yakma tesislerinde her hangi bir kaçak bulunmamalıdır.

6- Santral iç tüketiminde ciddi şekilde tasarruf sağlanmalıdır.

7-termik santral üniteleri nominal devamlı yükte ve nominal fiziksel ve kimyasal değer şartlarında işletilmelidir.

8- Buhar kazanlarında kullanılan su , mutlaka yetince saf olmalıdır. Sistemde kullanılan su ve buhardan örnekler alınıp gerekli analizleri yapılarak su ve buharın saflığı kalitesinden her an emin olunmalıdır.

9- Kazan içerisinde cüruf teşekkülüne müsadde edilmemelidir. Kazandaki tüm kurum üfleyiciler (Temizleyiciler) Çalışır durumda olmalı ve sistem kazanın durumuna göre aksatılmadan işletilmelidir.

Kazan borularının iç yüzeylerinde su kalitesinin bozukluğu nedeni ile meydana gelebilecek depozit kaplamaları ile boruların dış yüzeylerinde kül ergimesinden oluşan cüruflardan meydana gelen cüruf kaplamalarından oluşan tabakalar, *kazanda* ısı alış verişine aşağıdaki formülden görüleceği gibi büyük engel teşkil ederler.

$$q = k \frac{AT}{L} \quad \begin{array}{l} AT = \text{Sıcaklık Farkı} \\ L = \text{Depozit Tabakası Kalınlığı} \\ k = \text{Depozit Tabakası Isı Geçirgenliği} \\ q = \text{Isı Transferi} \end{array}$$

Kazan borularının iç ve dış yüzeylerinde meydana gelen depozit tabakalarının ısı geçirgenliği (k) kazanlarda kullanılan boru çeliğinin ısı geçirgenliğinden 30 - 40 defa daha azdır.

Bu nedenle kazan borularının iç yüzeyleri gibi (su tarafı) boruların dış yüzeyleri (ateş tarafı) de her türlü tabakadan temiz olmalıdır ki iyi bir ısı alış verişi sağlansın ve verimlilik artsın. Aksi takdirde kazan da yakıt yakılarak elde edilen ısı baca gazı ile dışarıya gidecektir.

10- Santral ünite ve birimlerinin tüm koruma testlerinin periyodik aralarla programlı olarak yapılması ve sonuçlarının % 100 başarılı olarak görülmesi gerekir.

11- santral ve ünitelerinin sık sık devre dışı olmalarının önüne geçilmelidir.

12- Su ve buhar sistemlerindeki sıcaklık sınırları ve sıcaklık değişim hızları limitleri aşmamalıdır.

12- Termik santrallerin çevreye zarar vermemeleri için her türlü tedbir alınmalıdır.

13- Santral ve üniteleri ile ilgili tüm değerler raporlar halinde saklanmalıdır.

11-SONUÇ

Enerji, tüm canlıların, yaşamlarını sürdürebilmeleri için önemli bir yaşama kaynağıdır. İnsanların beslenebilmek için ihtiyaç duydukları ve gıda yoluyla aldıkları enerjiden çok daha fazla enerjiye ihtiyaçları vardır. Ve insanların bu enerji ihtiyaçları sürekli artmaktadır. Çağımızda insanların en kolay ve rahat olarak kullanabildikleri ve kumanda edebildikleri enerji çeşitli elektrik enerjisidir. Bu bakımdan doğada mevcut tüm enerji çeşitlerinin öncelikle elektrik enerjisine çevrilerek insanların hizmetine, elektrik enerjisi şeklinde sunulması gerekmektedir. Yakıtlardaki kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çevirmek için termik elektrik santralleri geliştirilmiştir.

Ancak dünyamızda sınırlı miktarda enerji kaynakları vardır. Bu nedenle elektrik enerjisi üretilirken, taşınırken ve tüketilirken her kademedeki verimliliğe ve tasarrufa önem verilmelidir. Verimli ve yeterince üretim yapılmalı, çok tüketim değil, verimlilik sağlanarak az tüketilmelidir

Termik elektrik santrallerinde verimliliği ve kapasite kullanım oranını arttırabilmek için aşağıdaki tedbirler alınmalıdır;

- a) Buharkazanlarında dizayn kömüründeki özelliklere sahip kömürler yakılmalıdır.
- b) Termik santral nominal devamlı yükte ve nominal fiziki ve kimyasal şartlarda işletilmelidir.
- c) Buhar kazanlarında tam yanma sağlanmalı ve su-buhar çevriminde en küçük ısı kaybına neden olabilecek tüm kaçaklar giderilmelidir.
- d) Santral iç tüketiminde tasarruf sağlanmalıdır.
- e) Çok iyi ve etkin bir teknik büro oluşturulmalıdır.
- f) Santral ünitelerinin bakım ve revizyonları ile test ve ayarları en yüksek seviyede, asla aksatılmadan periyodik olarak işletme ve bakım talimatlarına uygun yapılmalıdır.
- f) Santrallerin yönetimine teknik ve ekonomik bilgi seviyeleri yüksek yöneticiler getirilmeli ve tüm teknik personel periyodik olarak devamlı termik santral işletmeciliği ve bakım konularında yeterli seviyede eğitilmelidir.

KAYNAKLAR

- 1- I.T.SHVETS ve V.I.TOLUBINSKY, "Heat Engineering" MIR PUBLISHERS.1980
- 2- Steam an Gas Turbines. MIR PUBLISHERS. 1988
- 3- Fossil Power Systems-Combustion Engineering.inc-1981
- 4- F.W. Payne-Efficient Boiler Operations. "The Fairmont Press.inc"-1991
- 5- A.T.STARR, "Generation, transmission and utilization of electrical Power" Pitman Publishing,1973
- 6- Simens-"Power Journal" May-1996
- 7- Sevki Şekerci, "Buhar Kazanları ve Buhar Türbinlerinde Randıman Taini", TEK Eğitim Müdürlüğü
- 8- David Halliday-Robert Resmek-Jearl Walker, "Fundamentals of Physics" John Wiley and sons, inc-1993