

## TERMİK SANTRALLERDE VERİMLİLİK ÇALIŞMALARI VE KAZANIMLAR\*

**Muzaffer BAŞARAN**

Makina Yüksek Mühendisi  
DEK TMMK Yönetim Kurulu Üyesi  
Sabancı Center, Levent, İstanbul  
mbasaran@enerjisa.com.tr

### ÖZET

Son yıllarda, iklim değişikliği konusu dünya gündeminin en başta gelen konularındandır. 450 ppm senaryosuna göre (maksimum 2 °C küresel ısınma) yıllık CO<sub>2</sub> emisyonları 2030 yılında referans senaryodaki 41 Gt'dan 26 Gt'a düşürülmelidir. Alınabilecek tedbirlerdeki en önemli madde, enerji verimliliğini hem tüketim hem de üretim tarafında artırmaktır. Yeni kurulacak kömürlü santrallerde eğer süper kritik kazanlar kullanılırsa verim; linyitli santrallerde %43 ve taşkömürü santrallerinde %46 civarındadır. Eski santrallerde verimi artırmak için çoğu ülkelerde rehabilitasyonlar yapılmaktadır. Kojenerasyonda verimi artırmak için önemli bir araçtır. Bu çalışmada kömürlü santrallerde verimi artırmak için yapılan çalışmalar incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Termik santraller, rehabilitasyon, verim artışı

## Efficiency Increasing Activities in Thermal Power Plants and Resulting Gains

### ABSTRACT

In recent years, climate change is one of the main items on the agenda of the World. According to 450 ppm scenario (max. 2°C global warming), yearly CO<sub>2</sub> emission should be reduced to 26 Gt in 2030 from 41 Gt according to reference scenario. From the mitigation actions, the main item is to increase energy efficiency in both consumption and production. In the new coal fired power plants the efficiency is around 43% in lignite and 46% in hard coal power plants if super critical boilers are used. In old power plants the rehabilitations are carried out in most countries to increase the efficiency. Cogeneration is also an important tool to increase the cycle efficiency. In this study, the activities to increase the efficiency in coal fired power plants are examined.

**Keywords :** Thermal power plants, rehabilitation, life extension, efficiency increase

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

## GİRİŞ

Son yıllarda “küresel ısınma” ve “iklim değişikliği” kavramları 2009'daki Kopenhag Zirvesi ve 2010'daki Cancun Zirveleriyle dünya gündemindeki yerini korumuştur. Hem Aralık 2009 Kopenhag Mutabakatında hem de Aralık 2010 Cancun Anlaşması'nda artan ortalama küresel sıcaklığın 2°C'la sınırlandırılmasında mutabakata varılmıştır.

Uluslararası Enerji Ajansının 2008 Dünya Enerji Görünümü (World Energy Outlook 2008) kitabı için hazırladığı Şekil 1'deki grafikte görüleceği üzere 3°C sıcaklık artışı için 550 ppm ve 2°C sıcaklık artışı içinde 440 ppm senaryosu hazırlanmıştır.

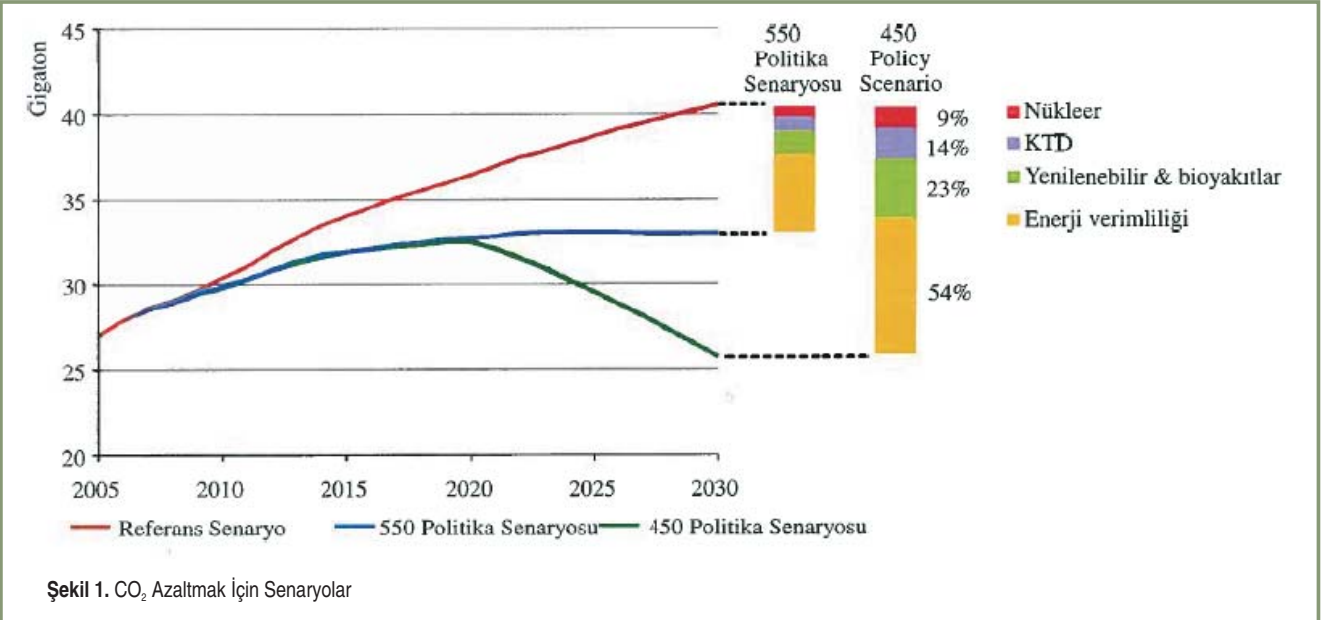
Referans senaryoya göre 2030'da 40 Gton'un üzerinde

gerçekleşecek olan yıllık CO<sub>2</sub> emisyonu 450 ppm senaryosuyla 26 Gtona düşmektedir. Bu düşüşte nükleer payı %9, Karbon tutma ve depolamanın payı %14 ve yenilenebilir enerji ve biyoyakıtların payı %23 iken enerji verimliliğinin payı %54 olmaktadır.

Burada tüketimde verimin artması yanında elektrik üretiminde verimin artması da önem kazanmaktadır. Bu çalışmada kömürlü santrallerde (buhar santralleri) verim konusu ele alınacaktır.

## BUHAR SANTRALLERİ

Klasik tip buhar santrallerinde ideal çevrim verimi Carnot çevrimiyle ifade edilmektedir.



Tablo 1. Türkiye'deki Linyit Santrallerinin Temel Parametreleri

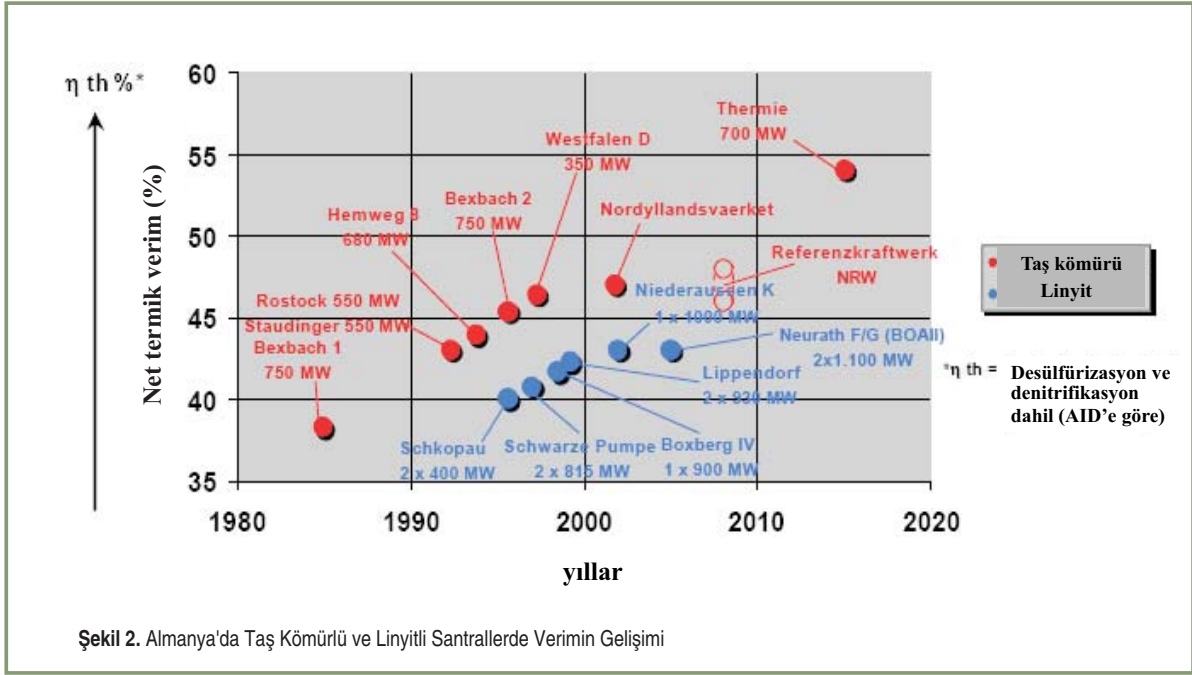
Parametre	Birim	AE-B	AE-A	Yatağan	Soma	Çan	Seyitömer
Kurulu Güç	MW	1.440	1.355	630	990	320	600
Ünite Güç	MW	360	340	210	165	160	150
Üretim kapasite	10 <sup>6</sup> kWh/yıl	9.100	8.100	5.518,8	6.435	2.080	3.900
Buhar debi	ton/saat	1.037	1.020	660	525	462	500
Kızgın buh. sıcaklık	°C	540	535	535	540	543	540
Kızgın buh. basınç	bar	167	194	139	142	174	140
Tekrar kızd. buh. sıc.	°C	540	535	535	540	542	540
Tekrar kızd. buh. bas.	bar	38	39	24	32	37	36
Besleme su sıcaklık	°C	250	255	243	234	251	250
Kondense vakum	Bar	0,07	0,07	0,0726	0,07	0,085	0,06
Santral Verim	%	38,95	31,27	33,56	30,01	42,00	37,07
Özgül ısı tüketimi	kCal/kg	2.208	2.750	2.568	2.886	2.048	2.710

$$\eta = 1 - T_{\min} / T_{\max}$$

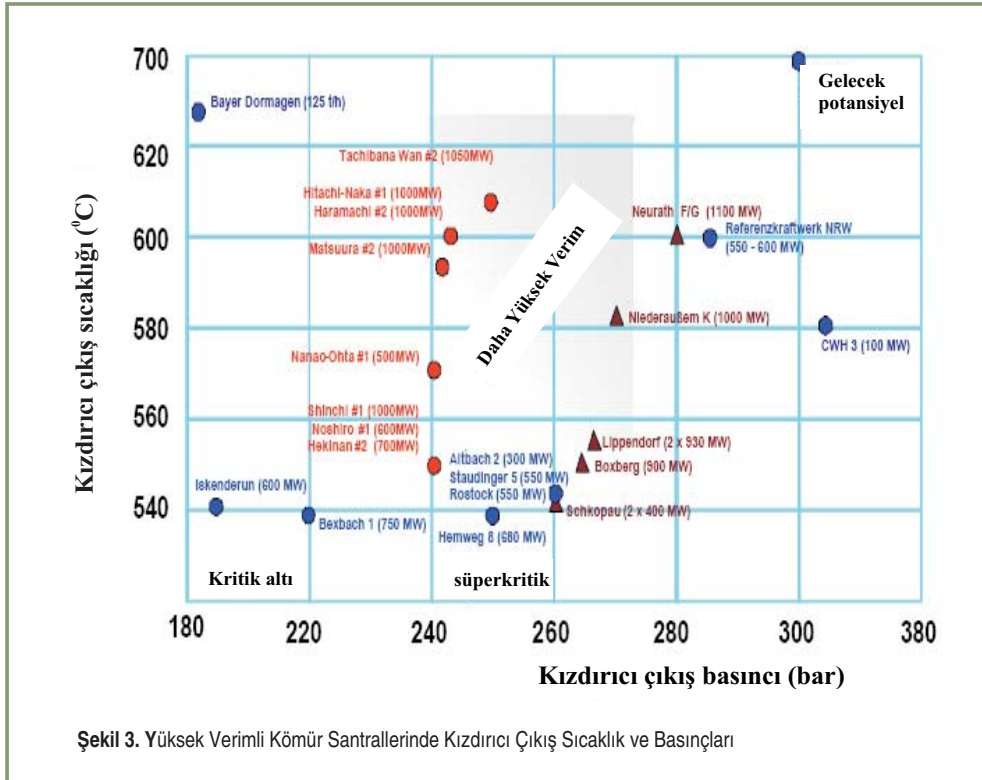
Bu formülden de görüleceği gibi çevrimdeki en yüksek sıcaklık ( $T_{\max}$ ) ne kadar yüksekse ve çevrimdeki en düşük sıcaklık ( $T_{\min}$ ) ne kadar düşükse çevrim verimi ( $\eta$ ) o kadar yüksektir.

Carnot çevrimi gerçekte uygulanamaz bir çevrim olduğundan daha gerçekçi olan Rankine çevrimi uygulamaya daha yakındır. Rankine çevriminde dört safha bulunmaktadır.

- Pompayla izantropik sıkıştırma,
- Kazanda, sisteme sabit basınçta ısı geçişi,
- Türbinde izantropik genişleme,



Şekil 2. Almanya'da Taş Kömürlü ve Linyitli Santrallerde Verimin Gelişimi



Şekil 3. Yüksek Verimli Kömür Santrallerinde Kızdırıcı Çıkış Sıcaklığı ve Basınçları

d. Yoğuşturucuda sistemden sabit basınçta ısı atılması.

Rankine çevriminde verimi artırmak için kullanılan iki yaygın uygulama vardır.

Kazandan gelen yüksek basınçtaki kızgın buhar türbinde genişleşip basınç ve sıcaklığı düştükten sonra tekrar kazana gönderilir ve sıcaklığı tekrar yükseltilir. Bu uygulamaya santrallerde “tekrar kızdırma” adı verilir. Diğer uygulama ise türbinden ara buhar alıp besleme suyu ısıtıcılarına gönderilmesidir.

Klasik tip buhar çevrimlerinde hem kazanda kızdırıcılardan çıkan kızgın buhar, hem de tekrar kızdırıcıdan çıkan tekrar kızdırılmış buhar 530-540°C civarlarındadır. Kızdırıcıdaki buhar debisi ve basıncı ise santral ünitesinin gücüne göre farklılık gösterir. Türkiye'deki bazı santrallerden örnekler Tablo 1'de verilmektedir.

Kazan kızdırıcı çıkışında sıcaklığın 540°C'dan 600°C'ın ve basıncın 140-180 bar yerine 250 barın üzerine çıkmasıyla süperkritik kazanlı santrallerde verim %40'ların üzerine çıkmıştır. Japonya'da Tomatoh-Atsuma Santrali 4. ünitesinde %44,2'ye, Danimarka'da taş kömürü yakan Nordylland-svaerket'de % 47, Almanya'da linyit yakan Niederaussen'da %43'e ulaşılmıştır.

Türkiye'de henüz süperkritik kazanlı santraller yoktur ve ancak yeni ithal kömürlü santrallerle gündeme gelebilir.

## KÖMÜRLÜ SANTRALLERDE REHABİLİTASYON KAVRAMI

Santraller genel olarak belli bir süre çalıştıktan sonra dizayn edildikleri performansın gerisine düşmeye başlarlar. Emre amadelikleri, güvenilirlikleri, verimleri düşer. Santralin bazı parçalarının kalan ömürleri konusunda da tereddütler oluşmaya başlar.

Üretimde, emre amadelikte düşüş yaşanınca elektrik üreten şirketler önemli bir karar vermek zorundadırlar. Ya yeni santral yaparak kurulu güçlerini artırmak ya da mevcut santralde rehabilitasyon yapmak, yani eski santralde yenileme yaparak santralin düşen performansını iyileştirirken diğer taraftan da santralin ömrünü uzatmak. Zaten konuyla ilgili literatür taraması yapıldığında “rehabilitasyon” kelimesinden çok “life extension” (ömür uzatma) kavramıyla karşılaşılacaktır.

## SANTRALLERİN YAŞLANMASI

Santrallerin performans düşüklüğünün ana nedeni olan yaşlanma, dört temel mekanizmanın birisi veya birkaçının oluşmasıyla ortaya çıkar.

### Sünme (Creep)

Sünme (Creep) katı malzemelerin aşırı stresin etkisiyle daimi olarak şeklinin değişmesidir (deformasyon). Sünme uzun süre sıcaklık ve basınca maruz kalan malzemelerde daha ciddi bir sorundur. Sünme sonucu oluşan deformasyonun hızı,

malzeme özelliklerine, aşırı strese maruz kaldığı süreye, sıcaklığa ve uygulanan yapısal yüke bağlıdır. Uygulanan stres ve bunun süresinin boyutlarına bağlı olarak deformasyon o kadar çok olabilir ki artık o parça fonksiyonunu yerine getiremez hâle gelir. Örneğin bir türbin kanadındaki deformasyon, kanadın iç silindire sürtmesine yol açar, bunun sonucu kanat kırılabilir.

Kırılmalardan kaynaklanan kırılmaların aksine sünmeden kaynaklanan deformasyon stresin uygulanmasıyla aniden oluşmaz, aksine uzun süreli stres neticesi oluşan gerilimin birikmesiyle oluşur. Sünme zamana dayalı bir deformasyondur.

Santralde ise; kazanlarda kızdırıcılarda, tekrar kızdırıcılarda, boru peteklerinin kolektörlerinde, türbin rotor ve mahfazalarında, ana buhar borularında, vanalarda, civata ve saplamalarda yüksek basınç ve sıcaklıktaki buhar sebebiyle ortaya çıkabilir.

### Yorulma (Fatigue)

Periyodik olarak inip çıkan yüklere veya strese tabi olan malzemelerde zamanla ilerleyen, lokal olarak yapısal hasarlara yorulma denir. Yorulma hasarı kümülatiftir. Yük ve stres ortadan kalksa da malzeme eski haline dönemez Yorulma ömrü; sıcaklık, yüzeyin işlenme düzeyi, mikroyapı, oksitleyici veya inert kimyasalların bulunması, başka parçalarla temas, parçanın bünyesindeki streslerden etkilenecektir.

Bazı tip malzemelerin (örneğin bazı çelikler ve titanyum alaşımları) teorik bir yorulma limitleri vardır. Bu limitin altında devamlı yükleme de olsa hasar meydana gelmez. Yorulmada lokal kılcal çatlaklar oluşmaktadır.

Santralin türbin rotorunda, kanatlarda, kazan kolektörlerinde, domda, kazan borularında, pompa ve fan elemanlarında ve generator sargı suportlarında yorulma görülebilir.

### Korozyon

Bir malzemenin çevresiyle kimyasal tepkimeye girerek temel özelliklerini kaybetmesine korozyon denir. En çok bilinen şekliyle metallerin elektronlarını kaybederek su veya oksijenle reaksiyona girmesidir. Örneğin demir oksijenle reaksiyona girerek mukavemeti düşer ve buna paslanma da denir. Korozyon belli noktalara konsantre olup çatlak veya çukurluklar (pitting) oluşturabilir. Korozyonun önlenmesi için metal üzerine ince bir koruyucu film oluşturmaya pasivasyon adı verilir. Ancak pasivasyonun tam olarak uygulanmadığı bölgeler, korozyonun hemen başlayabileceği noktalaradır.

Çok yüksek sıcaklıklarda metallerde oluşan kimyasal bozulmaya yüksek sıcaklık korozyonu denir. Ancak bunun olabilmesi için ortamda oksijen veya oksitlenmeye yardımcı olacak kimyasalların bulunması gerekir.

Özellikle su bulunan ortamlarda metallerin elektrod durumuna geçip elektroliz oluşmaya başlar ve metallerde zamanla eksilmeler başlar. Bunu önlemek için özellikle boru

sistemlerinde, tanklarda katodik koruma yapılmalı, eğer varsa kurban elektrodlar periyodik olarak kontrol edilmelidir. Aksi takdirde santrallerde soğutma suyu, yangın suyu hatlarında delinmeler olduğu görülecektir.

## Aşınma (wear, erosion)

Katı yüzeyler, diğer katı, sıvı veya gaz maddelerin sürtünmesiyle aşınırlar. Aşınmanın boyutu genellikle aşınan yüzeyin hacmi olarak ifade edilir. Bir tesiste çalışan bir parçanın ömrü, boyutlarındaki kayıplar önceden belirlenen tolerans sınırlarını aşarsa, sona erer.

Santrallerde aşınmanın boyutunun büyük olduğu yerler, kazan boruları, türbin kanatları ve diskleri, kül tutucular, baca gazı yıkayıcı kuleler, bacalar ve hava ön ısıtıcılarıdır. Baca gazındaki küller, kazan borularında, hava ön ısıtıcılarında, elektro filitrelerde, cebri çekme fanlarında aşınmaya neden olacaktır.

## REHABİLİTASYON YAPMANIN NEDENLERİ

Rehabilitasyon yapmanın sebepleri dört başlık altında toplanabilir.

- Teknik Sebepler,
- Ekonomik Sebepler,
- Çevre Mevzuatı
- Şebeke Gereklere

### a. Teknik Sebepler

- Santral ömrünün uzatılması
- İşletme problemlerinin giderilmesi
- Bakım işlerinin azaltılması
- Teknolojik yeniliklerin uygulanması

### b. Ekonomik Sebepler:

- Üretilen elektrik enerjisi miktarını artırmak
- Verimi artırmak
- Emre amadeliliği ve güvenilirliği artırmak
- Generatör ve diğer ekipmanlarda kayıpları azaltmak
- İşletme süresini artırmak

### c. Çevre Mevzuatı

- Olmayan santrallere Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi eklenmesi
- Toz emisyonunu azaltmak için elektro filitrelerin rehabilitasyonu
- NO<sub>x</sub> arıtma tesisleri
- Atık sular için arıtma tesisleri yapımı

### d. Şebeke Gereklere

- Frekans kontrolü
- Reaktif güç

## REHABİLİTASYON KAPSAMININ BELİRLENMESİ

Rehabilitasyon kapsamını belirlerken aşağıdaki süreç takip edilir.

- İşletme dönemiyle ilgili verilerin toplanması,
- Kapsamlı saha incelemesi ve test programının belirlenmesi,
- Kazan, türbo-generatör, değirmenler, elektrofiltreler ve diğer ekipmanlarda performans testlerinin yapılması,
- Test sonuçları ve işletme verileri analiz edilerek güvenilirliği, verimi azaltan, santralin devre dışı olmasına yol açan ve çevre kirliliğine yol açan ekipmanların belirlenmesi,
- Her arıza analiz edilirken şu sorulara cevap aranır.
  - Bu arıza santralin güvenli çalışmasını etkilemekte midir?
  - Arızanın sebepleri nelerdir?
  - Arızanın her bir nedeni için düzeltici aktivite nedir?
  - Her düzeltici aktivite için fayda, maliyet analizi yapılmalıdır.
  - Söz konusu ekipman rehabilitasyon programına alınmalı mıdır?
  - Rehabilitasyona tabi tutulması ihtimali olan ekipmanları güvenilirliğe ve performansa etkisi ve fayda maliyet analizi sonuçlarına göre öncelik sırası oluşturulacaktır.
  - Rehabilitasyon kapsamına girip girmeyeceği değerlendirilen işler dört sınıfta toplanabilir.
    1. Güvenli bir işletme için gerekli olan veya yasa gereği yapılması gereken işler,
    2. Ekonomik olarak çekici görünen ve uygulanması uygun olan işler,
    3. Maliyeti düşürücü olmayan ve ekonomik olarak çekici olmayan işler,
    4. Daha fazla inceleme ve değerlendirme gerektiren işler.

## DÜNYADA REHABİLİTASYON

Yeni santrallere yatırım yapmak yerine eski santrallerde rehabilitasyon yaparak ömrünü uzatmak artık tüm dünyada kabul görmüş bir uygulamadır. Ancak ömür uzatma, üretimi, verimi, emre amadeliliği artırma gibi bilinen nedenlere ilaveten sadece NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşürme ve su tüketimini azaltma gibi nedenlerle büyük rehabilitasyonların yapıldığı görülmektedir.

### ABD

ABD'deki kömür santrallerinin çoğu yaşlı olmasına rağmen 2007'de elektriğin yaklaşık %49'u kömürlü santrallerden karşılanmıştır. Buna karşılık elektrik sektörü CO<sub>2</sub> emisyonunun da %82'si kömürlü santrallerdendir. Kömürlü santrallerin ortalama verimi %32 olsa da %20 ve altında

verimle çalışan santrallerde vardır. 2030 projeksiyonlarında elektrik sektörü emisyonlarının %62'sini mevcut kömür santrallerinden kaynaklanacağı hesaplanmaktadır.

ABD Enerji Bakanlığının yaptığı bir çalışmada hangi çalışmalarla verimin ne kadar artırılabilirliğini gösteren bir tablo hazırlanmıştır.

Ancak ABD'nin 1977'de çıkardığı Temiz Hava Kanunu (Clean Air Act), verim artırıcı çalışmaları ve rehabilitasyonları önleyici bir rol oynamıştır. Bu Kanun'da yer alan Yeni Kaynak İncelemesi (NSR New Source Review) mekanizmasına göre,

Tablo 2. Santral Verim Artışı İçin İyileştirmeler

İyileştirme çalışması	Verim artışı (%)
Hava ön ısıtıcısı optimizasyonu	0,16-1,5
Kül atma sistemi yenilenmesi	0,1
Kazan hava ısıtıcı yüzeyi artırılması	2,1
Yanma sistemi optimizasyonu	0,15-0,84
Kondenser optimizasyonu	0,7-2,4
Soğutucu sistem performansının iyileştirilmesi	0,2-1,0
Besleme suyu ısıtıcıları optimizasyonu	0,2-2,0
Baca gazı nemi alınması	0,3-0,65
Baca gazı ısısının alınması	0,3-1,5
Kömür kurutma sistemi kurulması	0,1-1,7
Ölçü kontrol sistemi iyileştirilmesi / yenilenmesi	0,2-2,0
Cüruflanma ve yanma odası kirlenmesinin azaltımı	0,4
Kurum üfleyicilerin optimizasyonu	0,1-0,65
Buhar kaçaklarının azaltılması	1,1
Buhar türbini iyileştirilmesi	0,84-2,6

Tablo 3. ABD'de Santral Verimleri

Tip	Tesis yılı	Ünite sayısı	Kapasite (MW)	Üretim 10 <sup>9</sup> kWh	Ortalama verim %	Verim bandı	Üst %10 verim ort.
Subkrit.	1969 öncesi	410	77.789	447	31,3	19,1-40,9	36,3
Subkrit.	1970-1989	273	127.675	824	31,4	20,5-38,7	36,3
Subkrit.	1990-2008	27	7.477	51	29,9	21,1-37,6	35,9
ALT TOPLAM		710	212.942	1.322	31,3	19,1-40,9	36,4
Superkrit.	1969 öncesi	34	19.467	114	34,6	22,5-40,1	38,8
Superkrit.	1970-1989	74	60.169	398	35,1	29,8-41,0	39,1
Superkrit	1990-2008	1	1.426	10	40,2	40,2	40,2
ALT TOPLAM		109	81.062	522	35,1	22,5-41,0	39,3
<b>GENEL TOPLAM</b>		<b>819</b>	<b>294.004</b>	<b>1.844</b>	<b>31,8</b>	<b>19,1- 41,0</b>	<b>37,4</b>

yeni kurulacak santraller için sıkı limitler getirmektedir. 1971 öncesi kurulan santraller NSR incelemesinden muaftır. Eski bir santralda normal bakım onarımın üzerinde yapılacak verim artırıcı çalışma da NSR mekanizmasına tabi olacağından; NSR, bu çalışmaları caydırıcı bir rol oynamaktadır. Bu kanuna dayanarak Çevre Koruma Kurumu (EPA-Environmental Protection Agency) çok sayıda elektrik şirketi aleyhine dava açmıştır. Gerekçeleri de verim artırıcı çalışmalarla santrallerin emre amadeliklerinin artacağı, maliyetlerinin düşeceği ve sonuçta daha uzun çalışarak daha çok emisyonu neden olacaklardır.

EPA tarafından aleyhlerine dava açılan şirketlerin biri olan Wisconsin Electric (WE) Power Company, 1990'larda kömürlü santrallerinde bir seri iyileştirmeler yaparak %2 ile %11 arası verim artışı sağlamışlardır.

Tablo 3'ten görüleceği gibi yaş gruplarına göre ortalama verimle o gruptaki en iyi %10'un ortalama verimi arasında %5 civarında bir fark vardır. Yapılacak iyileştirmelerle %5'lik verim kazanılırsa yapılan hesaplara göre 2030'da aynı miktar üretim için 88 milyon ton daha az kömür yakılıp 250 milyon ton daha az CO<sub>2</sub> emisyonu oluşacaktır.

#### Hindistan

Hindistan elektrik talebi en hızlı artan ülkelerden birisidir ve şu anda elektriğinin %70-80'i kömürden karşılanmaktadır. 2030 projeksiyonlarında da kömürün payı %60'ın üzerindedir. Ancak Hindistan'daki kömür santrallerinin çoğu yaşlanmış, verim ve emre amadelikleri düşmüştür. Bu sebeple Hindistan kömür santralleri için kapsamlı bir rehabilitasyon programı başlatmıştır. Burada kazanlar, türbin ve kondenserler, bu programda iyileştirilmesi planlanan ana ekipmanlardır. Bu çalışma sonucu üretimin %30, verimin %23 artması ve çevresel etkilerin %47 düşürülmesi ve santral ömürlerinin 15-20 yıl uzatılması hedeflenmiştir.

Kazanlarda değirmenler büyütülecek, basınçlı parçalar değişecek, hava ön ısıtıcılarda tadilat yapılacak, yakıcılar

yenilenecek, hava sistemi iyileştirilecek, elektro filtrelere yeni hücreler eklenecektir.

Türbinlerde en son dizayn kanatlar takılacak, kondenser borularında yeni malzeme kullanılacak, pompalar ve besleme suyu ısıtıcılar daha verimli olanlarla değiştirilecek, vakum sistemi yenilenecektir.

Bu arada elektrik ve otomasyon sistemlerinde de en son teknoloji kullanılacaktır.

Birinci etapta 13.570 MW'lık 45 santral ve 163 ünite rehabilitasyon çalışması tamamlanmıştır. Kapasite kullanım faktörünün %49'dan %75'e çıkması ve ilave üretimde 23,7 milyar kWh olması hedeflenmiştir.

İkinci etapta 20.569 MW'lık 194 ünite rehabilitasyonu başlatılmıştır. Üçüncü etapta ise 17.306 MW'lık 127 ünite için rehabilitasyon programı başlatılmıştır. Dördüncü etapta 14.270 MW'lık 57 ünite ve beşinci etapta 7.395'lik 34 ünite için program hazırlanmıştır.

## Polonya

Polonya elektriğinin %95'den fazlasını kömürden üretmektedir. Santrallerinin önemli bir kısmı da 40 yaşın üzerindedir. Polonya'da santral ömrünü uzatma yanında özellikle NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşürmek önemli bir rehabilitasyon nedenidir.

Polonya'da çok sayıda pulverize kazan (PF boiler), sirkülasyonlu akışkan yataklı kazanla (CFB Circulating Fluidised Boiler) değiştirilmiştir. PF kazanlarda yanma odası sıcaklığı 1100-1500 °C civarında olurken CFB kazanlarda sıcaklık 840-900 °C arasındadır, bu sebeple NO<sub>x</sub> oluşacak sıcaklığa çıkılmamaktadır.

Polonya'da PF kazanlarının CFB kazanlarıyla değişimine iyi bir örnek Turow Santralidir. Her biri 200 MW gücünde olan ilk üç ünitenin güçleri 235 MW'a çıkarılmış ve teknolojiye hızlı gelişmeler sonucu ikinci üç üniteye ise güçler 261,6 MW'a çıkarılmıştır.

Ancak Polonya'da aynı tip PF kazanla devam etme kararı alındığında düşük NO<sub>x</sub>'li kömür yakıcıları kullanılmıştır. Yakıcıların hava debisi kısılarak alev sıcaklığının yükselmemesi sağlanırken yakıcı üstü hava sistemi (OFA Over Fire Air) geliştirilmiş ve yanma odası sıcaklığı düşürüldüğü için, NO<sub>x</sub> oluşumu da azaltılmıştır. Sadece yakıcı değişimiyle NO<sub>x</sub> seviyeleri 200 mg/m<sup>3</sup>'ün altına inmektedir. Yeni yakıcılarla yanma odasında sıcaklığın düşmesi, kazandaki cürufanma problemini de azaltmaktadır.

Buna ilaveten yeni geliştirilen sulu kurum üfleyicileri, eski kurum üfleyicilerinde olduğu gibi monte edildiği evaporatör (buharlaştırıcı) duvarına değil de karşı duvara su püskürtmektedir. Bu kurum üfleyicileri bilgisayar kontrollü hareket edebilir kafalarıyla karşı duvarda geniş bir sahanın cüruftan temizlenmesini mümkün kılmaktadır.

Polonya'da bulunan 60'm üzerindeki 200 MW'lık türbo – generatör gruplarında rehabilitasyon yapılarak güç 230 – 240 MW'lara çıkarılmış ve ısı tüketimleri de %5 civarında azaltılarak verim yükseltilmiştir.

## Çin

Çin'de çok sayıda yapılan rehabilitasyona örnek olarak Shandong Elektrik Şirketinin Huangtai Santrali 7. ünitesi için Japan Kyushu Electric Power Şirketi'yle yaptığı işbirliği verilebilir. 300 MW'lık bu ünitenin verimi zaman içinde orijinal dizayn değerinden %4,5 düştüğü tespit edilmiş ve kazan borularında biriken kül ve cürufu azaltıcı çalışmalar, yüksek ve alçak basınç türbinlerinde yapılan tadilatlarla verim %33,17'den, %37,57'e çıkarılmıştır. Buda, yılda 90.000 ton az kömür yakılarak, 210.000 ton daha az CO<sub>2</sub> emisyonu anlamına gelmektedir.

## TÜRKİYE'DE REHABİLİTASYON

Türkiye'de santrallerin kurulu gücü 1 Haziran 2011 itibarıyla 50.475,5 MW'dır. Bu kurulu gücün %47,9'u olan 24.158,2 MW'ını EÜAŞ işletmektedir. EÜAŞ Santrallerinin 11.633,3 MW'ı hidrolik ve 12.524,9'u MW'ı termik santrallerdir. EÜAŞ Termik Santrallerinin çoğu yaşlıdır. Ortalama yaşları 30 yılın üstündedir.

EÜAŞ Termik Santrallerinin 7.761 MW'ı kömür santralleri olup Türkiye'deki yerli kömür santrallerinin (8.474,7 MW) %91,6'dır. Dolayısıyla Türkiye'de kömür santrallerini incelemek gerektiğinde EÜAŞ santrallerine bakmak gerekir. Bu santrallerin 2002-2009 yılları çevrim (termik) verimleri Tablo 4'te verilmektedir.

Santrallerdeki verim düşüklüğünün nedenlerine örnek olarak Afşin Elbistan A Santralinde Japon Chubu Elektrik Firmasının yaptığı bir çalışma Tablo 5'te özetlenmektedir.

Santrallerin performansını iyileştirmek için EÜAŞ bir rehabilitasyon programı başlatmıştır.

Yapılan ve yapımı devam eden önemli rehabilitasyonlar aşağıda özetlenmektedir.

**Yatağan:** 3. üniteye yanma optimizasyonu yapılmıştır. Frekans kontrolü teçhizatı kurulacak ve elektro filtre rehabilitasyonu yapılacaktır.

**Yeniköy:** Kazanda büyük çaplı rehabilitasyon yapılmıştır. Frekans kontrolü teçhizatı kurulacaktır.

**Kangal:** Elektro filtre rehabilitasyonu yapılmış ve frekans kontrol sistemi kurulmuştur. Kazanda kapsamlı bir rehabilitasyon yapılmıştır.

**Soma:** Elektro filtre ve luvo rehabilitasyonu yapılmış ve frekans kontrol sistemi kurulmuştur.

**Seyitömer:** Elektro filtre ve luvo rehabilitasyonu yapılmış ve frekans kontrol sistemi kurulmuştur. Yağ yakıcılar değişmiştir.

**Tablo 4.** EÜAŞ'a Ait Kömür Yakan Santrallerin Çevrim Verimleri (%)

Santral	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Afşin Elbistan A	28,92	27,25	27,18	30,22	31,10	30,38	29,71	28,17
Afşin Elbistan B	-	-	-	-	35,65	37,34	35,37	35,13
Çan	-	-	-	-	39,54	39,07	39,12	35,57
Çatalağzı	32,02	30,93	30,72	27,40	28,22	27,62	27,91	30,81
Kangal	30,05	30,84	30,35	29,73	29,54	29,17	31,08	33,64
Kemerköy	33,10	33,26	34,86	34,96	34,27	32,96	33,53	33,69
Orhaneli	38,19	39,06	38,49	35,94	33,91	35,15	32,93	34,37
Seyitömer	33,45	33,18	32,77	34,12	32,58	34,17	32,05	32,08
Tunçbilek	30,79	32,98	34,88	31,24	35,62	33,23	32,02	32,13
Soma A	30,52	28,62	27,49	27,45	28,72	28,25	25,61	30,22
Soma B	32,45	30,83	29,21	30,44	31,52	30,34	31,75	30,37
Yatağan	32,65	32,00	33,00	33,20	31,60	33,04	32,66	30,49
Yeniköy	35,52	33,75	37,65	39,29	35,81	37,37	33,60	33,63

**Tablo 5.** Afşin Elbistan A Santralinde Verim Düşüklüğünün Nedenleri

Nedenler	Isı Tüketimi (Heat Rate kCal/kg)	Brüt ünite verimi (%)
Dizayn değeri	2.352,0	36,6
Aşırı hava kaçağı	269,8	-3,8
Yüksek baca gazı sıcaklığı	74,5	-0,9
YB Besleme suyu ısıtıcıları devre dışı	73,5	-0,9
Kondenser vakumu yüksek	51,8	-0,5
YB türbininde verim kaybı	32,5	-0,4
Aşırı tekrar kızdırıcı püskürtme suyu	24,1	-0,2
Diğer	46,8	-0,5
Mevcut durum	2.925	29,4

**Orhaneli:** Elektro filtre ve luvo rehabilitasyonu yapılmış ve frekans kontrol sistemi kurulmuştur. Yağ yakıcılar değiştirilmiştir. 6 kV sistemi yenilenmiştir.

**Çatalağzı:** Elektro filtre ve luvo rehabilitasyonu yapılmış ve frekans kontrol sistemi kurulmuştur. Yağ yakıcılar değiştirilmiştir.

**Tunçbilek:** Luvo rehabilitasyonu yapılmış ve frekans kontrol sistemi kurulmuştur.

Afşin Elbistan A Santrali rehabilitasyonu için Dünya Bankasından alınan 280 milyon €'luk kredi ihalelerden sonuç alınmadığı için maalesefiptal edilmiştir.

EÜAŞ santral kazanlarında 1000 km'nin üzerinde boru değiştirilmiştir.

**Tablo 6.** Rehabilitasyonlar Sonucu Geri Kazanımlar (milyon kWh)

Santral	Rehabilitasyon sonu
Afşin Elbistan A	4.856
Çatalağzı	201
Kangal	810
Orhaneli	321
Seyitömer	815
Tunçbilek	1.083
Soma B	2.756
Yeniköy	529
<b>Toplam</b>	<b>11.371</b>



EÜAŞ Genel Müdürünün yaptığı bir sunuma göre rehabilitasyonlar sonucu kömür santrallerinden elde edilmesi hedeflenen üretim artışı Tablo 6'da verilmektedir.

## KOJENERASYON

Klasik tip kömür kullanan kazanlı bir santralde verim %35'lerde, superkritik kazan kullanan santrallerde verimin %43-47 olduğu belirtilmişti. Kojenerasyonla verim daha yukarılara çıkarılabilir.

Santralleri kojenerasyon tesisi olarak kurarak buhar ve/veya baca gazının değerlendirilmesi hem daha ekonomiktir hem de sera gazı emisyonlarını düşürücü bir uygulamadır. Santrallerin buharıyla şehir ısıtması Kuzey, Doğu ve Orta Avrupa'da çok yaygın bir uygulamadır.

Türkiye'de de TÜBİTAK, EÜAŞ, EİEİ, Yıldız Teknik Üniversitesi bir proje ortaklığı oluşturarak EÜAŞ Termik Santrallerinin ısıtma potansiyeli çıkarılmış ve ilk prototip uygulama olarak Soma Termik Santrali seçilmiştir.

## SONUÇ

Rehabilitasyon ilave kapasite ve daha fazla üretim için en ekonomik çözümdür. Bu sebeple yeni santral yatırımı yapmak yerine eski santrallerin ömürleri uzatılarak; emre amadelik, kapasite kullanım faktörü, verimi artırmak, santral dahili elektrik tüketimini, su tüketimini ve emisyonları düşürmek daha uygundur.

Verimsiz eski santralleri verimli hâle getirmek sürdürülebilir enerji ve temiz kömür teknolojisi kabul edilmelidir, çünkü rehabilitasyon sonrası aynı miktar elektrik enerjisi üretmek için daha az yakıt kullanılmakta ve daha az zararlı gaz atılmaktadır.

Türkiye'de özellikle kamu elindeki santrallerde rehabilitasyon yapılması çok gerekli olmasına rağmen, mevcut ihale sistemiyle, mevcut denetim anlayışıyla, nicelik ve nitelik olarak yetersiz kadrolarla bu çalışmaların tamamlanması mümkün görülmemektedir.

Kojenerasyon da verimi artırmak için en önemli uygulamalardan birisidir.

## KAYNAKÇA

1. **Taylor, M. J., Fuller, L. C.** 1986. Coal Fired Electric Power Plant Life Extension: An Overview, Oak Ridge National Laboratory.
2. **Kokkinos, A.** 1997. Improving the Combustion Process and Emissions In Utility Boilers," Seminar for Services of Steam Power Plants," 13-14 Kasım, İstanbul.
3. **Dobrowolski, P.** 1998. "210 ve 215 MW'lık Buhar Türbinlerinin Modernizasyonu," Polonya Elektrik

Sektörünün Kömür ile Çalışan Ünitelerinin Modernizasyonu Alanındaki Deneyimi Sempozyumu, Elektrik ve Polish Power Plant Society, 20-21 Ekim, Ankara.

4. **Wejzman, J.** 1999. "Modernization of Coal Fired 200 MW Units in Poland," Modernization of Polish Power Plants and Transformations Leading to Power Market in Poland Sempozyumu, Polish Power Plant Society, 9-10 Kasım, Bodrum, Muğla.
5. **Kavidass, S., Walker, D. J., G. S.** 1999. Norton Jn., IRCFB Repowering: A Cost Effective Option for Older PC-Fired Boilers, 1999 Power-gen International, 30.11-02.12, New Orleans, Louisiana, ABD.
6. **Başaran, M.** 2000. Az Yatırımla Daha Fazla Üretim Sağlama Yolu Olarak Termik Santrallerde Rehabilitasyon, Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, 8. Enerji Kongresi, 8-12 Mayıs, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara.
7. Chubu Electric Power Co. Inc., Turkey Assessment of Afsin Elbistan Rehabilitation Final Report, 10.08.2004
8. **Jain, R. K.** 2006. Generation Renovation and Modernization, India Electricity 2006, 11.05.
9. "Case Studies in Sustainable Development in the Coal Industry," 2006. IEA CIAB International Energy Agency, Coal Industry Advisory Board, Paris.
10. **Başaran, M.** 2007. Termik ve Hidrolik Santrallerde Verim Artırıcı Çalışmalar, İTÜ Enküs 2007, 4-5 Aralık, Maslak, İstanbul.
11. "Reducing CO<sub>2</sub> Emissions by Improving the Efficiency of the Existing Coal Fired Power Plant Fleet," 2008. DOE, National Energy Technology Laboratories, 23 Temmuz.
12. **Gupta, A. K.** 2008. "Status, Needs and Issues of R & M in India," Workshop for Rehabilitation of Coal Power Plants, 15-17 Eylül.
13. **Başaran, M.** 2008. "A Systematic Approach to Rehabilitations in Power Plants," German Turkish Workshop on Sustainable Energy, 12-14 Kasım, TÜBİTAK-MAM, Gebze, Kocaeli.
14. **Birol, F.** 2009. "World Energy Outlook 2009," International Energy Agency, 9 Aralık, Sabancı Center, İstanbul.
15. **Yunus, A., Çengel, Michael Boles,** 1999. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Mc Graw Hill Yayınları, İstanbul.
16. **Heper, Y.** 1993. Buhar Santralleri Teorisi ve Uygulaması, TEK Yayınları, Ankara.
17. **Spech, E.** 2005. "Latest Boiler Developments," Babcock Hitachi Presentation, 13 Aralık, Ankara.
18. Fossil Fuel Fired Power Generation, 2007. International Energy Agency, Paris.
19. EÜAŞ web sitesi
20. TEİAŞ web sitesi