



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AĞIR SANAYİDE ENERJİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN
YAKITLARIN İŞLETME MALİYETLERİ
AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

ÇAĞDAŞ ANDI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ANTAKYA/HATAY
AĞUSTOS 2008**

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞIR SANAYİDE ENERJİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN YAKITLARIN
İŞLETME MALİYETLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

ÇAĞDAŞ ANDI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Selçuk MISTIKOĞLU danışmanlığında hazırlanan bu tez 29/08/2008 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Selçuk MISTIKOĞLU Başkan
Yrd. Doç. Dr. Hakan YAVUZ Üye
Yrd. Doç. Dr. Ersin ÖZDEMİR Üye

Bu tez Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim dalında hazırlanmıştır.

Kod No :

Prof. Dr. Nejat AĞCA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÇİZELGELER DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL	5
3.1. Enerji Üretim Yöntemleri	5
3.1.1. Hidroelektrik Santrali	6
3.1.2. Rüzgar Santrali	8
3.1.3. Güneş Enerjisi Santrali	9
3.1.4. Nükleer Enerji Santralleri	12
3.1.5. Buhar Santralleri	17
3.1.6. Dalga Konverterleri	17
3.2. Yakıtlar	18
3.2.1. Kömür	19
3.2.2. Doğal Gaz	24
3.2.3. LPG (Likid Petrol Gazı)	28
3.2.4. Fuel – Oil	29
3.3. Yanma	32
3.3.1. Yanma Olayında Meydana Gelen Teorik Reaksiyonlar	32
3.3.2. Teorik Hava İhtiyacı (H_{min})	33
3.3.3. Baca Gazları	34
3.4. Buhar Santrallerinin Tarihçesi ve Gelişmesi	36
3.4.1. İlk Gelişmeler	36
3.4.2. 1900'den Sonraki Gelişmeler	37
3.4.3. 1880'den Bu Yana Buhar Çevrimindeki Gelişmeler	39
3.4.4. İşletme ve Kontroldeki Gelişmeler	40
3.5. Buhar Santrallerinin Tanımı ve Çevrimleri	41

3.5.1. Konvensiyonel Buhar Santrali	42
3.5.2. Kombine Çevrim Santrali	48
3.5.3. Kojenerasyon Santrali	52
3.5.4. Buhar Santrali Çevrimleri	56
3.5.5. Buhar Kazanları ve Yardımcı Ekipmanları	63
3.5.6. Buhar Türbinleri ve Yardımcı Ekipmanları	84
3.6. Enerji ve Yakıt İhtiyacının Belirlenmesi	90
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	106
5. SONUÇ	114
KAYNAKLAR	117
TEŞEKKÜR	119
ÖZGEÇMİŞ.....	120
EK 1 Tasarım abağı	121
EK 2 Su buharı için Mollier diyagramı	122

ÖZET**AĞIR SANAYİDE ENERJİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN YAKITLARIN İŞLETME MALİYETLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

İnsanoğlu varolduğundan beri enerjiye ihtiyaç duymaktadır. İnsanların kullandığı enerji türlerinin içinde en önemlilerinden biri elektrik enerjisidir. Zira insanlar günümüzde konutlarda, endüstride, ticari ve hizmet sektöründe birçok işlerini elektrik enerjisi kullanarak yapmaktadırlar.

Dünyada ve özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde enerji sorunu güncelliğini ve önemini korumaktadır. Enerji üretim sektörü, bütün endüstriye enerji sağlayan bir sektördür ve enerji üretim maliyetlerinin düşürülmesi günümüzde büyük önem taşımaktadır. Gelişmiş ülkelerde elektriğin kwh fiyatı, gelişmekte olan ülkelere göre daha düşüktür. Bu durum ekonomik yönden gelişmekte olan ülkeler aleyhine haksız rekabet ortamı yaratmaktadır.

Elektrik enerjisi, termik santrallerde ve hidrolik santrallerde üretilmektedir. Termik santraller grubuna kömür, linyit, doğal gaz, fuel – oil ve nükleer santraller girmektedir. Bu santrallerin teknolojileri birbirlerinden farklı olduğu için, elektrik enerjisi üretim biçimi ve üretilen enerjinin üretim maliyetleri de birbirinden farklı olmaktadır. Bu çalışmada elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yakıtların işletme maliyeti karşılaştırılması örnek sanayi kuruluşları ele alınarak yapılmıştır.

2008, 122 sayfa

Anahtar Kelimeler: Termik Santral, enerji maliyeti, yakıtların karşılaştırılması

ABSTRACT**THE COST ANALYSIS OF DIFERENT TYPE FUELS THAT ARE BEING USED AT HEAVY INDUSTRY ACCORDING TO ELECTRICITY PRODUCTION**

People always needs energy. The most important energy, which people use, is electrical energy. Because todays people do many things with electrical energy.

The question of energy maintains its curent importance especially in the developing countries and all over the world. Energy production sector is a sector which provides energy for the whole industry and the minimization of energy production cost production cost has great importance at present. Because the price for per kwh in developed countrires. This fact causes an unfair competition against the developing countrires.

Energy is produced by either power plant or hydro electric plants. Power plants maybe categorized as coal burning, natural gas, fuel – oil and nuclear plants. As the technology of these plants is different from each other, their production costs and types can differ in many ways. In this studies the cost analysis of different type fuels to electricity production by used the heavy industry.

2008, 122 pages

Key Words: Power plant, cost of energy, compare of fuels

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Rusya'dan ithal edilen doğal gazın garanti edilen özellikleri.....	25
Çizelge 3.2. Bazı Fuel – Oil'lerin özellikleri.....	30
Çizelge 3.3. Çeşitli ocak tipleri için hava oranları	33
Çizelge 3.4. Yakıtların CO _{2maks} değerleri.....	34
Çizelge 3.5. Isı harcamasındaki gelişmeler	39
Çizelge 3.6. Örnek bir sanayi tesisinin enerji ihtiyacı	91
Çizelge 3.7. Bazı yakıtların ısı değerleri ve verimleri	97
Çizelge 3.8. 150 MW enerji üretmek için gerekli yakıt miktarları	97
Çizelge 4.1. Yakıtların birim fiyatları	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Bir hidrolik santral akış şeması	7
Şekil 3.2. Bir rüzgar santral akış şeması	9
Şekil 3.3. Güneş enerjisi ile çalışan 10 MW kapasiteli termal enerji santralı	11
Şekil 3.4. Nükleer santral reaktör devresi	16
Şekil 3.5. Dalga türbin ve jeneratörü	18
Şekil 3.6. Doğal gazın aranması	25
Şekil 3.7. Tam yanma üçgeni	35
Şekil 3.8. Basit bir konvensiyonel buhar santrallının Sankey diyagramı	42
Şekil 3.9. Su buhar çevrimi	43
Şekil 3.10a. Soğutma suyu devreleri	45
Şekil 3.10b. Soğutma suyu devreleri	46
Şekil 3.11. Çapraz beslemeli bir santrallin prensip şeması	47
Şekil 3.12. Bir blok santrallin basitleştirilmiş prensip şeması	48
Şekil 3.13. Kombine gaz-buhar türbinli kojenerasyon tesis şeması	49
Şekil 3.14. Kojenerasyon şeması	52
Şekil 3.15. Sankey diyagramı	54
Şekil 3.16. Basit çevrimli gaz türbini kojenerasyon sistemi	55
Şekil 3.17. Basit bir konvensiyonel buhar santralı ısı şeması	57
Şekil 3.18. Clausius Rankine çevrimi p – v diyagramı	58
Şekil 3.19. Clausius Rankine çevrimi t-s diyagramı	58
Şekil 3.20. Clausius Rankine çevrimi h – s diyagramı	59
Şekil 3.21. Kojenerasyon santralı prensip şeması	61
Şekil 3.22. Bir gaz türbini santralının prensip şeması	62
Şekil 3.23. Gaz türbini santralının t – s ve p – v diyagramları	62
Şekil 3.24. Katı yakıt kullanan duman borulu kazan	65
Şekil 3.25. Sıvı yakıt kullanan duman borulu kazan	65
Şekil 3.26. Doğal sirkülasyonlu bir kazan	66
Şekil 3.27. Zoraki sirkülasyon kazan	67
Şekil 3.28. Benson kazanı	68
Şekil 3.29. Separatörlü Benson kazanı	69
Şekil 3.30 Sulzer kazanı	69
Şekil 3.31. Velox kazanı	70
Şekil 3.32 Sabit yatak, minimum akışlanma konumu, kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yataklar	72
Şekil 3.33. Yerçekimi yöntemi ve mekanik ayırıştırma yöntemi	74
Şekil 3.34 Santrifüj yöntemi	75
Şekil 3.35 Yürür ızgara	76
Şekil 3.36. Fuel Oil yakma hattı şeması	77
Şekil 3.37. Gaz yakıt yakma hattı	78
Şekil 3.38. Kızdırıcı	79
Şekil 3.39. Baca gazı ekonomizörü	80
Şekil 3.40. Rekuperatif hava ısıtıcı	81

Şekil 3.41. Regeneratif hava ısıtıcı	82
Şekil 3.42. Bir türbin kesiti	85
Şekil 3.43. Buhar türbini yakından görünümü	86
Şekil 3.44. Kondense borularının diziliş şekli	88
Şekil 3.45. Kondense borularının aynaya yerleştirilişi	89
Şekil 3.46. Örnek bir sanayi tesisinin aylık enerji ihtiyacı grafiği	92
Şekil.3.47. Ara kızdırmalı bir çevrimin h – s diyagramı	93
Şekil.3.48. Türbin giriş basıncı – jeneratör anma gücü diyagramı	93
Şekil.3.49. Termik santral sistem yapısı	94
Şekil.3.50. Santral kazanında yanma gazı ile is akışkanı arasındaki ısı aktarımını gösteren T-A diyagramı	95
Şekil 3.51. Proses birim elektrik ihtiyacı	98
Şekil 3.52. 32.000 ton/gün kapasiteli bir tekstil fabrikasının elektrik ihtiyacı	98
Şekil 3.53. 9,5 MW enerji üretmek için gerekli yakıt miktarları	99
Şekil 3.54. 450.000 ton/yıl kapasiteli bir haddehanenin aylık enerji tüketimi	100
Şekil 3.55. 450.000 ton/yıl kapasiteli bir haddehane için dizayn edilen santralin yakıt değerleri	101
Şekil 3.56. İskenderun organize sanayi bölgesi aylık enerji ihtiyacı	102
Şekil 3.57. İskenderun OSB 135 MW enerji için gerekli yakıt miktarı	103
Şekil 3.58. Alüminyum fabrikası aylık enerji tüketimi	104
Şekil 3.59. alüminyum fabrikası 90 MW enerji için gerekli yakıt miktarı	105
Şekil 4.1. Entegre demir çelik tesisinde 1 MW enerji için gerekli yakıt miktarları.....	106
Şekil 4.2 Entegre demir çelik tesisinde birim enerji maliyetleri	107
Şekil 4.3. Tekstil fabrikası 1 MW enerji üretmek için gerekli yakıt miktarı.....	108
Şekil 4.4. Tekstil fabrikası birim enerji maliyeti	108
Şekil 4.5. Bir haddehane 1 MW enerji üretmek için gerekli yakıt miktarı	109
Şekil 4.6. 450.000 ton/yıl kapasiteli haddehanesi birim enerji maliyeti	109
Şekil 4.7. İskenderun OSB 1 MW enerji için gerekli yakıt miktarı	110
Şekil 4.8. İskenderun OSB birim enerji maliyeti	110
Şekil 4.9. Alüminyum fabrikası 1 MW enerji için gerekli yakıt miktarı	111
Şekil 4.10. Alüminyum fabrikası birim enerji maliyeti	111
Şekil 4.11. Birim yakıt maliyeti ile birim enerji maliyetinin karşılaştırma grafiği	112

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze elektrik genellikle hidroelektrik santraller vasıtasıyla üretilmektedir. Arazi yapısı ve nehir potansiyeli uygun olamayan ülkeler ise termik santraller vasıtasıyla elektrik ihtiyacını karşılamaktadır.

1973 yılında I. Dünya Enerji Krizinde OPEC'in kurulmasıyla, enerjinin politik silah olarak kullanım süreci başlamıştır. İran – Irak savaşıyla 1979'da başlayan II. Enerji Krizi ile bu yaklaşım pekişmiş, savaşın ağır mali yükleri altında petrol fiyatlarındaki artış, zorunlu biçimde aşağılara çekilebilmiştir. Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nin dağılmasıyla petrol piyasası kısmen de olsa istikrar kazanmıştır. Rusya'nın güçlenmesi, Çin ve Hindistan'ın küreselleşen dünyada büyük ekonomik güç ve enerji tüketicisi olarak ortaya çıkması, Dünyada enerji politikalarına yeni bir boyut getirmiştir. Yakın zamanda doğalgaz ve petrol dış politikada baskı aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sebepten dolayı ülkeler, enerji ihtiyaçlarını zorunlu olarak kendi kaynaklardan sağlama yolunu tercih etmeye başlamışlardır (Çürüksulu, 2006).

İnsan nüfusunun artması, teknolojinin hızla gelişmesi gibi sebeplerden doğan enerji ihtiyacının, günümüz kaynakları tarafından aynı hızla karşılanamaması nedeniyle enerjinin verimli kullanılması ve küreselleşen rekabet ortamında ucuza mal etmesi gün geçtikçe toplumların en önemli gündemini oluşturmaktadır.

Ayrıca günden güne artan enerji tüketimi sebebiyle açığa çıkan sıcak gazların sera etkisine neden olması, buna bağlı olarak küresel ısınmayla iklimlerin değişiklik göstermesi, insanoğlunun geleceği içinde enerji kullanımının önemini açığa çıkarmaktadır.

Günümüzde enerji kullanımı toplumlar için bir gelişmişlik ölçüsüdür. Özellikle elektrik ve ısı enerjisinin hayatımızda önemli bir yeri vardır. Sınırlı doğal kaynaklardan elde edilen bu enerjiler talep artışına bağlı olarak daha değerli hale gelmektedir. Bu doğal kaynakların değerlendirilmesinde son kullanım noktasındaki makine ve sistem elemanlarının verimi ne kadar önemli ise elde edilirkenki enerji dönüşümleri de o kadar önemlidir. Kullanılan yakıt enerjisinin, elde edilmek istenilen enerji türüne en yüksek oranda dönüştürülmesi istenir. Enerji dönüşümünün % 100 olması mümkün değildir. Çevre faktörleri ve dönüşümü gerçekleştirilen sistemlerin verimleri düşünüldüğünde

yakıtın enerjisinin tamamının mekanik ya da ısı enerjisine dönüştürülmesi mümkün değildir. Bu durumda yakıttan elde edilebilecek maksimum enerji sınırlıdır. Bütün enerji dönüşümleri tersinmezliklerin sebep olduğu bu sınırlar dahilinde gerçekleşmektedir.

Enerji kullanımında birim fiyat oldukça önemlidir. Fiyatı belirleyen en önemli faktörler üretim tesisi ve kullanılan yakıttır. Üretim tesisinin verimi ne kadar yüksek olursa kullanılan yakıttan o kadar çok enerji üretilebilmektedir. Dolayısıyla enerjinin birim maliyeti de o kadar azaltılabilir (Emgin, 1997).

Ülkemiz ekonomisini yakından ilgilendiren, yatırım ve üretim maliyetleriyle ekonomik gelişimi, sanayi üretimi ve toplumsal yaşamı olumsuz şekilde etkileyen elektrik enerjisinin temini ve üretimi ile ilgili projelerin yatırım kararları alınmadan önce ciddi ve sağlıklı duyarlılık analizlerine dayalı ekonomik analiz ve değerlendirmelerin yapılması ülkemizin yararı açısından büyük önem arz etmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kayabaş (1996), elektrik üretiminde marjinal enerji maliyetinin ekonomik yüklenme benzetimi ile hesaplanması hakkında bir çalışma yapmıştır. Ülkelerin enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında ikincil enerji olan elektrik enerjisi her geçen gün önemli bir yere sahip olmaktadır. Bunun nedeni; elektrik üretiminin çok çeşitli kaynaklardan sağlanması, kullanımının temiz ve güvenilir olmasıdır. Ancak elektrik depolanmama özelliğine sahip olduğundan, üretilen elektrik enerjisi miktarı talep ile dengeli olmalıdır. Talep mevsimlere, günlere ve günün çeşitli saatlerine göre değişiklik göstermektedir. Talepteki bu değişiklikler üretim sistemi işletiminin önemini artırmaktadır. Bu çalışmada talep edilen yükün en az maliyetle karşılayacak ekonomik yüklenme Monte Carlo benzetimi tekniği uygulanarak üretimden gelen marjinal enerji maliyeti hesaplanmıştır.

Emgin (1997), çalışmasında, santrallerde üretilen elektriğin kwh cinsinden maliyeti hesaplanırken, her döneme ilişkin toplam maliyetler belirlenmekte ve bu maliyetler, dönemin net üretimine bölünerek elektriğin kwh maliyeti hesaplanmaktadır. Yatağan Termik Santralının 1995 yılına ait birim üretim maliyetleri dönemselsel olarak hesaplanmış ve bu tutarlar düşük – yüksek hacimler yöntemine göre hesaplanan tahmini tutarlar ile karşılaştırılarak ortaya çıkan farklar analiz edilmeye çalışılmıştır.

Erdem ve ark. (2004), kojenerasyon sistemlerindeki yakıt fiyatlarının ve birim yakıt maliyetlerinin analizi çalışmalarında kojenerasyon sistemlerinde kullanılan yakıtların 1991 ile 2003 yılları arasındaki fiyatları analiz edilerek yıllık fiyat eskalasyonları belirlenmiştir. Bu analiz sonuçları kullanılarak, 2003 ile 2023 yılları arasındaki döneme ait her yıl için tahmini yakıt fiyatları hesaplanmıştır. Ekonomik analizlerin yapıldığı döneme ait fiyat değişimlerini içine alan sabit yakıt fiyatlarının belirlenmesi hesaplamaları kolaylaştırmıştır. Bu nedenle 2003 ile 2023 yılları arasında yakıtların bir değere getirilmiş fiyatları elde edilmiştir. Daha sonra, kojenerasyon sistemlerinin birim elektrik üretimi için yakıt masrafları bulunmuştur. Bu sistemlerde aynı yakıttan elektrik ve ısı enerjisi ürün olarak elde edilir. Yakıt masraflarının ürünlere dağıtılması satış fiyatlarının belirlenmesi için gereklidir.

İstanbul Teknik Üniversitesi 2007 yılı Türkiye’de Enerji ve Geleceği raporunda; Türkiye’de enerjinin mevcut durumuna ilişkin sorunlar olarak karşımıza çıkan, hızlı

nüfus artışına bağlı olarak artan enerji gereksinimi, enerjide dışa bağımlılık, enerji tasarrufu, enerjinin verimli kullanılması, enerji yönetimi ve planlanması, yasal düzenlemeler ve kontrol mekanizmasının yeterli çalışmaması, enerji sektöründe Ar – Ge çalışmalarının yetersizliği ve enerji sektöründe yararlanılan verilerle bilgilerin bilimsel tabanındaki eksiklikler, ülkemizin enerji politikasında önemle durulması gereken ana başlıklar olarak incelenmiş ve vurgulanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Enerji Üretim Yöntemleri

Günümüz modern dünyasında, bütün toplumlar, yaşamı daha üretken ve konforlu kılmayı hedefleyen teknolojik atılımlar gerçekleştirerek, belirli düzeylere ulaşmayı hedeflemektedir. Bu teknolojilerin bir parçasını oluşturan karmaşık elektronik cihazlar içinde en önemli yeri bilgisayar sistemleri almaktadır. Bunlar gibi birçok sistem, güvenilebilir ve nispeten ucuz bir enerji kaynağı olan elektriğe gereksinim duymaktadır.

Genel enerji kaynakları birincil (primer) ve ikincil (seconder) enerji kaynakları olarak iki ana kısım altında sınıflandırılabilir. Birincil enerji kaynakları, doğrudan kullanılmayan enerji kaynakları olduğu için, “Ham Enerji Kaynakları” olarak da adlandırılabilir. Buna mukabil ikincil enerji kaynakları, doğrudan kullanılan enerji kaynakları oldukları için, “İşlenmiş Enerji Kaynakları” olarak da yorumlanabilir. Diğer taraftan, birincil enerjiyi ikincil enerjiye dönüştürmek için enerji dönüşüm sistemleri kullanılır (Kayabaş, 1996).

Depolanması mümkün olmayan, onun için çok sıhhatli bir planlama ile Üretim-Tüketim dengesi kurularak kullanılan elektrik enerjisi teknolojileri, çok pahalı olmalarının yanında, geliştirilmeleri için de oldukça uzun zaman gerektirmektedir.

Elektrik enerjisi, sanayileşmiş dünyaya yüksek düzeyde konfor sağlıyor olmasına rağmen, kaynağı ve elde edilme yolları genelde unutulmaktadır. Bu kritik enerji kaynağını güç santralleri üretmektedir. Dünya genelinde elektriğin %90' ı, enerji kaynağı olarak buhar kullanan santrallerden elde edilmektedir. Türkiye’de ise buhara dayalı santrallerin elektrik üretimindeki payı %70’ ler civarındadır (Ünalın 2002).

Enerji santralleri, değişik formlardaki enerjiyi, çeşitli yararlı amaçlarla kullanılmak üzere elektrik yada ısıya dönüştüren tesislerdir. Enerji santrallerinin enerji girdisi bariz çeşitlilikler gösterebilirken, her enerji kaynağı için de tesis tasarımı belirgin olarak farklıdır. Enerji girdisinin yapısı aşağıdaki şekillerde olabilir;

- Yüksek seviyede bulunan su kitlesinin potansiyel enerjisi; değerlendirildiğinde hidroelektrik santrali,

- Kömür, petrol yada doğal gaz gibi fosil yakıtların yapısında bulunan hidrokarbonlardan çıkan kimyasal enerji; değerlendirildiğinde fosil yakıtlı enerji santrali,
- Rüzgarın kinetik enerjisi; değerlendirildiğinde rüzgar santrali,
- Güneşten gelen ışınların enerjisi; değerlendirildiğinde güneş enerjisi santrali,
- Atom parçacıklarını ayıran veya birleştiren fizyon veya füzyon enerjisi; değerlendirildiğinde nükleer santral.

Bu enerji kaynaklarında herhangi biri kullanılarak, değişik formlarda enerji elde edilebilir;

- Bir proses için yada ısıtma için Isı Enerjisi
- Daha sonra başka tip enerjilere dönüştürülmek üzere Elektrik Enerjisi
- Gemilerde olduğu gibi Taşımacılık için Enerji

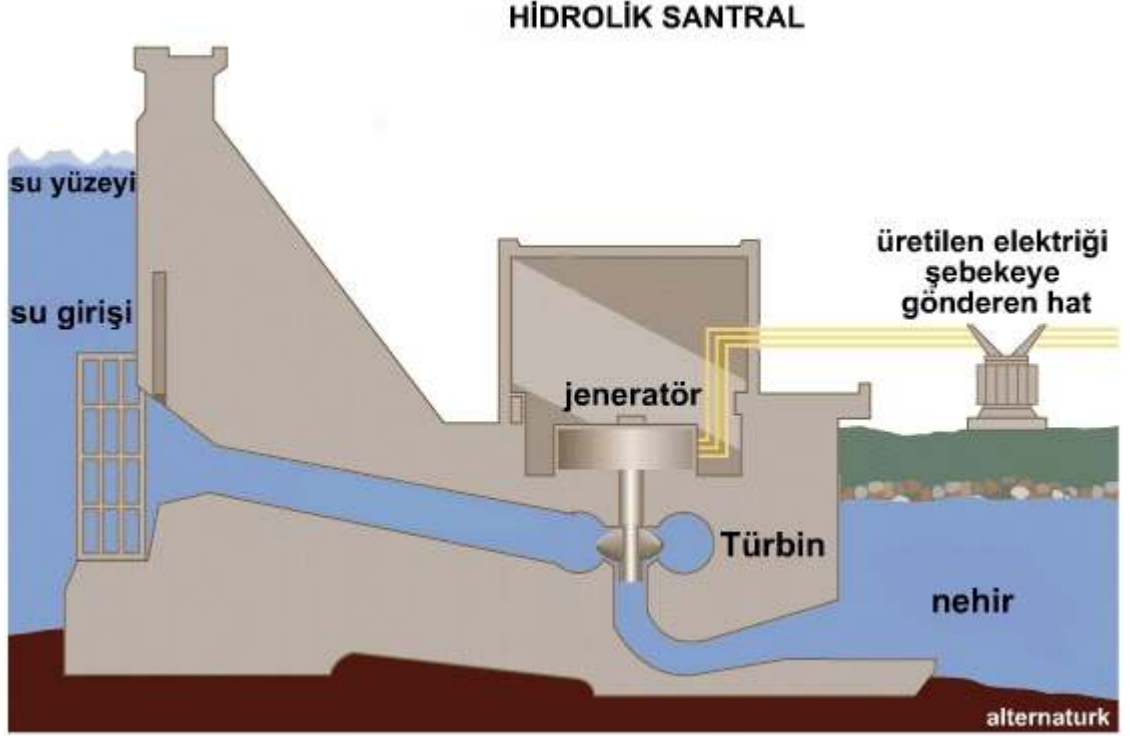
Bütün bu enerji santrallerinde baskın olan teknoloji, suyun buhara dönüşümüdür. Dolayısıyla enerji üretiminde; gerek direk olarak kullanılarak, gerekse başka bir enerjiye dönüştürülerek, buhar büyük öneme sahiptir (Oymak, 2001).

3.1.1 Hidroelektrik Santrali

Termik santrallerde ısı enerjisinden elde edilen mekanik enerji, hidrolik santrallerde suyun sahip olduğu potansiyel enerjiden elde edilir. Potansiyel enerjiye yer çekimi enerjisi de denebilir, çünkü bu potansiyel enerji, suyun debisine ve türbin-jeneratör'e göre bulunduğu yüksekliğe bağlıdır. Hidrolik santrallerde sudaki potansiyel enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülme oranı ise %90'lara varan çok yüksek bir düzeydedir (Bozkurt, 1996).

Hidrolik santrallerden elde edilebilecek enerji, mevsime ve hidrolik duruma bağlı olduğu için değişken bir özellik arz eder. Dolayısıyla bu santrallerden üretilen bir yıllık enerji, santralin tipi ve kullanılan suyun özelliklerine bağlı olduğu için, genellikle Güvenilir ve Ortalama enerji olmak üzere iki şekilde ölçülür. Ortalama enerji, santralin bir yıl tam kapasite ile sürekli olarak çalışması durumunda elde edilen enerjidir. Güvenilir enerji ise, santralin bir yıl boyunca, gelen suyun durumuna göre değişik kapasitelerde çalışması ile üretilen enerjidir. Güvenilir enerji daima ortalama enerjiden daha küçük veya en fazla ona eşittir. Örneğin kurulu gücü 1000 MW olan bir hidrolik

santral, gelen su miktarına bağı ve sürekli olarak ancak 200 MW' ta çalışabiliyorsa, bu santralin güvenilir gücü 200 MW demektir. Ülkemizde akarsu rejimlerinin düzensiz olmasından dolayı hidrolik santrallerin güvenilir ve ortalama enerjileri oldukça farklı olmaktadır (Bozkurt, 1996).



Şekil 3.1. Bir hidrolik santralı akış şeması

Hidrolik Santraller;

- Barajlı Santraller
- Akarsu Santralleri
- Pompalı Baraj Santralleri

olmak üzere üç ana grup altında toplanabilir.

Barajlı santraller, akarsu yataklarının uygun yerlerine baraj yapmak suretiyle suyun akışında değişiklik meydana getirilmesidir. Böylece, suyun barajda toplanmasıyla nehir rejimi düzenli hale getirilerek, enerji üretiminin yağışlardan etkilenmesi azaltılmış ve enterkonnekte sistemin yük durumu ile ilgili bir kontrol imkanı elde edilmiş olur. Bu tip hidrolik santraller genellikle büyük kapasiteli olmaktadır.

Akarsu Santralleri, doğrudan doğruya nehir üzerinde uygun yerlere kurulan, su rejimine bağı ve belirli bir güçte sürekli olarak çalışan küçük kapasiteli santrallerdir.

Pompalı Baraj Santralleri, farklı yüksekliklerde olmak üzere en az iki barajdan meydana gelmiş olup, pik saatlerindeki enerji talebini karşılamak amacıyla kurulurlar. Bu santrallerde türbin – jeneratör vasıtasıyla enerji talebinin az olduğu saatlerde, sistemden alınan elektrik enerjisi kullanılarak daha yüksekte bulunan baraj'a su pompalanır; daha sonra pik saatlerinde, barajdan bırakılan bu suyun potansiyel enerji ile yeniden elektrik üretilir (Karakaş, 2002).

3.1.2 Rüzgar Santrali

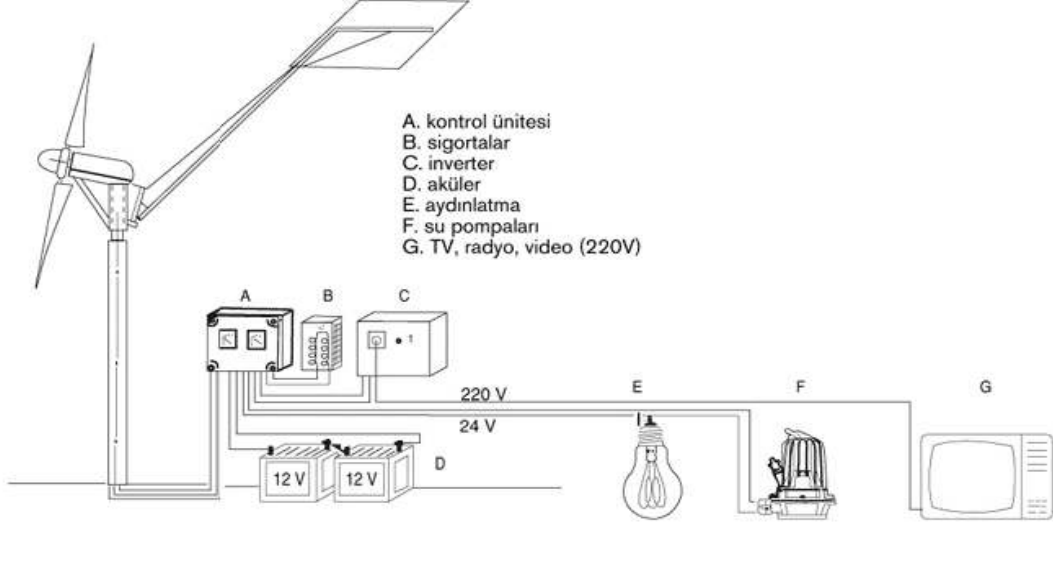
Yenilenebilir bir enerji türü olan rüzgar, eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Endüstriyel manada kullanımı ise araştırılmaya devam edilmektedir. Bu amaçla, hareketli havanın bünyesindeki kinetik enerji bir eksen etrafında dönen kanatlar vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Temiz ve diğer enerji türlerine kolayca çevrilebilmeleri avantajları, zamana göre düzensiz ve yoğunluğunun az olması dezavantajlarıdır. Genelde, rüzgar kinetiği bir mil üzerinde kanatlar vasıtasıyla dairesel harekete çevrilir. Bu mil bir pompayı tahrik eder. Pompa da kuyudaki suyu daha yüksek bir depoya basar. Böylece depoda rüzgar enerjisi suyun potansiyel enerjisi olarak çevrilmiş olur. Sulama veya kullanım amaçlı böyle bir sistem pompa veya kompresör gücünün tasarruf edilmesini sağlayacaktır. Diğer bir kullanım şeklide dönen mil ucuna bir dinamo veya jeneratör bağlayarak direkt AC veya DC formunda elektrik üretmektir. Üretilen elektrik bir akünün şarj işleminde kullanılarak depolanır. Akü ise ev araçları ve diğer cihazlar için elektrik kaynağı olacaktır. Hatta üretilen elektrik suyun elektroliz işleminde kullanılarak hidrojen (H) üretiminde kullanılabilir. Üretilen hidrojen ise depolanır. Eğer dönen mil ucuna bir kompresör bağlanırsa bir tanka gaz basılabilir. Böylece enerji gaz üzerinde basınç potansiyeli şeklinde depolanmış olur (Ünalın 2002).

Rüzgar türbinleri, rüzgar kinetiğini mekanik dönel harekete çeviren cihazlardır (Şekil 3.2). Genel olarak yatay eksenli rüzgar türbinleri ve düşey eksenli rüzgar türbinleri olarak iki gruba ayrılır.

Rüzgar türbininin kurulacağı bir yer için şu kriterlere bakılmalıdır.

- Enerjiyi kullanacak birimin (köy, konut, çiftlik...) büyüklüğü
- Mevcut enerji kaynaklarına veya enterkonnekte şebekeye uzaklığı
- Yörenin rüzgar potansiyeli

- Enerjiyi kullanacak kişi ve bölgelerin gelecek için enerji ihtiyaçları
- Rüzgar enerjisini destekleyecek diğer kaynak potansiyelinin varlığı



Şekil 3.2. Bir rüzgar santrali akış şeması

Rüzgar santralinin yeri seçilirken, önünde rüzgara engel olacak bir engel ve yapı olmamasına dikkat edilmelidir. Bu amaçla yerden 20 – 30 m, çevre engellerde de 10 m yüksekliğe yerleştirilmelidir. Endüstriyel manada bir rüzgar santrali düşünülüyorsa, rüzgar çiftlikleri kurulmalıdır. Bu durumda genişçe bir saha kapatılmalıdır. Türbinler dönen büyük parçalara sahip olduğu için yasak bölge uygulaması getirilmelidir. Türkiye, özellikle Marmara ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yüksek bir rüzgar potansiyeline sahiptir. Buradaki ortalama rüzgar hızları 3 m/sn nin üzerindedir. Diğer bölgelerde çok lokal potansiyel mevcuttur. Dolayısıyla bahsedilen bölgeler haricinde endüstriyel elektrik üreten rüzgar çiftlikleri mümkün değildir. Bununla birlikte, Türkiye'nin rüzgar potansiyeli 83 GW olarak hesaplanmıştır. Bu kurulu gücün 3 katına eşdeğerdir (Ünalın, 2002).

3.1.3 Güneş Enerjisi Santrali

Güneş ve çevresinde dolanan gezegenlerden oluşan güneş sistemi dünya için, temel bir enerji kaynağıdır. Özellikle, dünyada yaşayan canlılar vazgeçilmez bir

kaynaktır. Bugün kullanılan çeşitli enerji kaynaklarına büyük kısmı, güneşin sebep olduğu olaylar sonucu ortaya çıkar. Günlük güneş enerjisi ile dünya aydınlatılabilmekte; yağışlar ile su döngüsü sağlanabilmekte ve en önemlisi de, fotosentez ile canlı yaşam sürdürülebilmektedir. Hayati önemdeki bu yıldızın endüstriyel manada enerji üretimi de mümkündür. Güneş yarıçapı 700.000 km (dünya yarıçapının yaklaşık 109 katı), kütlesi $2 \cdot 10^{30}$ kg (dünya kütlesinin yaklaşık 330.000 katı)olan bir yıldızdır. Güneş kendi eksenini çevresinde dönmektedir. Bu dönüş, güneş ekvator bölgesinde 24 günde, kutup bölgelerinde de 30 günde olmaktadır (Ünalın, 2002).

Güneşin merkezinde, temelde hidrojen çekirdeklerinin kaynaşmasıyla füzyon reaksiyonu meydana gelir. Güneşin merkezinde ve yaklaşık 15–16 milyon derecedir. Güneşin yaklaşık % 90'ı hidrojendir. Güneşin korunda hidrojen çekirdekleri füzyon yaparak helyum çekirdekleri oluşmakta ve bu tepkimeler sonucu büyük bir enerji ortaya çıkmaktadır. Güneşin toplam ışınması $3.8 \cdot 10^{26}$ J/saniye olduğundan, güneşte bir saniyede yaklaşık 600 milyon ton proton, yani hidrojen tüketilmektedir. Bu sayı ilk bakışta ürkütücü gibi gelse de, güneşin kütlesi ve bu kütlenin %90'ına yakın kısmının protonlar olduğu düşünülürse, güneşteki hidrojen yakıtının tüketilmesi için daha, yaklaşık 5 milyar yıllık bir süre olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu yönüyle güneş, insanlık için tükenmez bir enerji kaynağıdır (Ünalın, 2002).

Güneş enerjisinin üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- Güneş enerjisi tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisi, arı bir enerji türüdür. Gaz, duman, toz, karbon veya kükürt gibi zararlı maddeleri yoktur.
- Güneş, tüm dünya ülkelerinin yararlanabileceği bir enerji kaynağıdır. Bu sayede ülkelerin enerji açısından bağımlılıkları ortadan kalkacaktır.
- Güneş enerjisinin bir diğer özelliği, hiçbir ulaştırma harcaması olmaksızın her yerde sağlanabilmesidir.
- Güneşi az veya çok gören yerlerde biraz verim farkı olmakla birlikte, dağların tepelerinde vadiler ya da ovalarda da bu enerjiden yararlanmak mümkündür.
- Güneş enerjisi doğabilecek her türlü bunalımın etkisi dışındadır. Örneğin, ulaşım şebekelerinde yapacakları bir değişiklik bu enerji tümünü etkilemeyecektir.

- Güneş enerjisi hiçbir karmaşık teknoloji gerektirmemektedir. Hemen hemen bütün ülkeler, yerel sanayi kuruluşları sayesinde bu enerjiden kolaylıkla yararlanabilirler.

Bugünkü bu enerjinin karşılaştığı sorunlar ise şöyledir:

- Güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve sürekli değildir. İstenilen anda istenilen yoğunlukta bulunamayabilir.
- Güneş enerjisinden yararlanmak için yapılması gereken düzeneklerin yatırım giderleri bugünkü teknolojik aşamada yüksektir.
- Güneşten gelen enerji miktarı bizim isteğimize bağlı değildir ve kontrol edilemez.
- Birçok kullanım alanının, enerji arzı ile talebi arasındaki zaman farkı ile karşılaşmaktadır. Güneş enerjisinden elde edilen ışınım talebinin yoğun olduğu zamanlarda kullanılmak üzere depolanmasını gerektirir. Enerji depolaması ise birçok sorun yaratmaktadır.

Güneş pilleri, güneş enerjisini doğrudan doğruya elektrik enerjisine dönüştüren, yarı iletken sistemlerdir. Güneş pillerinin ömürleri ve güç yoğunlukları oldukça yüksektir. Genel olarak 2 elektrottan meydana gelir. Bu elektrotların biri üzerine güneş düştüğü zaman bir potansiyel fark oluşur. Elektrik bir elektron akımı olduğu için, güneş ışınları çarptığı elektronun potansiyelini ve elektron düzenini değiştirerek elektrik akımına neden olur. Genellikle silisyum en temel malzeme olarak kullanılır. Bu pillerin verimi %15 civarındadır. İmalatları çok kolay olup verimleri sıcaklığa bağlı değildir. En temel problem maliyetlerin yüksek olması ve bir depolama sisteminin gerekliliğidir. Özellikle, elektrik şebekesine çok uzak köylerde, televizyon istasyonlarında ve uydularda uygundur (Ünalın, 2002).



Şekil 3.3. Güneş enerjisi ile çalışan 10 MW kapasiteli termal enerji santrali

3.1.4 Nükleer Enerji Santralleri

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin en önemli gereksinimi enerjidir. Her ne kadar tam bir ölçüt olmasa da ülkelerin gelişmişlik düzeyleri, üretip tükettikleri enerji ile ölçülür. Bazı ülkeler ürettikleri enerjiyi çok verimli bir şekilde kullanırlarken, bazıları bu konuda o denli başarılı olamazlar. Bazı ülkeler de kendileri kullanmadıkları halde çok miktarda enerji hammaddesi üretirler. Enerji üretim ve tüketiminin çok farklı yöntemleri olsa da, tüm ülkelerin ucuz, bol ve temiz enerji kaynaklarına gereksinimleri vardır.

Endüstrileşme ile baş gösteren buhar gücü gereksinimi dolayısıyla, kömür kullanımı büyük bir hızla artmıştır. Daha sonraları elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanması ve içten yanmalı motorların kullanım alanının genişlemesi ile elektrik üretiminde kömür ve petrol, çok büyük bir hızla artmıştır. Sonunda endüstri ve çağdaş yaşam için en önemli hammadde, fosil yakıtlar olmuştur. Fosil yakıtların kullanımı, çözümü çok zor sorunları da beraberinde getirmiştir. Bu sorunların ilki, tükenen hammadde kaynaklarıdır. Fosil yakıtlar milyonlarca yılda oluşmuş, doğanın bizlere, daha doğrusu bizden sonraki nesillere bir armağanıdır ve sentetik olarak yapılanmaları son derece zordur. Çok sayıdaki petrokimya ürünleri spektrumunu inceleyerek petrol ve bazen de kömürün ne denli vazgeçilemez birer doğa harikası olduklarını rahatlıkla algılayabiliriz. Kömür petrol kadar bir kimyasal değere sahip değildir. Kalitesiz kömürlerin yakılmasının neden olacağı sorunlar ortadadır.

Fosil yakıtların içerdiği maddelerin büyük bir yüzdesini karbon ve hidrojen oluşturur. İçlerinde az da olsa kükürt, yanmayan maddeler ve radyoaktif maddeler de bulunur. Petrol, kömüre kıyasla daha az kirliliğe yol açar. Fosil yakıtlar yakıldığında ortaya doğal olarak CO₂ ve SO₂ gazlarının yanı sıra, radyoaktif maddeler ve kül çıkar. Ortaya çıkan CO₂ gazı sera etkisine, SO₂ gazı ise asit yağmurlarına neden olur. Sera etkisinin neden olduğu atmosfer sıcaklığı artışı yıllardır gözlenmektedir. Asit yağmurları bitki örtüsüne ve canlılara zarar verir. İngiltere'de yakılan kömür yüzünden Finlandiya'nın göllerindeki balıklar asit yağmuru nedeni ile ölmektedirler. Radyoaktif maddeler, linyit yatakları ikincil uranyum madenleri olarak kabul edilir (Ünalın, 2002).

Nükleer enerjinin hammaddesi olan uranyumun hiç bir endüstriyel kullanım alanı yoktur. Uranyum doğada bol miktarda bulunmaktadır. Son maden aramaları

sonucu Avustralya ve Kanada'da büyük uranyum yatakları olduğu çıkmıştır. Uranyumun fiyatı bu nedenler dolayısıyla zaman içinde sürekli azalmıştır. İkinci bir nükleer hammadde ise toryumdur ve Türkiye, dünyanın en zengin toryum yataklarına sahiptir. Nükleer hammaddenin stoklanabilir olması, onun petrol gibi ekonomik silah olarak kullanılmasını imkansız kılar.

UO₂'den (uranyum pası) yapılan 1 cm çap ve yüksekliğindeki seramik yakıt lokmaları, üst üste 3,5 – 4 m uzunluğundaki ince bir metal zarf içine yerleştirilirler. Elde edilen yakıt çubukları, hafif veya ağır su içeren dik veya yatık basınç tankları içine yerleştirilir. Belirli geometrik düzende ve belirli miktarda bir araya gelen yakıt nötronların yardımı ile fisyon sonucu enerji üretmeye başlar. Ortaya çıkan bu çekirdek enerjisi yakıt çubuklarını ısıtır. Yakıt çubuklarının su veya ağır su ile soğutulması ile yüksek basınç ve sıcaklıkta buhar elde edilir. Buharın bir türbinde genişletilmesi ile tıpkı diğer fosil yakıtlı santrallerde olduğu gibi, ısı enerjisi mekanik enerjiye, türbinin çevirdiği jeneratör ile de mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Nükleer enerjinin kullanılmaya başlamasından bugüne dek geçen yaklaşık elli yıl içinde birçok nükleer reaktör tipi tasarlanmış, imal edilmiş ve çalıştırılmıştır; ancak günümüzde ticari olan nükleer santral tipleri çok az sayıdadır. Hafif su teknolojisi adını verdiğimiz ve bildiğimiz normal su ile soğutulan reaktörleri kapsayan teknoloji ve ağır su teknolojisi adını verdiğimiz hidrojenin bir izotopu olan deteryumdan yapılan ağır su ile soğutulan reaktörleri kapsayan teknoloji, günümüzde ticari olarak kullanıma sunulmaktadır. Yüksek sıcaklıkta çalışan gaz soğutmalı reaktörler ve sıvı metal soğutmalı hızlı üretken reaktörler ise, gelecekte kullanıma girmeye adaydırlar.

Nükleer santraller, normal çalışma düzenlerinde çevreyi kirletecek hiç bir etki yaratmazlar. Fosil yakıtlı santrallerin aksine, çevreye zararlı olan CO₂, SO₂ ve NO_x gazlarını salmazlar ve kül bırakmazlar. Fosil yakıtlı santral yerine bir nükleer santral yapılması durumunda, fosil yakıtlı santralin çevreye atacağı zararlı maddelerin söz konusu olmaması nedeni ile nükleer santrallerin çevreyi temizlediği de söylenebilir. 1000 MW gücündeki bir hafif su soğutmalı nükleer reaktörden yılda yaklaşık 27 ton (7 m³) kullanılmış yakıt çıkar. Bu miktar, aynı kapasitedeki bir kömür santralinin atık miktarına göre ağırlık olarak 250–300 bin kere, hacim olarak da 70–80 milyon kere daha azdır. Hemen belirtelim ki nükleer santrallerin gündelik atıkları fosil-yakıtlı santrallerin atıklarına kıyasla yok denecek kadar azdır ve normal çalışmaları sırasında

çevreye yaydıkları radyasyon, nükleer santral civarında yaşayan bir kişinin doğal kaynaklardan almakta olduğu radyasyonun 100 ile 200'de biri kadardır. Nükleer enerjinin elektrik üretiminde kullanılmaya başlamasından bu yana ticari nükleer reaktörlerin işlemesi sonucu ortaya çıkan atıklar, şimdilik santrallerde saklanmakta ve ileri bir tarihte gömülmeyi beklemektedir. Nükleer atıkların tehlikesi, kurşun, cıva veya arsenik gibi zehirli atıklara kıyasla daha azdır. Nükleer atıkların radyoaktivitesi, zamanla durduğu yerde azalırken, zehirli atıklar çevreye atıldıkları ilk günkü gibi kalırlar.

Normal işletme sırasında çevreyi hemen hiç kirletmeyen nükleer santrallerin en korkulan yönü, bir kaza sonrasında çevreyi temizlenemez şekilde kirletme olasılıklarıdır. Nükleer teknolojinin elli yıla yakın kullanım süresi içinde iki önemli reaktör kazası olmuştur. Bu iki kaza birbirinin çok benzeri olmasına rağmen sonuçları ve çevreye etkileri birbirinden son derece farklıdır. Güvenlik felsefesi önemsenen ülkelerin tasarımlarından biri olan Three Miles Island reaktöründe, tahmin edilen en büyük kaza gerçekleşmiş; fakat reaktör çalışanları dahil hiç kimse, öngörülen miktarlardan fazla radyoaktiviteye maruz kalmamıştır. Çok pahalı bir deney olarak kabul edilebilecek bu kaza sonunda nükleer reaktör güvenliği sınavdan geçmiş ve başarılı olmuştur. Diğer taraftan nükleer güvenlik felsefesine önem vermeyen, iyi tasarlanmamış bir nükleer reaktörün iyi işletilmemesinin sonuçlarının ne denli acı olduğunun kanıtı da Çernobil kazasıdır. Bu kaza, nükleer teknolojiden kaçan ülkelerin bile, istemedikleri halde nükleer kazaların zararlarına katlanmak zorunda olduklarının da bir göstergesidir. Nükleer reaktörlerin maliyetinin yüksek olması, bazı ülkelerin nükleer enerjiden uzak kalmalarının başka bir nedenidir.

Bir güç santralinden elde edilen elektriğin maliyeti, temel olarak o santralin inşaatı ve elektrik üretir hale gelmesi için, yapılması gereken yatırım maliyetini, ömrü boyunca santralin verimli çalışmasını sağlamaya yönelik işletme ve bakım giderlerini ve elektriğin üretiminde kullanılan yakıtın temini için gerekli yakıt maliyetini içerir. Bir santralin ekonomik olması için üretilen elektriğin satılması sonucu elde edilen gelirin, en azından maliyetini karşılaması ve ayrıca diğer elektrik üretimi seçeneklerine göre daha ucuz olması gerekir.

Elektrik maliyetine etki eden harcamalar değişik zaman dilimlerinde yapılmakta; oysa elektrik üretimi santralin ömrü boyunca gerçekleşmektedir. Enflasyonun olmadığı

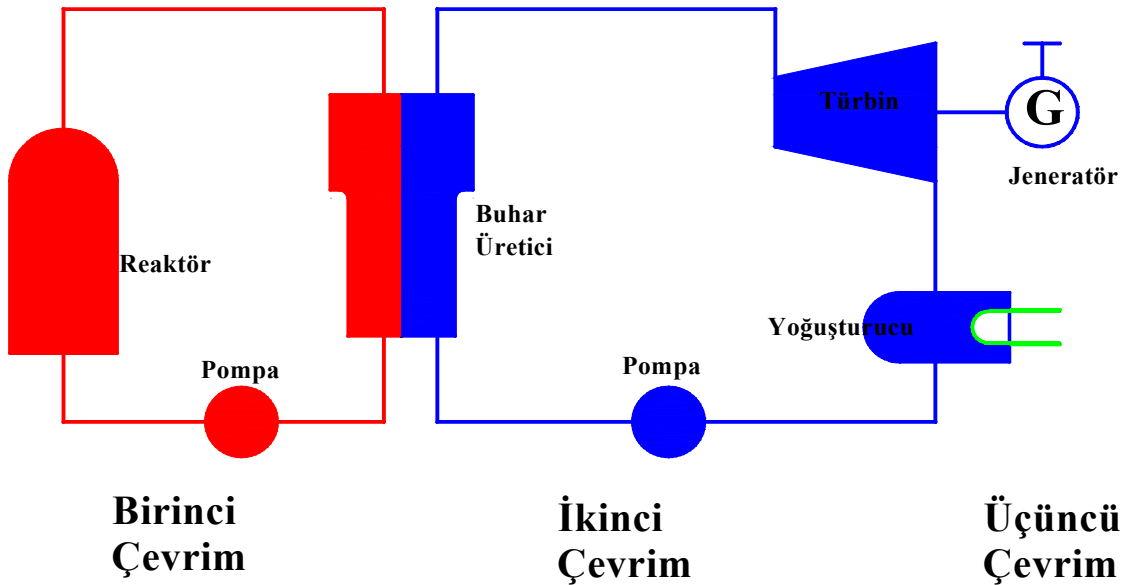
sabit bir para birimi ile bir santralin tüm ömrü boyunca yapılan harcamaların bugünkü değerinin o santralde üretilen elektriğin bugünkü değerine oranı, bize ortalama bir elektrik maliyeti verecektir. Elektrik üreticisi, ürettiği elektriğin fiyatını bu ortalama maliyete eşit olarak seçerse, yaptığı tüm harcamaları, paranın bugünkü değeri göz önüne alınarak karşılayabilecektir. Bu maliyet, yaklaşık olarak aynı koşullarda çalışan sistemlerin karşılaştırılmasını da olası kılar.

Nükleer santraller genel olarak ilk yatırım maliyetleri yüksek, yakıt ve işletme giderleri düşük santrallerdir. Yatırım maliyetleri ise, elektrik maliyetinin yarısından fazlasına denk gelmektedir. Bir santral inşaatının başlangıcı ile devreye girmesi arasında tipik olarak altı ila sekiz yıl civarında bir süre geçmesi gerekmektedir. Nükleer santrallerden elde edilen elektriğin maliyetinin azaltılmasında en önemli iki etmen, inşaat süresinin gerekli standartlara uyularak azaltılması ve ilk yatırım maliyetinin düşürülmesidir.

Yakıt giderleri reaktör tipine göre değişmektedir. Bazı reaktörler zenginleştirilmiş yakıt kullanmakta; bazıları ise doğal uranyuma dayalı yakıtlar kullanmaktadır. Zenginleştirme, yakıt maliyetini artırır. Ayrıca kullanılmış yakıtların ne şekilde depolanacağı ve bunun tahmin edilen maliyeti de, yakıt maliyetini etkileyecektir. Fakat genel olarak yakıt giderlerinin toplam maliyet içerisindeki payı az olduğu için, bu etki o kadar büyük değildir. Yakıt giderlerinin toplam maliyet içerisindeki payının düşük olması nedeniyle gelecekte uranyum fiyatlarında veya zenginleştirme fiyatlarında olabilecek değişikliklerden üretilen elektriğin maliyeti pek etkilenmeyecektir. Yani bir nükleer santral bir kez kurulduktan sonra ürettiği elektriğin maliyeti yaklaşık olarak sabit kalabilir. Toplam yakıt gideri ise reaktörde üretilen toplam enerji ile orantılı olacaktır. İşletme ve bakım giderleri doğal olarak reaktörden reaktöre değişmektedir, ayrıca reaktörün işletildiği ülkenin koşulları da etkili olmaktadır. Elektriğin maliyeti, toplam harcamaların bugünkü değerinin üretilen enerjinin bugünkü değerine oranıdır. Bir nükleer santralde işletme ve yakıt giderleri düşük olduğu için, o santral ne kadar çok çalışırsa üretilen enerjinin maliyeti de o kadar düşecektir. Bir santralin yük faktörü, belirli bir zamanda ürettiği enerjinin aynı zaman diliminde, tam kapasitede çalışarak üreteceği enerjiye oranıdır. Dolayısıyla nükleer santraller, büyük yük faktörleri ile çalıştıklarında daha ucuz elektrik üreteceklerdir. Şekil 3.4.' de bir nükleer santralin reaktör devresi verilmiştir.

Santrallin ekonomik ömrü tamamlandıktan sonra sökülmesi için gerekli yatırım, genel olarak ilk yatırım maliyetlerinin içerisinde pay ayrılarak göz önüne alınır. Sökülme için gerekli maliyetin toplam elektrik maliyeti içerisindeki payı %1 civarındadır. 1000 MW gücünde bir nükleer santrallin ekonomik ömrünün sonunda sökülmesi için yaklaşık 100 milyon dolar civarında bir kaynak gerekmektedir. Bu kaynak, miktar olarak çok büyük olmasına karşın, bir nükleer santralin bir yılda ürettiği elektriği satarak elde edeceği gelirden daha azdır.

Şu ana kadar söz ettiğimiz maliyetler, belirli bir reaktör tipi ve çalışma koşulları göz önüne alındığında doğrudan tahmin edilebilen maliyetlerdir. Aslında bunlara ek olarak, gerek maliyetin niteliği gerekse de veri yokluğundan dolayı tahmin edilmesi oldukça zor olan maliyet bileşenleri vardır. Büyük bir kazanın maliyeti bunlara bir örnektir. Gerçekleşme olasılığı her yüz bin reaktör yılı işleyişte bir olan kazanın etkilerinin getirdiği maliyet, 200 milyar dolar civarında ise, reaktör başına bu maliyet yılda 2 milyon dolar civarındadır. Yani düşük olasılığa sahip böyle bir kazanın getirdiği bir yıllık mali risk, elektrik maliyetinin %1'i kadar olmaktadır. Three Mile Island kazasının yol açtığı dış etkilerin maliyetininin 26 milyon dolar, Çernobil kazasının toplam maliyetinin ise 14 milyar dolar dolayında olduğu tahmin edilmektedir (Kadiroğlu ve Sökmen, 1994).



Şekil 3.4. Nükleer santral reaktör devresi

3.1.5 Buhar Santralleri

Günümüz sanayileşmiş dünyasında buhar kritik bir kaynaktır. Kağıt ve diğer ağaç ürünlerinin üretimi, madenlerin işlenmesi, birçok endüstri dalında ısı enerjisi gereksiniminin karşılanması, yiyeceklerin hazırlanması ve servisi, büyük binaların soğutma ve ısıtması, pompa ve kompresör gibi çeşitli ekipmanların çalıştırılması için buhar kullanımı şarttır. Ancak, yine de buharın en önemli önceliği elektrik üretiminde birincil kaynak olmasıdır.

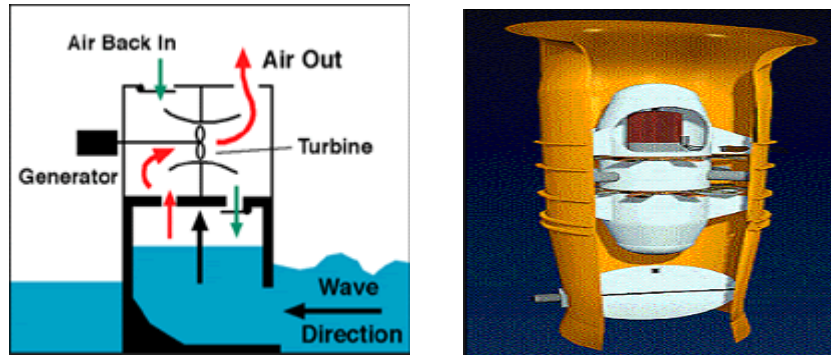
Buhar, herhangi bir yakıttan sağlanan enerjiye dünyanın her yerinde rahatlıkla üretilbildiği için, her türlü enerji uygulamasında yer alan en önemli ikincil enerji kaynağıdır. Ayrıca buharın enerji üretiminde büyük öneme sahip, kendine has özellikleri vardır. Buhardan suya ve tekrar sudan buhara geçişin basit bir döngüsü vardır ve bu işlemlerin doğa üzerinde bir toksik bir etkisi yoktur (Heper, 2001).

3.1.6 Dalga Konverterleri

Med-cezir enerjisinde faydalanmak ideal bir fikirdir. Suyun kabarması ve inmesi şeklinde gelişen gelgit hareketi süresince suyun hareket enerjisinin faydalı amaçlar için kullanımı mümkündür. Çok önceleri Med değirmenleri ismi verilen ve eski vapurların kepçe çarklarına benzeyen sistemler ile değirmen yapılmıştır. Değirmen denizin üstünde olup çarkın alt kısmı suya dalmaktadır. Dalan çark kısmı gelip giden suyun zorlamasıyla itilmekte ve dönme hareketi elde edilmektedir. Dalga enerjisi tüm dünya için 3000 GW bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte bunun ancak 64 GW'lık kısmı kullanılabilir durumdadır. Bu Türkiye'nin bugünkü elektrik enerjisi üretiminin 3 katına tekabül etmektedir. Med cezir olayı yerin ve ayın çekimi arasında suyun denge sağlanmasından ileri gelmektedir. Sadece dünyanın aya bakan yüzünde değil, diğer yüzünde de meydana gelir. Genellikle her 12 saat 25 dakikada bir med-cezir meydana gelir. Hergün bir önceki günden 50 dakika sonra meydana gelir. Yaklaşık 6 saatte yükselme ve takip eden 6 saatte de çekilme süreci meydana gelir. Deniz veya okyanusun sahil şekli ve derinliği önemlidir. Limana yaklaşan gemiler üzerinde çok etkili olduğundan her sahilin med-cezir haritası belirlenmiştir.

Med-cezir enerjisini alabilmek için koy formundaki sahile bir baraj yapılmaktadır (Şekil 3.5). Med esnasında su baraj üzerindeki türbinlerden geçerek baraja dolar. Cezir süresince barajdan yine türbinler üzerinden geçerek denize döner. Burada med-cezir enerjisinin %8 – 25’ i faydalı hale dönüştürülebilir. Med-cezir santralli mevsim değişikliklerinden etkilenmez. Med-cezir vasıtasıyla enerjinin daha verimli elde edilebilmesi için sahillerin okyanusa açık olmalıdır. Bu manada bu enerji Türkiye açısından kullanışlı olmayacaktır (Ünalın, 2002).

Ayrıca son yıllarda açık denizlerde kullanılan dalga konvertörleri konusunda önemli gelişmeler kat edilmiştir.



Şekil 3.5. Dalga türbin ve jeneratörü

3.2 Yakıtlar

Bir cisim, belirli basınç, sıcaklık ve konsantrasyondaki, yakıcı denilen başka bir cismin etkisi ile yanabilirse, bu cisme yakıt adı verilir.

Yakıtlar meydana geliş şekilleri yönünden, "doğal yakıtlar" ve "yapay yakıtlar" olmak üzere ikiye ayrılırlar. Cinsleri yönünden ise katı, sıvı ve gaz yakıtlar olmak üzere üç çeşittir.

Katı ve sıvı yakıtların 1 kg'ının, gaz yakıtların ise 1 m³'ün, 0°C' de ve 760 Torr'luk basınç altında yanması ile kcal olarak çıkan ısı miktarına o cismin ısı değeri denir. Bir yakıtın ısı değeri, o yakıtın yanmadan önceki durumu ile yanma sonunda meydana gelen maddelerin son durumuna göre değişir. Bu nedenle alt ısı değeri (AID) ve üst ısı değeri (ÜİD) olmak üzere iki ayrı ısı değeri tanımlanmaktadır.

- **Alt Isıl Değer:** Yanmadan önce yanma elemanlarının ilk sıcaklık derecesinin 0°C olması, yanma sonunda meydana gelen elemanların tekrar aynı dereceye gelmesi ve meydana gelen suyun yine aynı derecede buhar kalması kaydı ile katı ve sıvı yakıtlar için 1 kg, gaz yakıtlar için ise 1 m³ yakıtın sabit basınç altında yakılması sonucu ortaya çıkan ısının kcal cinsinden miktarıdır.
- **Üst Isıl Değer:** Yanmadan önce yanma elemanlarının ilk sıcaklık derecesinin 0°C olması, yanma sonunda meydana gelen suyun yine aynı derecede yoğunlaştırılması kaydı ile katı ve sıvı yakıtlar için 1 kg, gaz yakıtlar için ise 1 m³ yakıtın sabit basınç altında yakılması sonucu ortaya çıkan ısının kcal cinsinden miktarıdır (Heper, 2001).

3.2.1 Kömür

Kömür yeryüzündeki en bol fosil yakıttır. 1m kalınlığındaki bir kömür damarının en az 20m kalınlığındaki bir bitki tabakasından oluşabildiği tahmin edilmektedir. Ülkemizin bilinen toplam kömür rezervleri yaklaşık 9,5 milyar tondur. Bunun 8 milyar tonu linyit, 1,5 milyar tonu ise maden kömüründen oluşmaktadır. Bugünkü teknoloji ile 9,5 milyar tonluk rezervimizin yaklaşık 7 milyar tonluk bölümü ekonomik olarak çıkartılabilecek durumdadır. Bilinen kömür rezervlerinin ömrü 240 yıl olarak hesaplanmaktadır

Kömürü meydana getiren elementler genellikle yanabilen ve yanamayan elementler olmak üzere iki grupta toplanırlar.

Yanabilen elementler: Karbon (C)
Hidrojen (H)
Kükürt (S)

Hidrojen genellikle karbonla bileşik halde bulunur. Bu karbon-hidrojen bileşiği kömürün yanması sırasında önemli rol oynar.

Yanamayan elementler: Kül
Nem (H₂O)
Nitrojen (N₂)
Oksijen (O₂)

Sıvı yakıtlarda genellikle az miktarda kül ve nem bulunur. Gaz yakıtlarda ise kesinlikle kül bulunmaz.

Kömürleri kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre çok değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Aslında tüm bu sınıflandırmalar kömürü genelde 2 ana başlık altında toplar. Bunlar maden kömürü türleri ve linyit türleridir.

Maden kömürü türleri linyite göre çok daha eski olduğundan karbon yüzdeleri daha fazla, buna karşın kül, nem ve uçucu madde yüzdeleri daha düşüktür. Dolayısı ile de ısı değerleri fazladır.

Dünyada en çok kullanılan ve en geçerli sınıflandırma ASTM D 388 standardında belirtilmiş olan sınıflandırmadır.

Antrasit; en kaliteli kömür türüdür. Bünyesinde kuru bazda %86–98 sabit karbon bulunur. Uçucu madde miktarı ise oldukça düşüktür ve %2–14 arasındadır. Antrasitte bulunan uçucu madde özellikle metan gazından oluşur. Antrasit parlak siyah renkli, sert ve kırılmandır. Oldukça yavaş yanar. Genelde yalnızca ızgaraları kazanlarda yakılır. Pülverize kömür ocaklı kazanlarda pek kullanılmaz.

ASTM D 388 de antrasit üç alt gruba ayrılmıştır; Meta-Antrasit (sabit karbon yüzdesi %98), Antrasit (sabit karbon yüzdesi %92–98) ve Semi-Antrasit (sabit karbon yüzdesi %86–92).

Bitümlü kömür; dünyada çok bulunan bir kömür türüdür. Sabit karbon miktarı %46–86 ve uçucu madde miktarı %10 – 40 arasındadır. Bitümlü kömürlerdeki uçucu maddeler antrasite oranla çok daha karmaşık bir yapıdadırlar. Bitümlü kömürlerin üst ısı değeri 6100–7750 kcal/kg arasında değişir. Bu kömürler özellikle pülverize kömür ocaklarında çok kolay yanarlar. Bitümlü kömürler ilgili standartlarda beş alt gruba ayrılmıştır.

- Düşük uçucu maddeli
- Orta uçucu maddeli
- Yüksek uçucu maddeli A
- Yüksek uçucu maddeli B
- Yüksek uçucu maddeli C

Uçucu madde miktarı arttıkça ısı değeri azalmaktadır.

Yarı bitümlü kömür; bu kömür türünün üst ısı değeri 4600-6100 kcal/kg dir. Bünyesindeki nem oranı %15–30 dur. Kükürt oranları ise genelde düşüktür.

Kahverengiye çalan siyah renklidir ve homojen bir yapısı vardır. Genelde pülverize şekilde yakılırlar. Standartta A, B ve C olmak üzere üç alt gruba ayrılmışlardır (Heper, 2001).

Linyit standartta tanımlanan en düşük kaliteli kömür türüdür. Adını Latince’de “ahşap” anlamına gelen “lignum” sözcüğünden almıştır. Rengi kahverengidir ve laminar yapıdadır. Bünyesindeki bitki liflerini çoğu zaman görmek mümkündür. Nemi, külü ve uçucu maddesi oldukça fazladır. Üst ısıl değeri ise 3500 – 4600 kcal/kg arasındadır. Bu nedenle linyitin uzun mesafelere taşınması ekonomik olmaz ve genelde kömür madeninin yanına kurulan elektrik santrallerinde tüketilir (Heper, 2001).

Linyit, ASTM standardında A ve B olmak üzere 2 alt grupta toplanmıştır. Türkiye’deki linyitler genelde bu standartta belirtilen linyitlere oranla çok daha düşük kalorilidir ve gerek kül, gerekse nem oranları oldukça yüksektir. En büyük linyit rezervlerimizin bulunduğu Afşin-Elbistan havzasında kömürlerin alt ısıl değerleri 900–1250 kcal/kg arasındadır.

Turba standart bir kömür türü olarak ASTM de yer almaz. ASTM, turbayı kömür oluşumundaki ilk jeolojik adım olarak kabul eder. Turba, dekompoze olmuş bitkilerden ve inorganik minerallerden oluşan heterojen bir maddedir. Bünyesinde %90’a varan oranlarda nem vardır. Enerji üretimi açısından pek cazip değildir. Bununla birlikte dünyanın birçok yöresinde bol miktarda bulunmaktadır. Rusya, İrlanda ve Finlandiya gibi bazı ülkelerde enerji üretimi ve şehir ısıtmasında kullanımı denenmişse de pek başarılı olunamamıştır.

Düşük kaliteli linyitlerin ısıl değerlerinin düşük olması nedeniyle, büyük kapasitelerde ısının elde edilebilmesi, çok yüksek debilerdeki kömürün, kazan yanma odasına beslenmesi ile sağlanabilir. Böylesine büyük debide beslenen kömür, çok karmaşık ve zahmetli ön hazırlama işlemlerini (taşıma, harmanlama, kırma, eleme, iletme, kurutma, öğütme vb.) gerektirir. Bu işlemlerle ilgili yatırımların ekonomik olabilmesi için, yakma sistemi kapasitesinin ekonomik bir boyutta olması gerekir. Yakma sistemi kapasitesinin, buna bağlı olarak buhar debisinin artırılması, doğrudan kömür yanma hızının, dolayısıyla tanecik biçim faktörü ile yanma odasındaki türbülansın artırılabilmesine bağlıdır. Böylelikle yanma odasına beslenen kömürün, minimum zamanda yakılması sağlanabilir.

Yanma, gaz fazında olur. Bir kömür taneciğinin yakılabilmesi için önce çevresel ısı ve kütle transferi yardımı ile gaz fazına geçirilmesi gerekir. Bunun için gerekli ısı, alevden sağlanır. Gerekli türbülans (transfer potansiyeli) ise brülör tarafından oluşturulur. Böylece kömür nemi 105 °C dolayında buharlaşır, yanıcı uçucular 600 °C civarında uçuculaşır, kömür katranı buhar haline geçer, sabit karbon daha yüksek sıcaklıklarda oksitlenerek karbon monoksit (CO) biçimini alır. Gaz fazındaki kömür, su buharı, yanıcı uçucular, katran buharı, karbon monoksit, kok ve kül partikülleri, SO, NO vb. den oluşan heterojen yapıdaki karmaşık bir kokteyl biçimindedir. Bu özelliğinden dolayı kömür, özellikle düşük kaliteli linyit, diğer fosil yakıtlara kıyasla yakılması en zor olan yakıttır. Temel kömür yanma süreçleri (G: gazlaşma, T₁: türbülans oluşturma ile yakıt/hava karışımı, T₂: tutuşma, T₃: yanmanın tamamlanması) birbirinden bağımsız olmayıp, eşzamanlı, karşılıklı etkileşim altında ve karmaşık bir biçimde oluşur. Bu süreçte kül, istenmeyen en olumsuz paydaştır. Yanma odasında, kömür taneciğinin yanması ile açığa çıkan kül, partikülü çepeçevre örter, ısı transferi ve oksijen difüzyonunu önleyerek tutuşmayı yavaşlatır ve yanmayı bozar. Yanma sürekliliği ve uygun yanmanın sürdürülebilmesi için, yanma odasında oluşturulacak sürekli türbülans koşulları ile külün kömür partiküllerinden sürekli ayrıştırılması gerekir (kül silkeleme). Yanma odasında sıcaklıkların, kül ergime sıcaklığı üzerine çıkması durumunda, kül ergir. Ergiyen kül, ısıtma yüzeylerini (buharlaştırıcı, kızdırıcı, ara kızdırıcı vb.) kaplayarak, bir yandan boru patlamaları nedeniyle kazan durmalarına, diğer yandan ısı transferinin engellenmesi ile kazan veriminin düşmesine, yakıt tüketimi ve emisyonların artmasına neden olur. Kül, içerdiği silis vb. aşındırıcı maddeler nedeni ile değirmen, ısıtma yüzeyleri, fan, duman kanalları, luvo, elektro filtre vb. kazan elemanlarının sürekli aşınmasına ve kazan hasarlarına sebep olur. Diğer yönden kömür kırma, öğütme, kül atma, toz filtreleme vb. ile ilgili elektrik tüketimleri artar. Kazan işletmesi ve enerji ekonomisi yönünden kömürün kül özellikleri, tasarım öncesi ayrıntılı biçimde analiz edilmeli, doğabilecek sorunlar önceden belirlenerek gerekli tasarım ve işletme önlemleri en bastan alınmalıdır. Yanma temel koşullarının oluşturulması ile ilgili uygun kütle ve ısı transferi hızı, tanecik biçim faktörü veya özgül transfer kapasitesi olarak tanımlanan yüzey alanı A'nın, hacim V'ye oranı (A/V) ile yanma odası türbülans derecesi (transfer potansiyeli) tarafından belirlenir. Kömür taneciği biçim faktörü, kazanın dışı olan kömür değirmen sistemi, tanecik yanma dinamiğini belirleyen özgül transfer potansiyeli

ise brülör sistemi tarafından belirlenir. Verimli ve temiz yanma yönünden uygun kömür yanma dinamiği, uygun öğütme sistemi, brülör sistemi ve yanma odası tasarımı ile oluşturulabilir.

Toz kömürlü sistemlerde genelde enjeksiyonlu brülörler (difüzyon brülörleri) kullanılır. Difüzyon brülörlerinde kömür tozu ve hava, çeşitli katmanlarda, farklı hızlarda verilerek, istenilen türbülans sağlanır. Türbülans etkisi ile oluşan alev geri döngüleri, brülörden yeni verilen kömürle karışır. Oluşan yanıcı uçucularla birincil hava içerikli kömür tutuşturulur. İkincil hava ve kömür tozu arasındaki hız farkı nedeniyle türbülans yumakları oluşur. Çeşitli döngülerle ufalanan yanıcı karışım yumakları içindeki kömür taneciği, yanmaya devam eder. Oluşan kül ise yumakçık türbülans hareketi yardımıyla savrulur kömürden ayrılır (kömür silkeleme, ash washing). Bu işlem sayesinde kömür taneciğine oksijen difüzyonu sağlanarak yanmanın bozulması önlenir. Yanma verimi, dolayısıyla yanma ısı kapasitesi, yanma odasının olabildiğince alevle doldurularak, tüm yanma odasında yanma koşullarının sürdürülmesine bağlıdır. Bu nedenle brülörler daha düşük kapasiteli, değişik konumlarda ve çok sayıda olacak şekilde yerleştirilir. (alınsal, karşılıklı, teğetsel ve benzeri brülör düzenleri)

Toz kömür öğütme inceliği, doğrudan yanıcı uçucu oranına bağlıdır. Yanıcı uçucu oranı azaldıkça, kararlı bir yanma için kömür inceliğinin azaltılması gerekir. Taş kömürü türleri ve antrasit gibi yaşlı-olgun kömürlerin yanıcı uçucu oranı düşüktür. Bunların nem ve kül oranları da düşüktür.

Ham kömür nem oranının, kurutma yoluyla kararlı yanma koşullarının sağlanabileceği bir düzeye indirilmesi gerekir. Bu işlem, kömür değirmenlerinde öğütmeyle birlikte yapılır. Yukarıdaki irdelemelerin sonucu olarak, düşük nem içerikli taş kömürü ve benzeri kalitedeki kömürler, yakma havasıyla (birincil hava) kurutulur ve mekanik bir biçimde ezme yoluyla öğütülürler. Nem oranı yüksek olan linyitlerde, ısı şok kömür parçalamalı kurutma işlemi, çarpma kasnaklı değirmenin vantilatör etkisiyle yanma odası çıkısından emilen 1000 °C dolayındaki kurutma gazı ile gerçekleştirilir. Kurutma gazının, öngörülen kurutma işlemi için yeterli debide çekilmesi gerekir. Çekilen yanma gazı ham kömürle karşılaştığında, yanma gazı içerisinde çok yoğun miktarda bulunan su (nem), bir anda buharlaşarak, ilk hacminin binlerce katı büyüklüğünde bir hacimle kömürü büyük bir hızla terk eder. Böylece dokusal

parçalanmaya (ısıl şok) uğrayan kömür, toz içerikli bir kütleye dönüşür (Özpeker, 1991).

3.2.2 Doğal Gaz

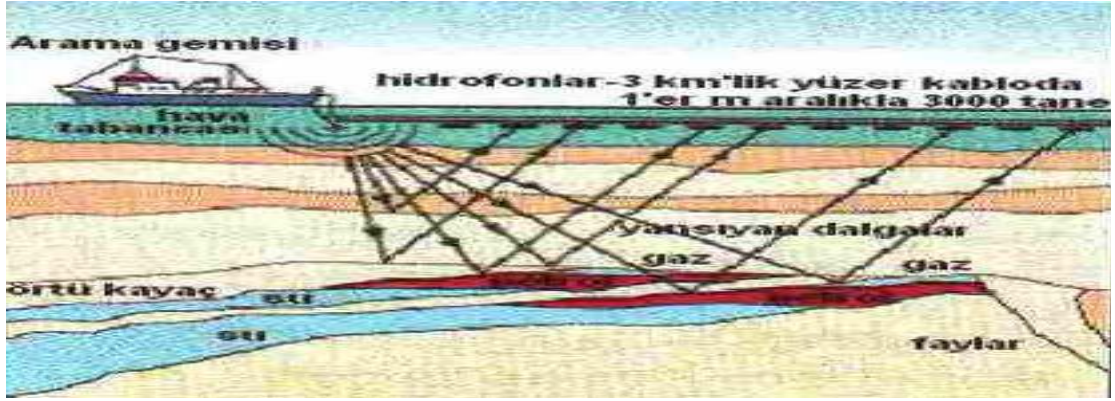
Doğal gaz hakkında bilinen en eski anlatım, MÖ. 1000 civarından kalma, Parnassus Dağı'nda keçilerini otlatan bir çoban, yarığında alev fişkıran bir kayaya rastlamış, fakat yörenin eski Grek sakinleri, yıldırım etkisiyle ateş almış olması gereken bir gaz sızıntısının beslediği yanar kaynağın ilahi kökenli olduğuna inanıp, etrafına bir tapınak yaptırmışlar.

Doğal gazın enerji alanında kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. Yaklaşık olarak bundan 3000 yıl önce Çin'de kamışların ucuna takılan aşındırıcı parçalarla açılan petrol kuyularından çıkan doğal gaz, kaynağından kullanım yerine yine aynı malzeme olan kamışlardan nakledilmekteydi. O zamanlar doğal gaz deniz suyunun buharlaştırılmasıyla tuz ve saf su elde edilmesinde kullanılmaktaydı. Ancak, doğal gazı yakalayıp taşımak zor olduğundan kullanımı yaygınlaşamadı. Bundan sonra 18. yüzyıl İngiltere'sinde, deniz fenerleriyle, sokak lambalarında kullanıldığı görülüyor. 1885 yılında Robert Bunsen'in kendi adıyla anılan ve gazın havayla uygun oranda karışıp temiz mavi bir alevle yanmasını sağlayan ocak başlığını keşfiyle birlikte, gaz konutlara da girmiştir.

Doğal gazın birçok tanımı yapılmaktadır. En basit tanımıyla doğal gaz; milyonlarca yıl önce hayvan ve bitki artıklarının toprak altında kalarak basınç ve ısının etkisiyle oluşan fosil bir yakıttır. Karmaşık ve geniş anlamıyla ise, tek hücreli deniz hayvanlarıyla yosunların (alg) kalıntıları, deniz dibine çöküp çamurla karıştıktan ve oksijensiz ortamda çürüyerek bozulduktan sonra, üstlerinde biriken kalın tortul katmanlarının altında, uzun süreli basınç ve ısı etkilerine maruz kalıp, yapısal dönüşüme uğramışlardır. Derinlikle birlikte artan sıcaklık, petrolü oluşturan hidrokarbonların daha küçük moleküllere parçalanmasına kısmen veya tümüyle doğal gaza dönüşmesine yol açmıştır. Bugün üretilen doğal gazın yaklaşık %40 kadarı petrol ile aynı yataklardan, %60 kadarı ise petrolün bulunmadığı yataklardan sağlanmaktadır.

Doğal gaz çıkarılmasına kısaca değinecek olursak; günümüzde en etkin arama aracı, yerkabuğuna gönderilen ses dalgalarının geri dönen yansımalarının kayıtlarında

oluşan titreşim kayıtlarıdır. Sesin değişik kayaç türlerindeki seyahat hızları bilindiğinden, farklı katmanların buluşma yüzeylerinden yansıyan dalgaların gidiş dönüş sürelerinden hareketle yola çıkılıyor (İşyarlar, 2007).



Şekil 3.6. Doğal gazın aranması

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi hava tabancası ile şok dalgaları yerkabuğuna gönderiliyor. Ses dalgalarının yerkabuğunda yansımalarını, birkaç kilometre uzunluğundaki yüzer kabloya su altı kulaklığı tarafından toplanıp kaydedilmektedir. Daha sonra veriler iki ve üç boyutlu incelenir ve tahminler yapılır. Tahminlerin tutma olasılığı oldukça düşüktür.

Çizelge 3.1. Rusya’dan ithal edilen doğal gazın garanti edilen özellikleri

		Garanti edilen	Fıllı
Metan (CH ₄)		En az %85	%98,68
Etan (C ₂ H ₆)		En fazla %7	%0,211
Propan (C ₃ H ₈)		En fazla %3	%0,043
Bütan (C ₄ H ₁₀)		En fazla %2	%0,017
Diğer hidrokarbonlar		En fazla %1	%0,033
Karbon dioksit (CO ₂)		En fazla %3	%0,035
Oksijen (O ₂)		En fazla %0,02	-
Azot (N ₂)		En fazla %5	%0,829
Hidrojen sülfür (H ₂ S)		En fazla 5,1 mg/m ³	
Toplam kükürt (S)		En fazla 102 mg/m ³	
Üst ısı değeri	En fazla (kcal/m ³)	9335	
	Ortalama (kcal/m ³)	9000	
	En az (kcal/m ³)	8250	

Not: 5°C sıcaklık, 1,01325 bar basınçtaki doğal gazın özellikleri

Doğal gaz esas olarak metan (CH₄), daha az olarak etan (C₂H₆), propan (C₃H₈), bütan (C₄H₁₀) gibi hidrokarbonlardan meydana gelir. Ayrıca bileşiminde azot (N₂), karbondioksit (CO₂), hidrojen sülfür (H₂S) ile helyum (He) gazları da bulunmaktadır. Ancak hidrojen sülfür zararlı bir bileşen olduğundan, doğal gaz üretim noktasında bu bileşenden temizlenerek boru hattına pompalanır

Doğal gazın en önemli özelliklerinden birisi zehirsiz olmasıdır. Doğal gazın solunması halinde zehirleyici ve öldürücü etkisi yoktur. Ancak ortamda fazla birikmiş ise, oksijen azalacağından dolayı boğulma tehlikesi vardır.

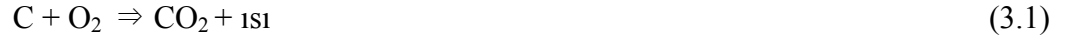
Doğal gazın hava içindeki oranı %5–15 arasında olursa patlayıcı özelliği taşır. Bu karışım sınırları arasında ateş, alev, kıvılcım vs. gibi tutuşturucu bir kaynaka temas ederse patlar.

Doğal gazın yoğunluğu 0,6 - 0,8 kg/m³ arasındadır. Havanın yoğunluğu ise 1,2 kg/m³ olduğundan doğal gaz havadan daha hafiftir.

Doğal gazlı kazanlarda ısı verim de yüksektir. Bir kazanın ısı veriminin yüksek olması, kazanı terk eden duman gazlarının sıcaklığının düşük olmasına bağlıdır. Ağır yakıt (Fuel-Oil) veya kömür yakılması halinde, kükürt oksitlere bağlı asit korozyonu nedeniyle duman sıcaklıkları fazla düşürülemez. Doğal gaz içerisinde kükürt bulunmadığından sıcaklığı 56°C'ye kadar indirilebilir.

Doğal gaz içinde kalitesini bozan gaz ve sıvılar üretim istasyonlarında ayrıştırılır. Doğal gazdan ayrılması gerekenler; H₂S, CO₂, sülfür bileşikleri, su buharı, azot, helyum ve daha ağır hidrokarbonlardır. Çevreyi kirleten üç ana faktör vardır. Bunlar doğal gaz içerisinde bulunmaz. Bunlardan birincisi kükürt oksitlerdir. Üretime verilmeden önce doğal gaz içerisinden ayrılır. Bu madde duman gazındaki ve havadaki nemle sülfürik aside (H₂SO₄) dönüşür. İkincisi is ve uçan kül parçacıklarıdır. Bunlarda doğal gaz içerisinde bulunmaz. Üçüncüsü ise yanmamış gazlardır. Bunlardan özellikle karbon monoksit (CO) belirli dozlara ulaştığında öldürücü etkisi yaratır. Doğal gaz hava ile iyi karıştığında ve doğal gazın yanması esnasında bir miktar fazla hava verilmesiyle karbon monoksit oluşumu önlenmiş olur.

Fosil yakıtların bünyesinde bulunan karbonun yanması sonucu ortaya çıkan karbon dioksit sera etkisine neden olmakta ve bu yüzden küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır. Doğal gaz fosil bir yakıt olduğundan küresel ısınmaya katkısı da olmaktadır.



Fosil yakıtların kullanılmaya başlanıldığı 1800'lü yıllardan bugüne dek, atmosfere önemli miktarda CO₂ salınmıştır. Ayrıca 20. yüzyılın başlarından itibaren bu artış giderek hızlanmıştır. Bu CO₂ artışı sera etkisine neden olmaktadır. Sera etkisi tüm insanlığı etkilemekte olan ve hemen hemen hiç telafisi olmayan, belki de en ciddi çevre sorunudur. Bu sorun, güneş ışınlarını hiç emmeden geçmesini sağlayan atmosfer içindeki atık gazlar nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan, yeryüzünden yayılan kızıl ötesi (infrared) ışınlarının büyük bir bölümü de bu gazlar tarafından emilmektedir. Bu ışınlar ısıya dönüşmekte ve bu ısının çoğu daha sonra tekrar yeryüzüne yansımaktadır.

Atmosferin içinde, gelen solar radyasyonun %70'i yerkürede emilmekte ve büyük miktarı yerküre yüzeyinde olmak üzere ısıya dönüşmektedir. %30'u ise atmosfere tekrar yansımaktadır. Yeryüzü, genellikle karbon dioksit vb. sera gazları tarafından yayılmakta olan kızıl ötesi ışınlarıyla da ısınmaktadır. Isı dengesini sağlamak üzere, yerküre yüzeyinin kendisi de kızıl ötesi ışınları yaymaktadır. Bu ışınların hemen hemen tamamı bulutlar ve sera gazları tarafından emilmektedir. Bunun ancak %13'ü emilmeden uzaya gitmektedir.

Sera etkisini şöyle açıklayabiliriz. Atmosferde yoğun miktarda CO₂ gibi atık gazlar bulunmaktadır. Genellikle bu gazlar güneş ışınını hemen hemen hiç emmezler ve bundan dolayı güneşin kısa dalga ışınlarının neredeyse tamamını geçirirler. Diğer taraftan yeryüzünden uzaya doğru yayılan kızıl ötesi ışınlarının tamamına yakın bir miktarını emerler. Basit olarak şöyle söyleyebiliriz; sera gazları aynen cam seralarda olduğu gibi fazla güneş enerjisinin yansiyarak uzaya gitmesini engellemekte ve dünyamızın fazla ısınmasına sebep olmaktadır.

İklimbilimciler, sera gazları emisyonları azaltılmasına yönelik herhangi bir tedbir alınmadığı takdirde, neler olacağı konusunda, yıllardır yoğun araştırmalar yapmaktadır. Eğer insan kaynaklı sera gazları emisyonları, gelecek yüzyıl da geçmişte olduğu gibi artış gösterirse, küresel ortalama sıcaklık 2100 yılına kadar 30°C civarında artacaktır. Buda tüm dünya ve insanlık için korkulan bir sonuç doğuracaktır. Küresel ısınmanın en ciddi boyuttaki etkisi, iklim ve bitki örtüsü kuşaklarının kutuplara doğru kayması olacaktır. İklim kuşakları kutuplara doğru, bitki örtüsü kuşaklarının herhangi

bir şekilde kendilerini takip edemeyecekleri bir hızda kayacaktır. Bundan dolayı özellikle orta ve daha yüksek enlemlerde yer alan ormanlar, bir bozkır haline dönüşecektir. Çünkü ağaçlar, yeniden çoğalma imkanı bulamadan öleceklerdir. Küresel ısınma sonucunda sıcaklık artacaktır. Sıcaklık arttıkça yeryüzünde ki karalardan ve su yüzeylerinden buharlaşma hızlanacaktır. Buda bazı bölgelerde aşırı yağışlara, bazı bölgelerde de kuraklığa neden olacaktır.

Hava ile karışımı daha kolay olan doğal gazın yanma verimi oldukça yüksektir. Baca gazlarının ısısından yararlanma olanağı sağlanırsa verim, üst ısıl değerinde %96–97 oranında gerçekleşebilmektedir.

Kömür ve ağır yakıtta kül, kurum, katran şeklinde ortaya çıkan artık maddeler doğal gazın kullanıldığı yerlerde olmayacaktır. Kazanlarda kabuk şeklinde duvarı kaplayan ve ısı geçişini zorlaştıran birikintiler olmayacağı için, ısı geçişi önemsenecek kadar değişikliğe uğramayacaktır.

Kömürde karbon miktarı, doğal gazda hidrojen miktarı fazladır. Doğal gaz tam yandığında, hidrojenle oksijenin tepkimesi sonucunda su meydana gelir. İşte, doğal gazın yanması sırasında, ısının bir kısmı reaksiyon suyunun buharlaşması için harcanır.

Doğal gazın içerisinde karbon yüzdesinin azlığı, alevin mavimtırak olmasına yol açtığından ışıma şeklindeki ısı geçişi azalır. Kömürde, ısı geçişinin büyük bir kısmı ışıyım şeklinde gerçekleşir (Altın, 2006).

3.2.3 LPG (Likid Petrol Gazı)

Halk arasında Tüp gaz olarak bilinen LPG, ülkemizde ısınma ve aydınlatmada kullanılan vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. LPG ham petrolden üretildiği gibi doğalgaz kaynaklarından da elde edilebilir. Temiz ve çevre dostu bir yakıt olan LPG, yandığında egsozt gazı, korbonmonoksit gibi çevreyi kirletici gazlar çıkarmaz, kül bırakmaz.

LPG iki yöntemle elde edilir. Birinci yöntem yeraltından çıkarılan ham petrolün rafinerilerde arıtılmasıdır. İkinci yöntem ise doğalgazın ayrıştırılmasıdır. Ham petrolün arıtılması yoluyla sadece LPG değil aynı zamanda benzin, motorin, Fuel – Oil gibi petrol ürünleri de ortaya çıkar.

Basınç altında sıvılaştırılan LPG' nin en önemli özelliği, normal sıcaklıkta hemen buharlaşmasıdır. Kaynama noktası 0°C altındadır. Basınçla kolay sıvılaştırılabildiğinden çelik tüplerde kolayca depolanıp taşınabilir. Normal sıcaklıkta kolayca buharlaşabilmesi onu diğer yakıtlara göre üstün kılan bir özelliktir. Bu nedenle büyük şehirlerden köylere kadar ülkemizin her bölgesinde yaygın olarak kullanılır.

LPG, doğal gaz kuyuları ve ham petrol rafinerileri olmak üzere iki ana kaynaktan elde edilir. Ham petrolün distilasyonu ile ortaya çıkan LPG, önce sudan arıtılır. Ardından içerdiği kükürt miktarı standartlara uygun sınıra indirilir. LPG aslında kokusuz bir gazdır, etil merkaptan ile sonradan kokulandırılır. Amaç açık ortamlarda kaçak olması durumunda fark edilmesini sağlamaktır (Anonim, 2007).

3.2.4 Fuel – Oil

Fuel – Oil ham petrolün damıtılması ile elde edilen bir yakıttır. Fuel – Oil'ler viskozite ve özgül ağırlıklarına göre numaralandırılmış olup, bileşimleri ağır hidrokarbonlar karışımıdır. Kimyasal bileşimi karbon ve hidrojendir. Az miktarda kükürt ve nitrojen de bulunur. Fuel – Oil ASTM D 396 ve DIN 51603'de 5 cins olarak belirtilmektedir. Türkiye'de ise; böyle bir sınıflandırma yoktur. Ancak motorin, Marine Diesel, Fuel – Oil No:4, Fuel – Oil No:5 ve Fuel – Oil No:6 olarak aynı ihtiyaçlar karşılanmaktadır. DIN 51603'de yapılmış olan sınıflandırmaya göre;

- Fuel – Oil EL (ekstra hafif)
- Fuel – Oil L (hafif)
- Fuel – Oil M (orta)
- Fuel – Oil S (ağır)
- Fuel – Oil ES (ekstra ağır)

Fuel – Oil'lerin özgül ağırlıkları $0,84 \text{ g/cm}^3 - 1 \text{ g/cm}^3$ arasında değişir. Ekstra hafif ve ağır Fuel – Oil'lerin özellikleri Çizelge 3.2. de verilmiştir. ASTM D 396 da aslında teorik olarak beş değil altı cins Fuel – Oil gözükmektedir. Ancak 3 numaralı Fuel – Oil'in ticari uygulaması kaldırılmış ve böylece DIN standardıyla uyum sağlanmıştır (Heper, 2001).

Çizelge 3.2. Bazı Fuel – Oil’lerin Özellikleri (Heper, 2001)

	Ekstra Hafif	Ağır
15 °C de yoğunluk (g/cm ³)	0,86	0,98
Parlama noktası (°C)	55	65
Engler Viskozitesi (E)		
20 °C de	Maks 15	
50 °C de		Maks 59
100 °C de		Maks 53
Kükürt Miktarı (%)	Maks 0,8	Maks 5,9
Nem Miktarı (%)	Maks 0,1	Maks 5,9
Yabancı Çökeltiiler (%)	Maks 0,05	Maks 5,9
Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	Min 10.000	Min 9500
Kül Miktarı (%)	Maks 0,1	Maks 0,15

Parlama noktası; sıvı yakıtın hava ile yanıcı bir karışım meydana getiren bir buhar çıkardığı en düşük sıcaklık derecesidir. Bu buhar ateşle alev alır ancak yakıtın kendisi yanmaz. Fuel – Oil’lerin parlama noktası 55 °C’in üzerindedir.

Fuel – Oil’lerin en önemli özelliklerinden birisi viskozitedir. Viskozite, bir sıvının akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Sıvı ne kadar az akıcı ise viskozitesi de o kadar yüksektir. Viskozite sıcaklıkla değişir. Kalın bir Fuel – Oil ısıtıldığında incelerek daha akıcı hale gelir. Bu nedenle, herhangi bir sıvının viskozitesi verilirken sıcaklığın da birlikte verilmesi gerekir. Ağır Fuel – Oil’in rahatlıkla pompalanabilmesi için, 50 °C’e kadar ısıtılması yeterlidir. Bu sıcaklıktaki Fuel – Oil’in viskozitesi 59 E dolayındadır. Viskozite 80 E’ nin üzerine çıkmamalıdır. Aksi halde, borulardaki sürtünme kayıpları çok artacak, buna bağlı olarak da gerekli pompa gücünde büyük bir artış meydana gelecektir. Fuel – Oil’ in yakıcılara basılabilmesi için özellikle dişli pompalar yada sonsuz vidalı pompalar kullanılmalıdır.

Fuel – Oil içerisindeki kükürt serbest halde yada bileşik halde bulunabilir. Ancak özellikle ağır hidrokarbonlarla bileşik halde bulunduğundan, damıtma sonucunda kükürtün büyük bir bölümü Fuel – Oil içinde kalır. Fuel – Oil içindeki kükürt, hidrokarbonlarla bileşik halde olduğundan, borularda ve tanklarda genellikle bir korozyon olayı görülmez. Ancak bakır borularda ve özel şartlar altında kükürt, bakırla bileşik meydana getirebilir. Bu bileşik yağda çözüldüğü için filtrelerin tıkanmalarına neden olabilir.

Fuel – Oil yandığı zaman kükürt, oksijen ile birleşerek kükürt dioksit (SO_2) meydana gelir. Bu kükürt dioksitin az bir bölümü ocakta oksitlenerek kükürt trioksit'e (SO_3) dönüşür. Kükürt dioksit havayı büyük çapta kirletebilir. Bu nedenle, yerleşme sahaları içerisinde yada yakınında bulunan santrallerden atılan kükürt dioksit miktarı $0,35 \text{ mg/m}^3$ den fazla olmamalıdır. Ekin ve bitkilerin zarar görmesini önleyebilmek için baca yükseklikleri mümkün olduğu kadar yüksek tutulmalı, santrallerde desülfürizasyon tesisleri kurulmalı ve gerekirse az kükürtlü Fuel – Oil yakılmalıdır.

Kükürt trioksit baca gazlarının bünyesindeki su buharı ile birleşerek buhar halinde sülfürik asit (H_2SO_4) meydana getirir. Çiğlenme noktasının altına inildiğinde bu sülfürik asit yoğunlaşarak yüzeylerde korozyona neden olur. Buna düşük sıcaklık korozyonu yada çiğlenme korozyonu denir. Baca gazlarının temas ettiği santral yüzeylerinin düşük sıcaklık korozyonundan korunabilmesi için, baca gazı çıkış sıcaklığının su buharı yoğunlaşma sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta olması gerekmektedir. Ancak bu sıcaklık ne kadar yüksek olursa, baca gazları ile atılan ısı da o kadar yüksek olacağından, santral genel verimi olumsuz yönde etkilenecektir.

Fuel – Oil'de az miktarda da olsa kül bulunur. Bu kül kimyasal bileşikler halindedir ve filtrasyon yolu ile tutulamaz. Ana elementleri vanadyum ve sodyumdur. Yanma sırasında vanadyum pentoksit (V_2O_5) meydana gelir. Vanadyum pentoksitin ergime noktası 675°C dolaylarındadır. Vanadyum pentoksit, sodyum sülfid ile birleştiğinde ergime noktası 570°C 'e kadar düşebilir. Ergiyen vanadyum pentoksit kızdırıcı boruları ve taşıyıcı borular gibi yüzeylerin üzerine yapışır. Oksijen, borulardaki demir ile reaksiyona girerek korozyona neden olur. Buna yüksek sıcaklık korozyonu denir. Yüksek sıcaklık korozyonuna, soğutulur tipte taşıyıcı borular kullanarak ve buhar sıcaklıklarını çok yüksek seçmeyerek engel olunabilir. Eğer bunlar mümkün değilse, vanadyumun ergime noktasını yükseltici katkı maddeleri kullanılmalıdır (Çalışıcı, 2005).

Fuel – Oil' de çok az miktarda nem bulunur. Bu nedenle yakıtın yanma özelliğine nemin hiçbir kötü etkisi olmaz. Suyun özgül ağırlığı Fuel – Oil'in özgül ağırlığından fazladır. Bu nedenle su, yakıt tankının dibine çöker ve kolayca drenaj edilebilir. Su, yakıtın içerisindeki öteki yabancı maddelerle birleşirse şlam meydana gelir. Bu ise filtre ve yakıcı memelerin tıkanmasına yol açabilir.

3.3 Yanma

Bir yakıtın ekzotermik bir reaksiyon sonucunda oksijenle birleşmesine yanma denir. Buhar santrallerinde yanmayı kolaylaştırabilmek, yani oksijen karbonla reaksiyonunu hızlandırabilmek için kömür öğütülerek yüzey alanı artırılır. Aynı amaç ile sıvı yakıtlara da yakıcı memeleri aracılığı ile atomizasyon işlemi uygulanır.

3.3.1 Yanma Olayında Meydana Gelen Teorik Reaksiyonlar

Karbon oksijenle reaksiyona girdiğinde karbondioksit meydana gelir. Bu ekzotermik bir reaksiyondur.



Eğer elde bütün karbonları yakmaya yetecek miktarda oksijen bulunmuyorsa, yanma sonucu meydana gelen CO_2 kızgın karbon ile reaksiyona girerek karbonmonoksit meydana gelmesine neden olur.

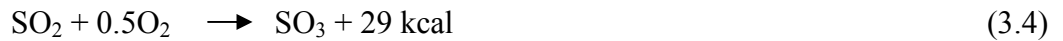


Bu reaksiyon endotermik bir reaksiyondur. Yani dışarı ısı vermez, ısı alır. O halde buhar santrallerinde böyle bir reaksiyona hiçbir zaman izin verilmemelidir. Bir diğer deyişle eldeki karbonun tümünün CO_2 haline geçebilmesi için yeterli miktarda hava sağlanmalıdır.

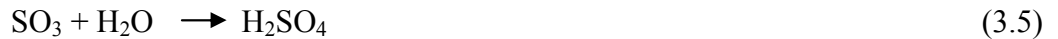
Kükürt oksijenle birleştiğinde kükürt dioksit meydana gelmektedir.



Meydana gelen SO_2 nin bir bölümü yanmanın olduğu yerde bulunan malzemenin etkisi ile oksitlenerek kükürt trioksit (SO_3) haline dönüşür.



SO_3 baca gazlarının bünyesindeki su buharı ile birleşerek sülfürik asit meydana getirir.



Sülfürik asitin sebep olacağı çığlenme korozyonuna engel olabilmek için kazanlarda yüksek kükürtlü yakıtlar yakılmamalıdır.

Karbon monoksit oksijenle birleşirse karbon dioksit meydana gelir.



3.3.2 Teorik Hava İhtiyacı (H_{min})

Karbonun tamamen CO_2 hale geçebilmesi yani yakıtın tamamen yanabilmesi için yeterli miktarda oksijen, dolayısıyla da hava bulunması gerekmektedir. Yakıtın elementer analizi, yakıt bünyesindeki karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen, kükürt, nem ve kül miktarlarını ortaya koyar. Bunlardan karbon, hidrojen ve kükürt yanıcı elementlerdir.

Yakıtın tümüyle yanabilmesi için gerekli olan minimum oksijen miktarı O_{min} bu üç yanıcı element için gerekli oksijen miktarlarının toplamına eşittir. Ancak yakıtın kendi bünyesindeki oksijen miktarını bu toplamdan çıkartmak gerekir. Çünkü yakıtın bünyesindeki oksijen de yanma sırasında kullanılmaktadır.

H_{min} hava miktarı, teorik hava miktarıdır. Pratikte kazanların ocaklarında yada yanma odalarında ihtiyaç duyulan hava miktarı bu değerden biraz daha fazladır. Çünkü kazanlarda yakıtın hava ile ideal bir şekilde karışması olanaksızdır. Tam yanmanın sağlanabilmesi için kazana teorik hava ihtiyacından daha fazla hava verilir. Yani kazanda her an bir hava fazlalığı vardır.

Gerçek hava miktarının teorik hava miktarına (H_{min}) olan oranına hava oranı yada hava fazlalık katsayısı denir.

$$\text{Hava oranı} : \lambda = \frac{H}{H_{min}} \quad (3.7)$$

Çeşitli ocak tipleri için hava oranları Çizelge 3.3 de sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Çeşitli Ocak Tipleri İçin Hava Oranları

Ocak Tipi	Hava Oranı
Pülverize tip ocak	1,25 – 1,35
Ergitme ocağı	1,10 – 1,20
Sıvı yakıt ocağı	1,05 – 1,10
Gaz yakıt ocağı	1,10 – 1,20
Yürür ızgaralı ocak	1,35 – 1,60

Saf karbon H_{min} miktarındaki hava ile yakılsaydı, baca gazında yalnızca karbondioksit ve nitrojen bulunurdu. Bunlardan CO_2 miktarı havadaki oksijen yüzdesi

kadar yani %21, nitrojen miktarı ise %79 olurdu. İşte bu CO₂ miktarı yanma sırasında erişebilecek en yüksek CO₂ miktarıdır ve CO_{2maks} ile gösterilir.

CO_{2maks}, ancak saf karbonun teorik hava miktarı ile tam olarak yakılabilmesi halinde elde edilebilir. Pratikte tam bir yanma ancak hava fazlalığı ile mümkün olabildiğinden bu değere erişmek olana dışıdır. Çünkü hava fazlalığı olduğundan baca gazında daha fazla N₂ ve O₂ bulunacağından, % olarak CO₂ nin payı azalacaktır.

Öte yandan yakıtların bünyesinde sadece karbon değil, aynı zamanda H₂ ve S gibi diğer yanıcı elementler de bulunabilir. Bu elementlerin de yanma sırasında oksijenle birleşecekleri doğaldır. Dolayısı ile yakıtlar yandığında, baca gazında erişilebilecek olan maksimum CO₂ miktarı yine %21 in altındadır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Yakıtların CO_{2maks} Değerleri

Yakıtlar	%	Yakıtlar	%
Doğalgaz	12,5	Turba	19,2
Hava Gazı	13,8	Ağaç	20,5
Hafif Fuel – Oil	15,2	Kok	20,6
Ağır Fuel – Oil	15,9	Jeneratör Gazı	20,6
Antrasit	19,1	Yüksek Fırın Gazı	24,8

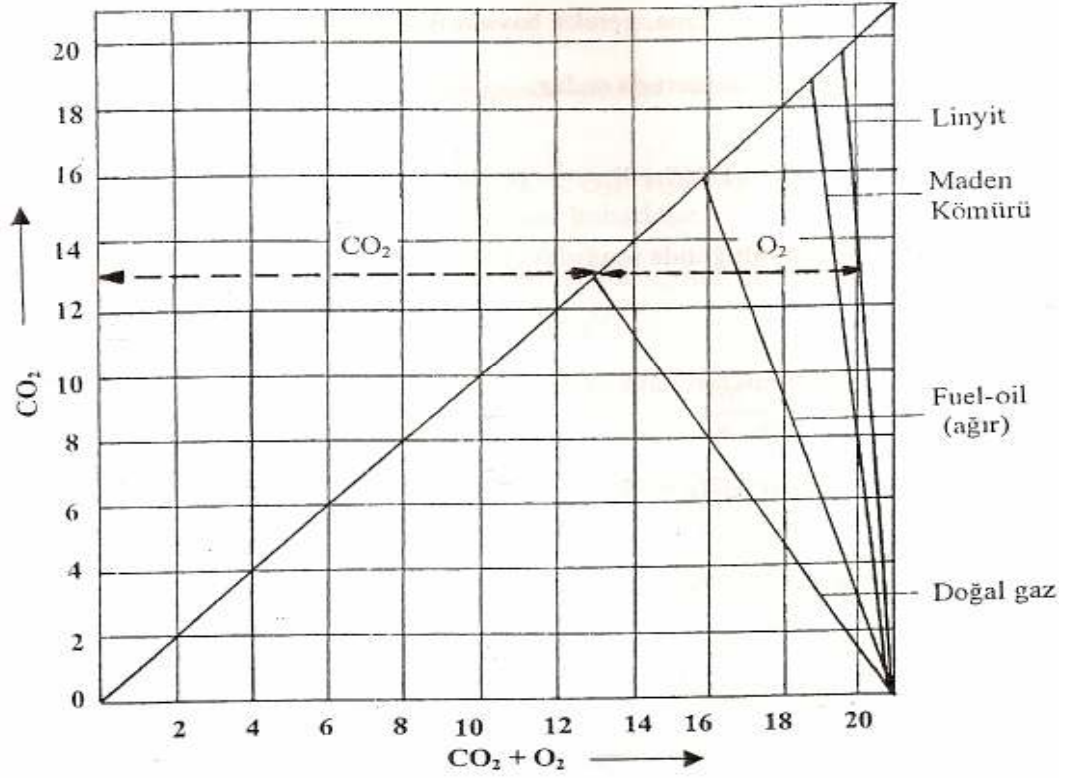
3.3.3 Baca Gazları

Kazanların ocaklarında yada yanma odalarında yanma sonucu meydana gelen gazlara baca gazları denilmektedir. Yanma sırasında C, H₂ ve S oksitlenerek CO₂, H₂O ve SO₂'ye dönüşür. Yakıt bünyesindeki nem ise gaz halinde H₂O olur, yani buharlaşır.

Baca gazındaki CO₂, SO₂, O₂ ve varsa CO miktarlarının birbirlerine olan oranları sabittir. Yanmanın kontrolü için CO₂ ve O₂ miktarlarının ölçülmesi yeterlidir. Her iki değer de elde varsa, tam yanma üçgeni yardımı ile baca gazında yanmamış gazların bulunup bulunmadığı kontrol edilebilir (Şekil 3.7).

Baca gazlarının sıfır derecedeki yoğunluğu yaklaşık olarak havanın aynı sıcaklıktaki yoğunluğuna eşittir. Ancak kazandan çıkarak bacaya gelen bu gazların yüksek sıcaklıklarda olması nedeni ile havaya oranla daha hafif olacağı doğaldır. Bu gazların bir molekülünün bacada, hava içerisinde bulunduğunu kabul edelim. Bu molekül aynı anda; kendi ağırlığının aşağıya doğru ve Arşimet ilkesine göre içinde

bulunduğu havanın yukarı doğru itmelerinin etkisi altındadır. İtme kuvveti, bu molekülün hacmindeki havanın ağırlığı kadardır. Yani yer çekimi kuvvetinden daha büyüktür. Bu nedenle molekül yukarıya doğru yükselir (Heper, 2001).



Şekil 3.7. Tam yanma üçgeni

Baca gazları, geçtikleri yollarda dirençlerle karşılaşılır. Bu dirençler; yakıtların direnci, ocak yada yanma odasının direnci, kazanın diğer kısımlarının direnci, gaz yollarının ve bacanın direnci.

Çekmeye karşı koyan dirençler çok fazla ise, bunu bacanın doğal çekmesi ile yenmek mümkün olamaz. Zaten pratikte, belirli bir baca yüksekliği aşıldıktan sonra çekme kuvvetinden bir artış olmadığı ispatlanmıştır. Öte yandan, baca gazlarının sıcaklığı 200 °C'in altına düştüğünde, bacanın çekişi çok zayıflar. Bu gibi durumlarda yapay çekme gereklidir. Yapay çekmede baca gazları bir fan yardımı ile ve emilerek yada basılarak bacaya gönderilir. Yapay çekmede baca gazı sıcaklığının bir rolü olmadığından, gazlardaki ısının daha büyük bir kısmından kazan ve yardımcıları ısıtmak için yararlanılabilir.

3.4 Buhar Santrallerinin Tarihçesi ve Gelişmesi

Uygarlığın ilerlemesi enerjinin kullanılabilmesiyle çok yakından ilgilidir. Bu nedenle yeterli miktarda enerjinin mümkün olan en düşük maliyetle elde edilebilmesi, bir ülkenin endüstriyel gelişmesi ve hayat standardının yükselebilmesi için şarttır. İşte bu nedenle eski zamanlardaki küçük ve ilkel buhar santralleri, tekniğin ilerlemesine paralel olarak yerlerini daima daha güçlü, daha modern ve daha ekonomik santrallerle bırakmıştır.

3.4.1 İlk Gelişmeler

Önceleri rüzgar, su, insan kuvveti ve evcil hayvanlar gibi ilkel kuvvetlerden faydalanılmakta idi. Bu durum 1769 yılında bir İngiliz olan James Watt'ın (1736–1819) ilk buhar makinesini yapması ile büyük bir değişikliğe uğradı. James Watt aynı zamanda 1784 yılında ilk hız regülatörünü de yapmıştır. 1799 yılında Unna Königsborn adında bir Alman bir buhar makinesi yaparak bunu büyük bir pompanın çalıştırılmasında kullanmıştır.

Isı – kuvvet işleminin teorik temellerini;

- Fransız fizikçi Carnot (1796–1832) 1824 de Carnot çevrimini,
- Alman doktor Robert Mayer (1814–1878) 1842 de termodinamiğin birinci yasasını,
- Alman fizikçi Rudolf Clausius (1822–1888) de termodinamiğin ikinci yasasını

Ortaya koyarak atmışlardır. Ayrıca Clausius entropi, Mollier ise entalpi terimlerini ilk kez tekniğe getirmişlerdir. 1906 yılında Prof. Mollier, su buharı için h-s diyagramını geliştirmiştir.

Yukarıda açıklanan teorik gelişmelere paralel olarak buhar santrallerinin tarihsel gelişimi şöyle başlamıştır;

1804	İlk su borulu kazan	J. Stevens
1866	Dinamo	W.V. Siemens
1882	İlk güç nakli	O.V. Miller
1882	Halkın yararına açılan İlk elektrik santrali (New York)	T.A. Edison

1883	Sabit basınçlı buhar türbini	C.G. de Laval
1884	Aksiyal buhar türbini	C.A. Parson
1885/88	Alternatif akım makinesi	Ferraris
1890	Yağlı transformator	C.E.L. Miller
1891	Alternatif akım iletimi	O.V. Miller
1892	Kızgın buhar makinesi	W. Schmidt
1908	Radyal buhar türbini	B. Ljungstörn

Buhar santrallerinin gerçek anlamdaki gelişimi 1892’lerde türbinlerin gelişmesi ile başlamıştır. Bu senelerde yalnızca iç ihtiyaç için elektrik üretimi devri de kapanmış ve önce bir binanın tümü, daha sonra da bir caddedeki binaların tümü için elektrik üretilmeye başlanmıştır.

3.4.2 1900’den Sonraki Gelişmeler

1900 yılı dolaylarında; el ile yüklenen kazanlar (Büyük su hacimli kazanlar), jeneratöre bağlı pistonlu buhar makineleri:

Buhar durumu: 12 ata/doymuş buhar

Kazan gücü : 10 t/h

Jeneratör gücü: 3000 kW

1900 – 1925 arası; doğal sirkülasyonlu, domlu kazanlar, 5000 kW gücüne kadar pistonlu buhar makineleri ve 30.000 kW gücüne kadar buhar türbinleri:

Buhar durumu: 20 – 40 ata/300 – 425 °C (kızgın buhar)

Kazan gücü : 30 t/h

Birden fazla kazan tek bir buhar makinesini yada buhar türbinini çalıştırmakta idi. 1920’den sonra türbinlerden alınan ara buhar ile besleme suyu ön ısıtıcılarının kullanılmasına başlandı. Malzeme ve konstrüksiyon problemleri daha fazla gelişmeye engel oluyordu.

1925 – 1955 arası, pülverize kömür ocaklı kazanlar (1925), domsuz kazanlar (1930), birden fazla gövdeli türbinler, ara kızdırma (1929), türbinlerden alınan ara buhar ile birden fazla besleme suyu ön ısıtıcısının kullanılmasına başlanması:

Buhar durumu: 65 – 125 ata/ 500 – 525 °C

Kazan gücü : 450 t/h

Jeneratör gücü: 150.000 kW

Başlangıçta yine birden fazla kazan tek bir türbini döndürmekte idi. Sonraları ise kazan kapasitesi türbin gücüne göre ayarlanarak blok santraller ortaya çıktı. 1935’de ergitme ocaklı kazanlar geliştirildi. 1938’den sonra boruların kaynakla birleştirilmesi gerçekleşti.

1955’den sonrası, bu tarihten sonra buhar tekniği, termodinamik, akışkanlar mekaniği, mukavemet, vibrasyon ve ölçü kontrol tekniğindeki gelişmeler, malzeme bilgisi ve su hazırlama donanımlarındaki ilerlemeler santralciligi aşağıdaki düzeye ulaştırdı:

Buhar durumu: 170 – 300 ata/ 525 – 600 °C

Kazan gücü : 3.000 t/h

Jeneratör gücü: 1.000 MW

Bu devirde kazan sistemlerinin basınca göre sınıflandırılması aşağıdaki gibi olmuştur.

Basınç	Kazan Sistemi
150 ata’nın altında	Doğal sirkülasyonlu
150 – 180 ata	Zoraki sirkülasyonlu
180 ata’nın üzerinde	Sülzer veya Benson tipi

1938’den sonra Otto Hahn’ın atomu parçalamasından sonra nükleer enerji her geçen yıl elektrik üretiminde daha fazla söz sahibi olmuş ve dünyada nükleer elektrik santrallerinin sayısı hızla artmıştır. Bugün Fransa elektrik üretiminin %70’inden fazlasını nükleer santrallerden karşılamaktadır. Bununla birlikte özellikle son 10 yılda dünya kamuoyunda nükleer santrallere karşı oluşan tereddütler ve çeşitli sivil toplum örgütlerinin girişimleri sonucunda, nükleer santrallerinin yapımı bir duraklama dönemine girmiştir. Bu durum ise konvansiyonel buhar santrallerinin yanı sıra kombine çevrim santralleri gibi diğer santral türlerinin yeniden cazip hale gelmesini sağlamıştır (Heper, 2001).

3.4.3 1880'den Bu Yana Buhar Çevrimindeki Gelişmeler

Bilindiği gibi bir termik santralde, yakıt bünyesindeki kimyasal enerji çeşitli kademelerden geçerek elektrik enerjisine dönüşür. Bu dönüşümden elde edilen yararlı enerji miktarı tekniğin gelişmesine paralel olarak gittikçe artmaktadır. Kazan – baca gazı kayıpları ve kondensasyon kayıplarında ise zamanla büyük bir düşüş göze çarpmaktadır. Alev borulu kazanda yararlı enerji miktarı sadece %9'dur. Çift ara kızdırıcılı ve modern bir kuruluş olan Benson kazanında ise bu değer %43'e çıkmaktadır. İç ihtiyaç ise gittikçe artan bir özellik göstermektedir.

1882 yılında kurulmuş olan bir Amerikan santralının spesifik yakıt harcaması 11 kg/kWh dolaylarında idi. Bu değer 80.000 kcal/kWh'lik bir kalori harcamasına eşittir. Bugün ise modern bir buhar santralının kalori harcaması bu değerın %3'ünden daha azdır. Buhar türbinlerinin güç makineleri olarak kullanılmaya başlandığı tarihlerden zamanımıza kadar bir göz atıldığından, ortalama ısı harcamasının 1920'lere kadar düştüğü, 1920'lerden 1950'lere kadar bu düşüşün yavaşladığı ve bu tarihten sonra da yavaş yavaş 2.100 – 2.200 kcal/kWh'e doğru yaklaşıldığı görülebilir. Çizelge 3.5 deki sıralama 1900 yılından bu yana santrallerin ısı harcamalarının ulaşabildiği en iyi değerleri vermektedir.

Çizelge 3.5. Isı harcamasındaki gelişmeler

YIL	En İyi Değer (kcal/kWh)
1900	10.000
1910	8.000
1920	5.000
1930	3.000
1950	2.500
1970	2.150
1995	2.100

Isı harcamasındaki bu gelişmeler şu şekilde başarılmıştır. Kazan tarafı;

- Taze buhar basıncı ve sıcaklığının yükseltilmesi
- Bir yada iki ara kızdırıcının kullanılması
- Baca gazları yardımı ile havaya ön ısıtma uygulanması
- Ocakların ve ocak reglajlarının geliştirilmesi

- Kazanların büyütülmesi
- Devir sayısı ayarlanabilen tipte kazan besleme suyu pompalarının kullanılması
- Sabit yada hareketli kanatları ayarlanabilen tipte fanların kullanılması

Türbin tarafı;

- Ara buharlardan yararlanılarak yoğuşturulacak buhar miktarının azaltılması (kondesasyon ısısından yararlanma)
- Vakumun yükseltilmesi
- Türbinlerin büyütülmesi
- Hareketli kanatları ayarlanabilen tipte soğutma suyu pompaları kullanılması

Bu sıralamadan zamanla yatırım giderleri ile ilgili olarak şu problemlerin ortaya çıktığı görülmektedir.

- Malzeme problemleri, yüksek ısıya dayanıklı pahalı çeliklerin kullanılması
- Özellikle birden fazla ara kızdırıcı kullanıldığında çok yüksek konstrüksiyon ve inşaat giderleri
- Büyük türbin güçleri çok sayıda kademe gerektirmekte, bu ise gövde sayısını artırmaktadır. 3.000 d/dk lık bir hızda, büyük güçler için çok uzun türbinler gerekmektedir, dolayısıyla ısıl genleşmeler ve dengeleme, çözülmesi güç birer problem olarak ortaya çıkmıştır. Bu zorluğu yenebilmek için türbin hızını 1.500 d/dk ya indirme zorunluluğu doğmaktadır.
- Çok kademeli beslenme suyu ön ısıtma donanımları ve özellikle yüksek basınç ön ısıtıcıları için büyük miktarda konstrüksiyon ve imalat giderleri gerekmektedir. Bu nedenlerle santrallerin geliştirilmesi ve dolayısıyla yakıtlardan alınan ısıdan daha fazla yararlanılabilmesi bugün artık gittikçe güçleşmekte ve sınırlanmaktadır.

3.4.4 İşletme ve Kontroldeki Gelişmeler

Santralcilik tekniğindeki gelişmeler gün geçtikçe personel sayısının azaltılmasını, fakat buna karşılık santralin güvenli ve ekonomik çalışmasını sağlayacak her türlü aracın artırılmasını zorunlu kılmıştır. Önceleri bir kazan ateşçisinin çalışma kapasitesi personel giderlerine etki edebilmekte ve kazan gücünü bile sınırlayabilmekteydi. O tarihlerde kazanlara verilebilen yakıt miktarı 2 t/h i

geçmemektedir. Daha sonra bu ağır iş mekanik enerji yardımı ile yapılmaya başlandı. İşte yalnız başına bu olay bile personel sayısında büyük düşüş sağladı. Almanya'da yapılan bir araştırmaya göre 1924 yılında 31 buhar santralinin ortalaması alındığında MW başına düşen personel sayısı 5,94 idi. Ancak bu 31 santralden her biri büyük farklılık göstermekteydi. En az olanı 2,82, en fazla olanı ise 13,5 personel/MW idi. Bu santrallerde çalışan tamir ve bakım personelinin toplam personele olan oranı %21 - %53 arasında değişmekteydi.

Personel sayısına etki eden en büyük faktör ünitelerin güçlerinin artması olmuştur. Büyük güçlü ünitelerde teçhizatın çok çabuk, çok emin ve çok düzgün çalışmaları zorunluluğu otomasyon tekniklerinin geniş çapta uygulanmasını ve geliştirilmesini gerektirdi. Bu nedenle 100 – 150 MW'lık ünitelerde personel sayısı 0,5 personel/MW'a, daha büyük güçlü ünitelerde ise 0,2 personel/MW'a kadar düştü.

1920'lerde ölçü ve kontrol cihazları yok denecek kadar azdı. 1926'da herhangi bir kazan için bir su düzeyi regülatörü ve 6 – 7 gösterge, türbin için ise bir hız regülatörü ve 8 – 9 gösterge yeterli idi. Bugün her santralde görülen birçok ölçü ve kontrol cihazlarının tekniği o zamanlar henüz bilinmemekteydi. Bu cihazlar büyük ve pahalı ünitelerin daha iyi kontrol edilmesi ve bütün önemli noktaların insan eli değmeden otomatik olarak regüle edilebilmesi zorunluluğu sayesinde geliştirildi. Bu gelişmelerin önemli bir bölümü ise ancak son 20 – 30 yılda gerçekleştirilebildi (Heper, 2001).

3.5 Buhar Santrallerinin Tanımı ve Çevrimleri

Yakıttaki kimyasal enerjinin, sırası ile ısı ve mekanik enerjiye dönüşmesinden sonra, jeneratörden elektrik elde edilmesi termik santrallerde yapılır. Elektrik akımı fiziksel büyüklük olarak kolayca ölçülebilir, fakat algılarımızla saptanamaz. Bize ancak yaptığı bir işi algılama olanağı veren elektrik enerjisi, başka tür bir enerjinin bir yada birkaç kez şekil değiştirmesi sonucu elde edilir.

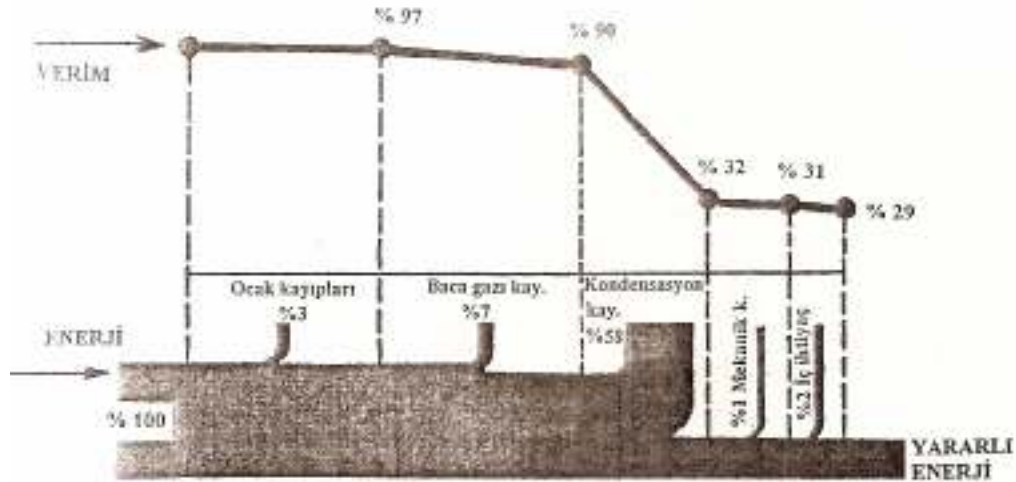
Buhar santralli denildiğinde hemen hepimizin aklına ağırlıklı olarak konvansiyonel tip buhar santralleri gelmektedir. Bununla birlikte dünyada primer enerji kaynaklarının gittikçe azalması, oldukça temiz bir yakıt türü olmakla beraber rezervleri sonsuz olmayan doğal gazın kullanımının yaygınlaşması, nükleer santrallere karşı

halkta oluşan tereddütler, hidrolik potansiyelin sınırlı olmasının yanı sıra mevsimlere göre değişiklik göstermesi ve alternatif enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten teknolojilerin henüz yeterince gelişmemiş olması, buhar santrallerinden mümkün olan en yüksek verimle yararlanabilme çabalarını artırmıştır. Bu çabaların sonucunda ise kojenerasyon santralleri ve kombine çevrim santralleri geliştirilmiştir (Heper, 2001).

3.5.1 Konvensiyonel Buhar Santrali

Tüm elektrik santralleri gibi konvensiyonel buhar santralleri de büyük çapta bir enerji değiştirgecinden başka bir şey değildir. Bu enerji değiştirgecinde yakıtın kimyasal enerjisi, primer enerji olarak kullanılmaktadır. Yakıtın kazanlarda yakılması ile açığa çıkan bu enerji işlenen maddeye (suya) geçmekte ve onu buharlaştırmaktadır.

Kayıpların bulunmadığı ideal bir çevrimde işlenen maddeye geçen ısı, yakıtın yakılması ile açığa çıkan ısının tamamına eşittir. İşlenen maddenin enerjisi daha sonra türbinde mekanik enerjiye dönüşür. Sonunda, bu mekanik enerji jeneratörde elektrik enerjisi halini alır. Pratikte ise, bu dönüşümlerin tümünde kayıplar vardır. Şekil 3.8 de basit bir konvensiyonel buhar santralının Sankey diyagramı çizilmiştir. Bu diyagramdaki örnekte primer enerjinin ancak %29'u yararlı enerji halini alabilmektedir.



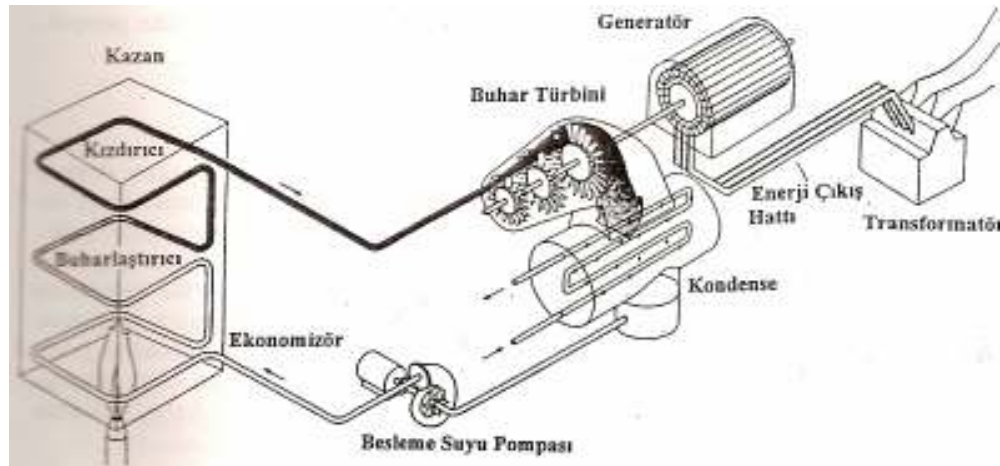
Şekil 3.8. Basit bir konvensiyonel buhar santralının Sankey diyagramı

Yakıtın katı, sıvı yada gaz halinde bulunması, ısı değeri, bünyesindeki kül ve nem miktarı, curufun kazandan sıvı halde yada kuru halde alınması curuf – yakıt yolunun dizayn ve konstrüksiyona etki eden faktörlerdendir.

Yanma odasında yanma havasındaki oksijenle birleşerek yanan yakıt gaz haline dönüşür ve yanma nedeni ile açığa çıkan ısı enerjisi bu gaz ile taşınır. Yakıt bünyesinde bulunan ve yanma özelliği olmayan kül ve curuf gibi maddeler geriye kalır. Bu atık maddeler yakıtın cinsine göre %1 den daha az olabileceği gibi %40 – 50 kadar da olabilir. Nem miktarı %0 – 60 arasında değişebilir ve buhar halinde atmosfere verilir. Yanma sonucu ortaya çıkan kül ve curuf gibi katı atık maddeler kazandan alınarak atılır yada inşaat endüstrisinde ham madde olarak kullanılır.

Taze hava vantilatörü yanma için gerekli olan havayı atmosferden emer ve bir ısı değiştiriciden geçirerek ısıttıktan sonra kazana basar. Yanma odasında hava yakıt ile birleşerek baca gazını meydana getirir. Baca gazı kazanın ısıtma yüzeyleri arasından geçerek ısınıp bu ısıtma yüzeylerine verir. Daha sonra hava ön ısıtıcısından, filtrelerden geçer, cebri çekme vantilatörü ile emilerek bacaya verilir ve oradan da atmosfere atılır. Yakıt ile yanma havasının ideal şekilde karıştırılabilmesi mümkün olmadığından, teorik hava fazlalığı bulunmasına dikkat edilir. Bu durumun doğal bir sonucu olarak da gerçek baca gazı miktarı, teorik baca gazı miktarından daha fazla olur.

Şekil 3.9 de simgesel olarak gösterildiği gibi santralının bir tarafından giren su öteki tarafından atılmamakta tersine, kapalı bir devre içerisinde kimi su fazında, kimi zamanda buhar haline dönüşüp durmaktadır.



Şekil 3.9. Su buhar çevrimi

Kazandaki su, baca gazları ile ısıtılır, buharlaştırılır ve kızdırılır. Baca gazları ile su arasındaki ısı alış veriş, borulardan meydana gelen kazan ısıtma yüzeyleri aracılığı ile gerçekleştirilir. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık altında kazandan çıkan buhar,

türbinde genişletilir. Burada da tıpkı hava gaz yolunda olduğu gibi, çok büyük çapta hacim değişikliği meydana gelir. Buharın kinetik enerjisi türbin kanatlarında mekanik enerjiye dönüşür ve türbin kanatlarına çarpan buhar, bu kanatlar rotorun üzerine monte edilmiş olduğundan rotoru döndürür. Son türbin kademesinden çıkan buhar kondenseye atılır ve burada yaklaşık 0.04 ata'lık bir vakum altında yoğunlaşır. Yoğuşarak su haline gelen buhar (kondensat) kondensenin altındaki Hotwell diye adlandırılan bir tankta toplanır. Hotwell'den çıkan kondensat, kondensat pompasına gelir. Burada basıncı bir miktar yükseltilir ve alçak basınç ön ısıtıcısından geçirilerek besleme suyu tankının gaz alıcısına ve dolayısıyla suyu degazör tankına gönderilir. Gaz alıcıda su ısıtılır ve bu yolla gazı alınır. Yani, korozyonlara engel olmak için suyun içerisindeki oksijen dışarı atılır. Besleme suyu pompası, suyu yüksek basınç ön ısıtıcılarından geçirerek kazana gönderir. Böylece çevrim tamamlanır ve aynı işlemler yeniden başlar.

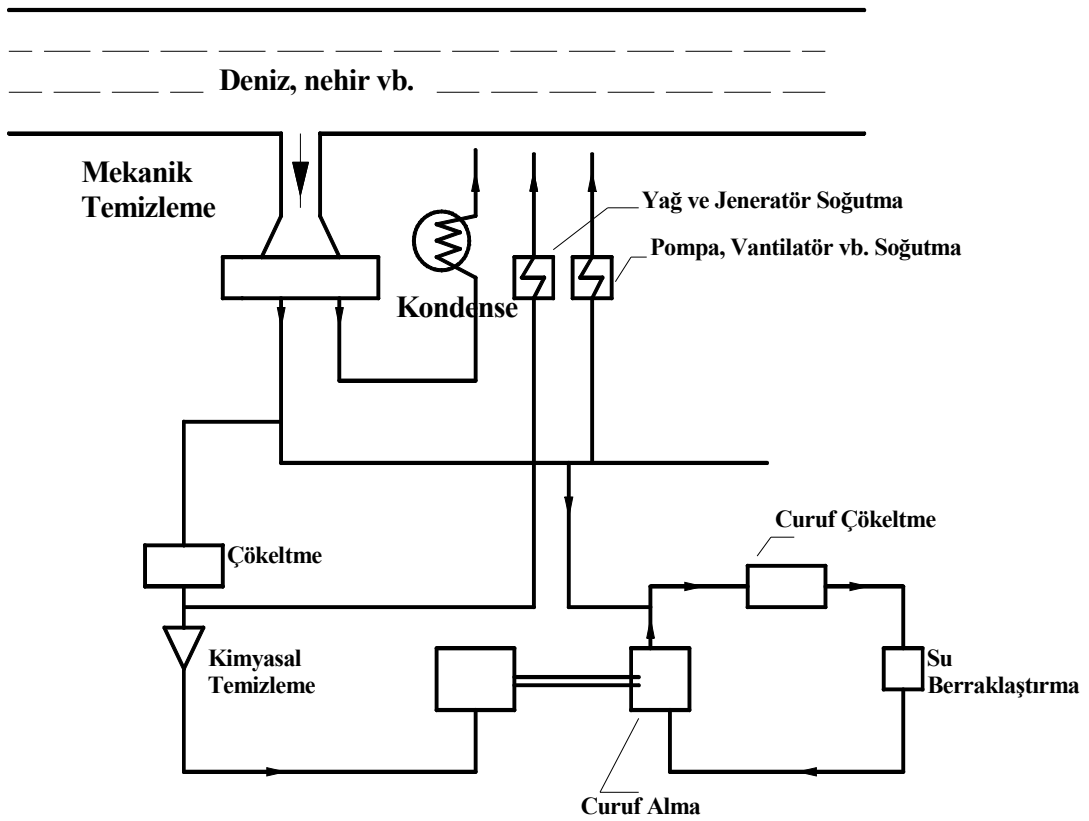
Alçak ve yüksek basınç ön ısıtıcıları ile gaz alıcının fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için gerekli olan kızgın buhar, türbinin çeşitli basamaklarından ara buhar alınır ve kondensatın yada besleme suyunun kazana girmeden önce ısıtılmasında kullanılır. Alınan bu ara buharlar zaten türbin kanatlarında bir miktar iş yapmışlardır. Buna rağmen taşımakta oldukları ısıyı da, bu yolla besleme suyuna verdiklerinden kayıpların azalmasına ve dolayısıyla da verimin artmasına neden olurlar. Yani kondensasyon ısı kayıplarının azalması ile ısı harcamasında belirli bir azalma meydana gelir.

Ara kızdırıcı ünitelerde, kazanlardan gelen kızdırılmış taze buhar, türbin yüksek basınç basamaklarından geçerek genişler, tekrar kazana döner, yeniden kızdırılır (ara kızdırma), kazandan çıkar, türbinin orta basınç ve alçak basınç basamaklarından geçerek genişler ve kondensede yoğunlaşır.

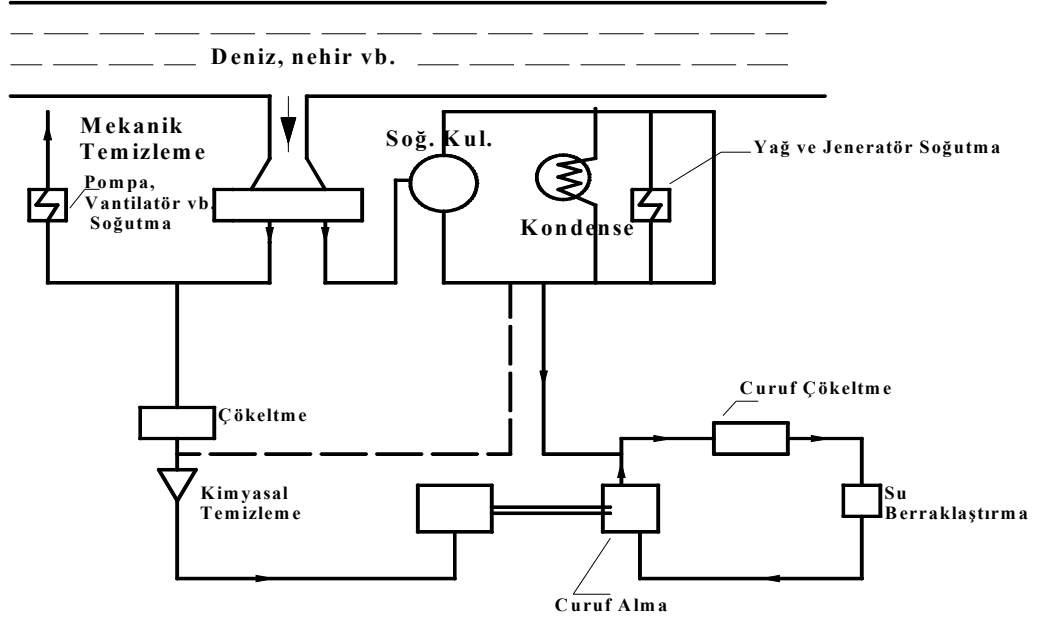
Buharın kondensede yoğunlaştırulabilmesi için büyük miktarda soğutma suyuna ihtiyaç vardır. Soğutma suyunun tümü nehir, göl yada denizden alınıyorsa buna açık devre ile soğutma denir. Bu halde su, açılan kanala dolarak taraklara ve süzgeçlere gelir. Taraklarda iri pislikler ayrılır. Süzgeçlerde ise su mekaniksel olarak temizlenir. Soğutma suyu sıcaklığının yıllık ortalaması ideal şartlarda 10 – 15 °C olmalıdır. Bu değerlerin karşılığı olan kondense basıncı 0,03 – 0,04 ata'dır. Soğutma suyu pompaları, soğutma suyunu kondenseye başlar. Kondenseye basılan soğutma suyu, burada türbinden gelen buharı yoğunlaştırırken 8 – 10 °C ısınır. Isınmış olan soğutma suyu

alındığı nehir, göl yada denize geri verilir. Soğutma suyu miktarı, yoğuşturulan buharın ortalama 50 – 70 katıdır (Şekil 3.10).

Suyun bol miktarda bulunmadığı yörelerde, kondensede ısınmış olan soğutma suyu soğutma kulelerinde soğutulur. Eğer kulelerde suyun yukarıdan aşağıya doğru dökülmesi sırasında meydana gelen buharlaşma kayıplarını karşılayabilecek kadar da su yoksa havalı soğutma donanımları kullanılır. Soğutma kulelerinde soğutulmuş olan suyun sıcaklığı 22 – 27 °C arasında değişir. Bu değer karşılığı olan kondense basıncı (vakumu) 0,05 – 0,06 ata'dır. Soğutma kulelerinde soğutulan su, soğutma suyu olarak kullanılmak üzere tekrar kondenseye gönderilir. Buna kapalı devre ile soğutma denir.



Şekil 3.10a. Soğutma suyu devreleri



Şekil 3.10b. Soğutma suyu devreleri

Bir elektrik santrallinde iki ayrı elektrik enerjisi yolu bulunmaktadır; jeneratörden çıkan üç fazlı akım ve ikaz dinamosunun iki fazlı akımı.

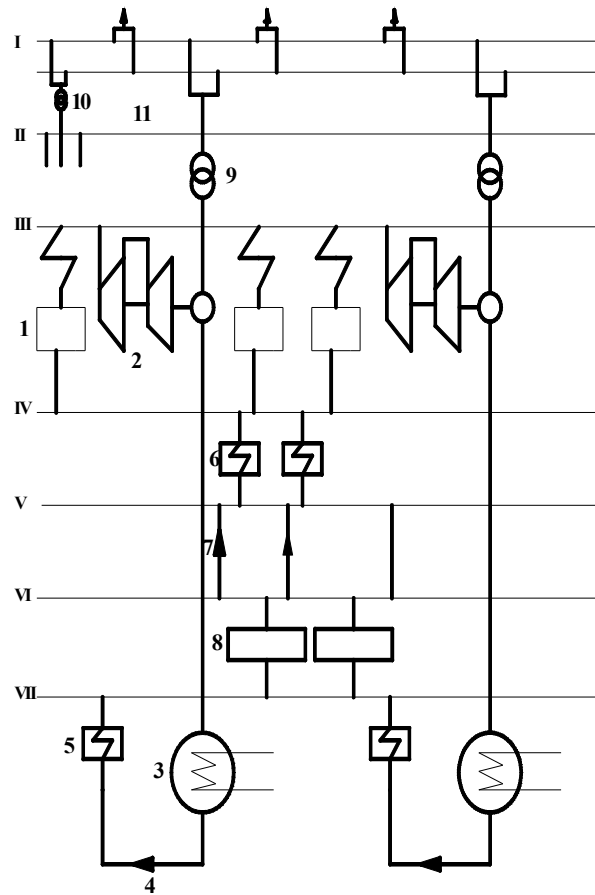
Turbo jeneratörlerin gelişmesi bakır sargılarla ve dolayısı ile soğutma problemi ile yakından ilgilidir. Çevre sıcaklığı ile sargılarda izin verilebilecek maksimum sıcaklık arasındaki fark sınırlıdır. Sargılardaki ısınma akım miktarına paralel olarak artmaktadır. Bakır kesitlerin büyütülmesinin ise teknik limitleri bulunmaktadır. Bu nedenlerle bakırların daha fazla yüklenebilme olanakları, soğutma işleminin geliştirilmesi ile artırılabilmiştir. Eskiden hava soğutmalı olan jeneratörler artık 40 – 50 yıldan beri hidrojen ile soğutulmaktadırlar. Gittikçe artırılan hidrojen basıncına paralel olarak jeneratör sargılarının yüklenebilmeleri de artmıştır. Bugün büyük jeneratörlerde sargılar hemen hep hidrojenle yada tuzları tümüyle giderilmiş su ile soğutulmaktadır. Tuzları giderilmiş suyun elektrik iletkenliği çok düşüktür. Soğutmada kullanılan hidrojen gazı kapalı bir devrede çalışır (Heper, 2001).

Jeneratörlerden elde edilen enerjinin büyük bir bölümü dış ihtiyaç için kullanılır. Geri kalan küçük bir yüzdesi ise santralin iç ihtiyacı için harcanır. Santralde kullanılan motorlar, vanalar, fanlar, pompalar, bantlar, değirmenler ve aydınlatmalar vb. enerjilerinin toplamına iç ihtiyaç denir.

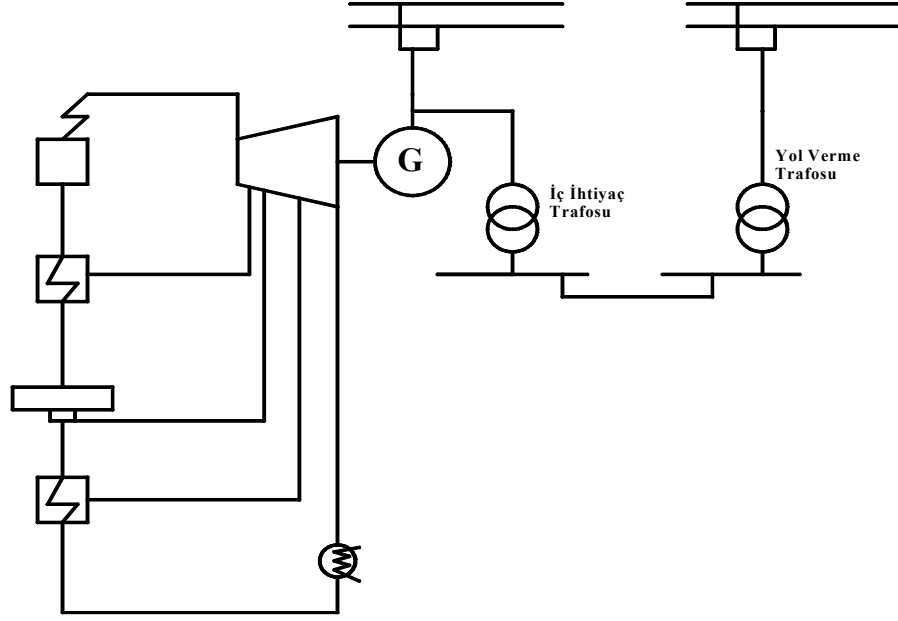
Konvensiyonel buhar santralleri kuruluş şekillerine göre iki farklı gruba ayrılabilir.

- a) Çapraz beslemeli santraller; hem buhar hem de su tarafı yönünden ring şeklinde bir boru sistemi ile birbirlerine bağlanmışlardır. Yani kazanlar ortak bir besleme suyu hattı ile beslenirler. Türbinlere ise, istenilen kazanlardan buhar verilebilir (Şekil 3.11).
- b) Blok santraller; her blok tümüyle bağımsız olarak enerji üretir. Yani her kazanın kapasitesine uygun bir türbin vardır. Her blokta bir kazan, bir türbin, bir jeneratör, ön ısıtıcılar, besleme suyu tankı ve gaz alıcı, pompalar, ana ve yardımcı trafolar, bunları birbirleri ile bağlayan boru donanımları vb. bulunur (Şekil 3.12).

Blok santraller genellikle baz yük santralleri olarak planlanır ve kurulurlar. Bu nedenle, mümkün olursa en ekonomik yük noktasında ve devamlı olarak çalıştırılmalıdırlar.



Şekil 3.11. Çapraz beslemeli bir santralin prensip şeması



Şekil 3.12. Bir blok santralin basitleştirilmiş prensip şeması

Blok santrallerde ara kızdırıcıdan rahatlıkla yararlanabilme olanağı bulunmaktadır. Ara kızdırıcı ise entalpi düşümünü arttırmakta, bu sayede santral veriminde belirgin bir artış meydana gelmektedir. Diğer taraftan türbin yüksek basınç bölümünden çıkan buhar, ara kızdırıcıda yeniden taze buhar sıcaklığına kadar kızdırıldığından, alçak basınç türbin kanatlarındaki erozyon ve korozyon tehlikesi azalmaktadır. Belirli bir yükün altında çalıştırılabilme olanakları yoktur. Önemli arızalarda, tamirlerde, bakımlarda ve temizliklerde tüm bloku devreden çıkarmak gerekmektedir (Heper, 2001).

3.5.2 Kombine Çevrim Santrali

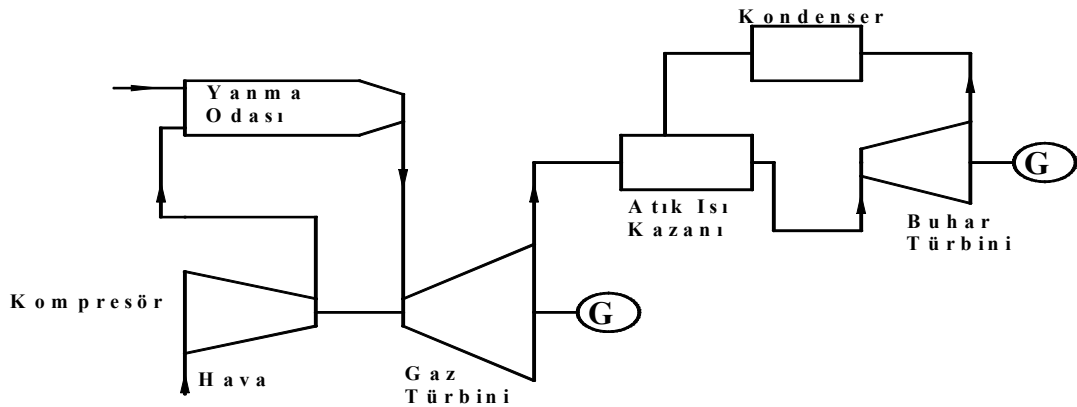
Kombine çevrim terimi, esas itibariyle gaz türbin çevrimi ve buhar çevriminin bir sistem içine alınarak birbirini tamamlayıcı şekilde çalıştırılmasını ifade etmekte olup, genel prensibi gaz türbin çevriminden çıkan egzost gazlarının yüksek dereceli ısısının su – buhar çevriminde kullanılarak ek bir enerji üretiminin sağlanmasına dayanmaktadır. Kombine çevrimlerde birincil olarak elektrik üretimi sağlanmakla birlikte, istenirse çevrimden ara buhar alınarak santral, birleşik ısı – güç sistemi olarak

da çalıştırılabilir. Bu özelliği ile kombine çevrimler, ısı – güç üretiminde günümüzde var olan en verimli yöntem konumundadır.

Atmosferden alınan hava, bir filtre sisteminden geçirildikten sonra gaz türbinin kompresör kısmına girer ve burada sıkıştırılarak yanma odasına iletilir. Yanma odasına püskürtülerek verilen yakıt da bu sıkıştırılmış hava ile karışarak yanar. Burada oluşan yüksek basınçlı sıcak gazlar gaz türbinin kanatlarından geçerek türbinin döndürür ve türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir. Gaz türbininden çıkan sıcak atık gazlar bir egzost kanalı ile atık ısı kanalına iletilir. Egzost gazları, ısılarını burada su buharı çevrimine transfer ederek soğur ve daha sonra kazan bacasından atmosfere atılırlar.

Atık ısı kazanlarda, genel olarak üç ayrı ısı eşanjörü bölümü bulunur. Su – buhar çevriminde, su ilk önce kazanın ekonomizer bölümüne girer ve doyma sıcaklığının çok altında bir sıcaklığa kadar ısıtılır, daha sonra evaporatör bölümünde buhar haline dönüşür ve bu doymuş buhar kızdırıcı bölümünde tekrar ısıtılarak kızgın buhar olarak buhar türbinine verilir. Ancak kazan ve buhar türbinin gruplarının tekrar kızdırmalı ve tekrar kızdırmaz, iki yada üç basınç kademeli olmaları durumunda; ekonomizer, evaporatör kızdırıcı bölümleri de her bir basınç kademesi için kazan içerisinde ayrı ayrı yer alırlar ve bu basınç kademelerine bağlı olarak su – buhar çevrimi de kendi içinde ayrı çevrimler oluşturulur.

Atık ısı kazanında üretilerek türbine verilen buhar, türbin kademelerinde genişler ve böylece termik enerji mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur. Türbinin tahrik edilmesiyle de türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kombine gaz-buhar türbinli kojenerasyon tesis şeması

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

Kombine çevrimin en büyük avantajı, fosil yakıtlı santraller içinde en yüksek verime sahip olmasıdır. Yüksek verimin dışında kombine çevrim santrallerinin daha birçok avantajları bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi de kombine çevrimlerin birçok değişik alana hizmet verebilecek esnekliğe sahip olmasıdır. Kombine çevrim santrallerinde yalnızca elektrik üretimi yapılabildiği gibi ister kazandan isterse buhar türbininden alınacak ara buharın bölgesel ısınmada yada prosesde kullanılmasıyla santral verimi artırılır.

Kombine çevrimlerde doğal gazın her çeşidi, ham petrolden motorin ve Fuel – Oil'e kadar tüm sıvı yakıtlar ile gazlaştırma yöntemi ile kömür dahil olmak üzere çok geniş bir yakıt kullanım olanağı mevcuttur. Ayrıca istendiği takdirde gaz türbin brülörleri çift yakıt yakabilecek şekilde de dizayn edilmektedir. Örneğin Ambarlı Kombine Çevrim Santrallerinde doğal gazın yanı sıra gerektiğinde fuel – oil de kullanılmaktadır.

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

Kombine çevrim santrallerinin en önemli avantajlarında biriside konuya çevresel açıdan bakıldığında ortaya çıkmaktadır. Günümüzde çevreye verilen önemin büyük ölçüde artmış olması ve bu nedenle zararlı madde emisyonlarına ilişkin limit değerlerinin oldukça düşük seviyelere çekilmesi sonucunda kombine çevrim teknolojileri büyük rağbet görmeye başlamıştır. Bunda en önemli etken ise kombine çevrim santrallerinde yüksek verimle üretilen birim elektrik enerjisine karşılık atılan CO₂ miktarının diğer termik santrallere göre % 40 – 45 oranında daha az olması ve özellikle doğal gaz ile çalışan kombine çevrim santrallerinde katı madde emisyonunun sıfır, NO_x emisyonunun ise kabul edilebilir limit değerlerin çok altında olmasıdır.

Kombine çevrim santrallerinin aşağıdaki üç ana grupta uygulamaları mümkündür;

- İlave Yanmasız Kombine Çevrim
- Tam Yanmalı Kombine Çevrim
- Paralel – Güç Üniteli Kombine Çevrim

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

İlave yanmasız kombine çevrim santrallerinde; yanma tamamen gaz türbininde olur ve türbinin egzost gazı bir atık ısı kazanına gönderilir. Basit konveksiyon tip ısı eşanjörleri olan atık ısı kazanlarında ise herhangi ilave bir yakıt yakılmadan sadece gaz türbinini egzost gazlarının yüksek ısısından yararlanılmak suretiyle buhar elde edilir. Genel olarak gaz türbinleriyle aynı sayıdaki atık ısı kazanları, buhar kapasitesine bağlı olarak bir veya daha çok buhar türbinine bağlanır (Karakaş, 2002).

Tam yanmalı kombine çevrim santrallerinde; gaz türbini egzosttu, cebri çekiş fanları tarafından atmosferden alınan hava ile karışarak, buhar kazanlarında ana yakıtın yakılmasında gereken yanma havasının ön ısıtmasını sağlar. Bu işlem ile tam yanma sağlanmış olmaktadır. Gerek atmosferden alınan havadaki gerekse gaz türbin egzostundaki hemen hemen tüm oksijen ana yakıtın yakılmasında kullanılmakta, yalnızca % 3 – 5 mertebesinde bir oksijen miktarı baca gazı ile atılmaktadır. Böylece NO_x konsantrasyonu da daha düşük bir seviyeye çekilmektedir. Ayrıca herhangi bir konvensiyonel buhar kazan türbin ünitesinin, gaz türbini ilavesi ile tam yanmalı kombine çevrim santrallerine dönüştürülmesi mümkündür. Bu durumda gaz türbin egzostu ve ilave fanlarla alınan hava kazanlarda kullanılacağından mevcut ünitenin ön ısıtıcılarının ve cebri çıkış fanlarının kaldırılması gerekmektedir.

Paralel güç üniteli kombine çevrim santrallerinde buhar türbinleri iki ayrı bağımsız güç kaynağından beslenmektedir. Genellikle ana kaynak konvensiyonel bir buhar kazanı, ikinci kaynak ise gaz türbinine bağlı bir atık ısı kazanı olmaktadır. Bu manada paralel güç üniteli kombine çevrim, tam yanmalı çevrim ile ilave yanmasız çevrimin birleşimi olarak da düşünülebilir. Bu sistemde gaz türbini egzost gazı, üniteye bağlı atık ısı kazanına verilir, diğer buhar kazanında yakıtın yanmasına destek amaçlı olarak kullanılmaz. Sistemin en büyük avantajı; dizayn, yakıt ve işletme yönünden

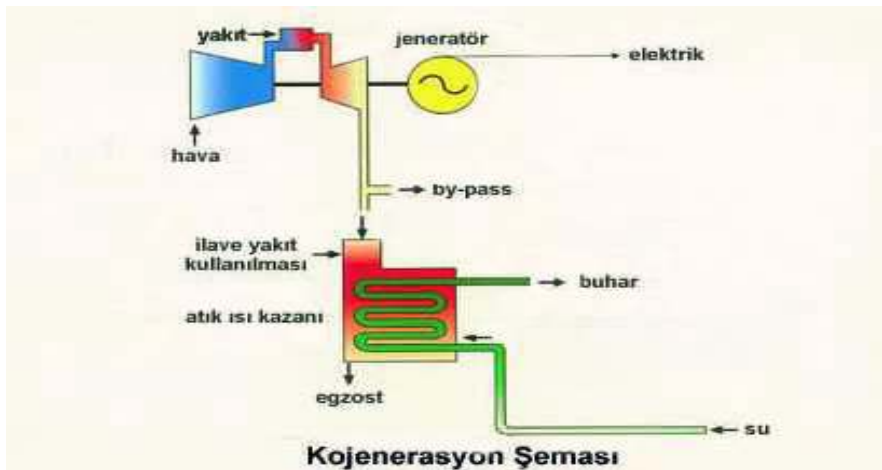
sağladığı esnekliktir. Gaz türbini ve buhar türbini kapasiteleri ile buna bağlı olarak gaz ve likit yakıtların katı yakıtlara oranı serbestçe tayin edilebilmektedir. Bununla birlikte, kömür yakıtlı kazanın baca gazı emisyonlarının kabul edilebilir limitlerin altına çekilebilmesi için arıtma tesislerine de ihtiyaç duyulabilir.

Mevcut buhar türbin üniteleri de iki ayrı yöntemle paralel güç üniteli kombine çevrim santrallerine dönüştürülebilir. Birinci yöntemle, üniteye gaz türbini ve atık ısı kazanı ilave edilerek buradan elde edilen buhar ile mevcut kazandan elde edilen buharın takviye edilmesi neticesinde buhar türbininin tam kapasitede kullanılması sağlanabilir. Genelde buhar kazanlarının hizmet ömrünün buhar türbinlerinden daha kısa olması nedeniyle zamanla kazanların daha düşük yükte çalışmalarının zorunlu hale gelmesi durumunda bu sistem uygulanabilir olmaktadır.

İkinci yöntemde ise, üniteye eklenen gaz türbini ve atık ısı kazanı yalnızca mevcut sistemin kondensat ve besleme suyu ısıtılmasında kullanılır. Böylece hem santral verimi hem de çıkış gücü yükseltilmiş olur (Karakaş, 2002).

3.5.3 Kojenerasyon Santrali

Kojenerasyon, aynı sistemden elektrik ve ısı enerjisini birlikte üretmek demektir. Kojenerasyon sistemleri aynı sistemde ısı ve elektrik üreterek, birincil enerji kaynaklarını %90'lara varabilen yüksek verimlerle, ikincil enerji kaynaklarına dönüştürebilmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Kojenerasyon şeması

Primer yakıt rezervlerinin azaldığı ve global rekabetin arttığı günümüz ortamında enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve asgari maliyetleri sağlamak kaçınılmaz olmuştur. Bu anlamda kojenerasyon günümüz çağdaş “enerji yönetimi” teknikleri içinde ön sıralarda yer almaktadır.

Enerji uygulamalarında kojenerasyon, elektrik üretirken kaybedilen çürük buharın yoğunlaşma ısı değerlendirilerek enerji verimliliği artırılır. Kojenerasyon; oluşan çürük buharın değerlendirilmesiyle, konvansiyonel sisteme göre enerjiden daha fazla yararlanılmasına dayanır.

Elektrik üretimi sırasında oluşan çürük buhar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Tüketiciler enerjiye elektrik, buhar vs şekillerde ihtiyaç duyabilirler. Bu nedenle tek bir sistemden ihtiyaçları karşılayabilmeleri onlara birçok yarar sağlamaktadır (Çalışıcı, 2005).

Konvansiyonel yani klasik enerji üretim sistemleri çevreyi kirletmektedir. Ayrıca bu sistemlerde primer enerjinin yaklaşık % 55-65’i atık ısı olarak ziyan olmaktadır. Bu dezavantajları göz önüne alındığında konvansiyonel sistemlerdeki enerji üretim maliyeti kojenerasyon sistemlerine oranla çok yüksek olmaktadır. Günümüzde ileri teknoloji kullanan konvansiyonel santraller bu verimi %55’lere çıkarmış ancak bu verim enerji iletim ve dağıtım sistemlerindeki kayıplar hesaba katılmadan hesaplanmıştır. Klasik şekilde enerji üretimi yapıldığında enerjinin %5-10’u iletim ve dağıtım bölümlerinde kayba uğramaktadır. Üretimin yapıldığı yerden ihtiyaç duyulan yere kadar olan bu kayıplar son kullanıcıya kadar inildiğinde belirgin bir artış gösterir.

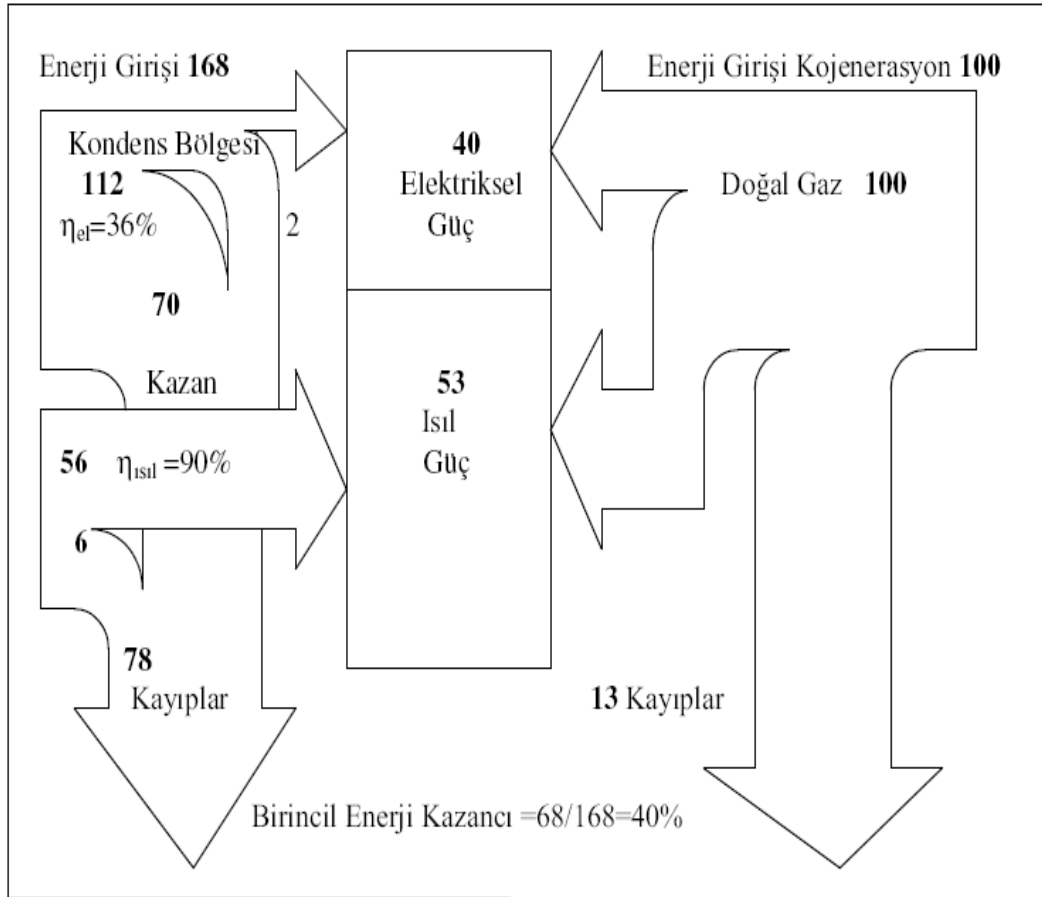
Buna karşılık bir kojenerasyon sisteminde elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan ısı, eşanjörler yardımıyla çeşitli ısı ihtiyaçları için değerlendirilebilmektedir. Kojenerasyon sisteminde üretilen elektrik enerjisi yerel kullanım amaçlı olduğu için iletim ve dağıtım kuralları göz ardı edilir ve santral veriminde %15–40 artış sağlanmış olur. Böylece primer enerjinin atılan kısmı minimize edilmektedir.

Konvansiyonel sistemlerin ve Kojenerasyon sistemlerinin enerji üretimi bir Sankey diyagramı üzerinde karşılaştırılmıştır. Şekil 3.15 da görüleceği üzere; 40 birim elektriksel, 50 birim ısı güç ihtiyacı olan bir tesisin bu ihtiyaçlarını karşılamak için; konvansiyonel sistemde 168 birim enerji gerekirken, kojenerasyon sistemi (Şekil 3.16) ile 100 birim enerji yeterli olmaktadır (Heper, 2001).

Kojenerasyon karlı bir yatırım olabilmesi için, fazladan üretilen enerji, yılın büyük bir bölümünde tüketilebilir imkanın bulunması gerekir. Bununla birlikte mevzuatın elverdiği durumlarda fazla enerjinin uygun fiyatla satılması da mümkündür.

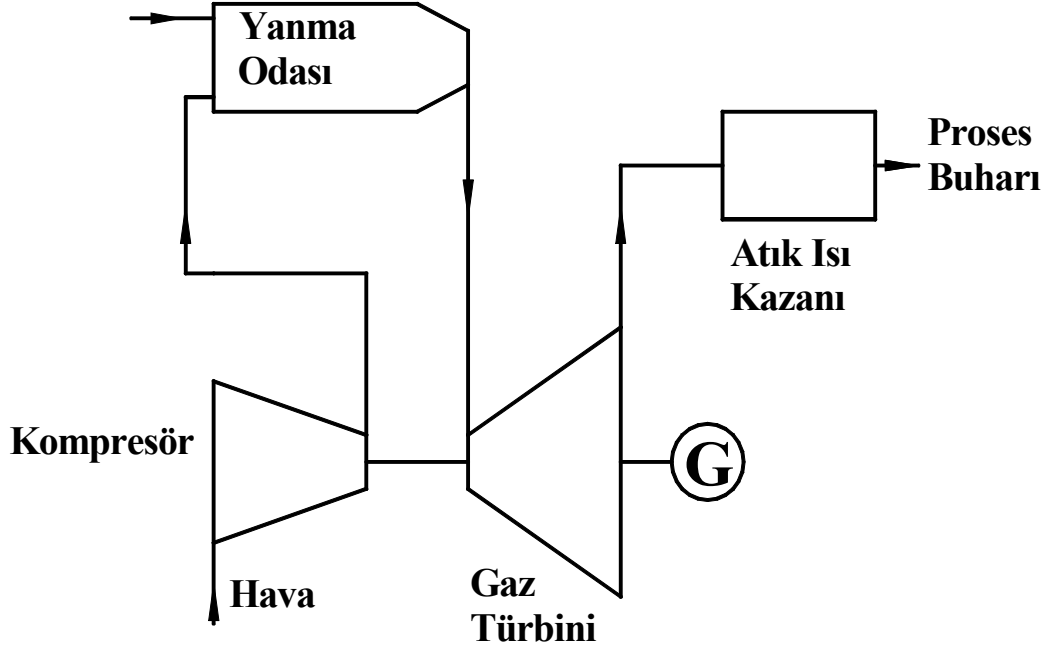
Bir kojenerasyon santralının ana elemanları;

- Bir buhar türbini, gaz türbini veya içten yanmalı motor ile bunlar tarafından döndürülen bir jeneratör (elektrik üretimi için) ve
- Buhar türbini (varsa) için gerekli olan buharı üretecek bir ana buhar kazanı veya iş yerinin ihtiyacı olan buhar ya da sıcak suyu üretecek olan bir veya birkaç atık ısı kazanı yada ısı eşanjörüdür.



Şekil 3.15. Sankey diyagramı

Gaz türbinine akuple olan jeneratör işyerinin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Türbinden çıkan egzost gazları ise hala bünyesinde yeteri miktarda ısı barındırdığından bir atık ısı kazanına gönderilmekte ve burada buhar üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 3.16. Basit çevrimli gaz türbini kojenerasyon sistemi

Buhar türbinli kojenerasyon santrallerinde basit kondensasyon türbinleri yerine karşı basınçlı türbinler, ara buharlı türbinler veya hem ara hem de karşı basınç özelliği olan türbinler kullanılır. Bu sayede türbinden yeterli sıcaklıkta buhar alınarak ısıtma amacıyla kullanılabilmesi sağlanmış olur.

Ara buharlı türbinlerin kullanılması durumunda, türbinden geçen buharın bir bölümü, türbinin uygun bir kademesinden alınarak, bir ısı eşanjörüne gönderilir. Burada buhar, ısısını seconder devredeki sıcak su yada düşük basınçlı buhara vererek onun ısınmasını sağlar. Daha sonra ısınan sıcak su veya düşük basınçlı buhar, kullanılacağı yere pompalanır. Türbinden geçmekte olan buharın geri kalan bölümü ise türbin son kademe kanatlarından geçtikten sonra kondensede yoğunlaşır. Yoğuşan kondensat tekrar kazana pompalanır. Burada amaç yine tesisin hem elektrik hem de buhar ihtiyacının karşılanmasıdır.

Karşı basınçlı türbinlerin kullanılması durumunda, türbinin son kademesine kadar genişleyen buharın tümü kondense yerine yine bir ısı eşanjörüne gönderilerek seconder devredeki sıcak su veya düşük basınçlı buharın ısıtılmasında kullanılır.

Kojenerasyon santrallerinde ara buhar kademesinden yada türbinin son kademesinden alınan buhar hemen hiçbir zaman, bir eşanjörden geçirilmeyip doğrudan ihtiyacı karşılamak için kullanılmaz. Zira bu şekilde kullanılacak buharın yerine sürekli olarak santrale ilave edilmesi gerekecek yeni suyun arıtılma masrafları oldukça yüksek değerlere ulaşır.

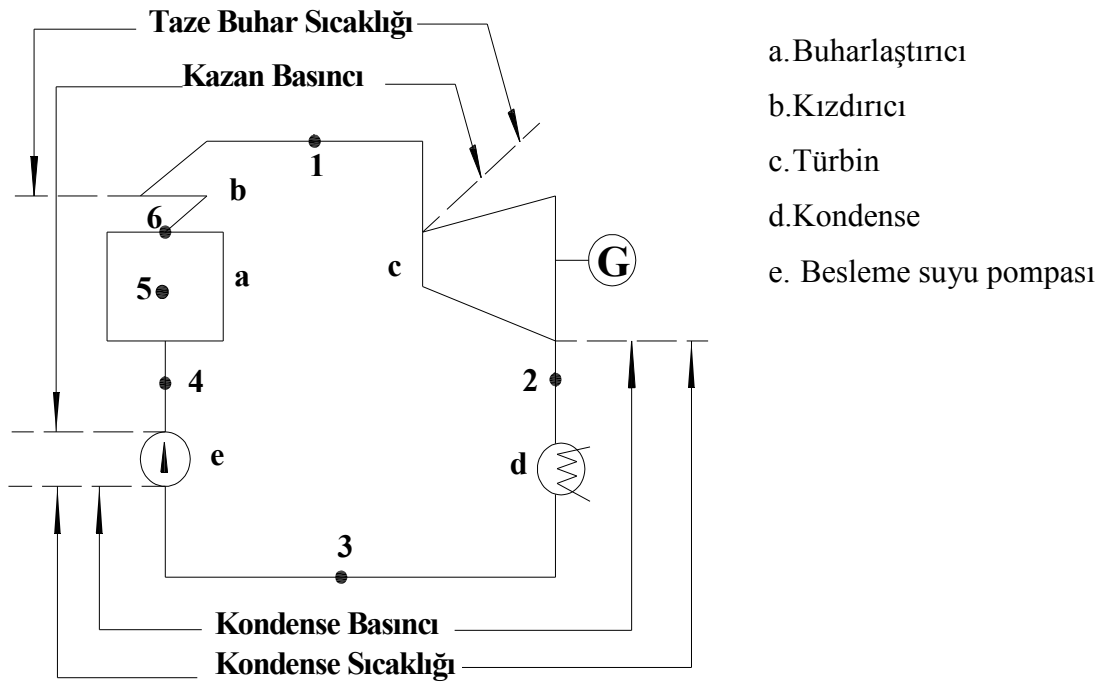
Uzun mesafelerde elektriğin iletimi ısı enerjisinin iletimine göre daha ucuz ve efektiftir. Bu sebepten dolayı kojenerasyon santralleri ısı enerjisinin ihtiyaç duyulduğu bölgenin olabildiğince yakınında olmalı ve ihtiyacı karşılayabilecek boyutlarda kurulmalıdır. Bu koşul sağlanmadığı takdirde ara ısıtıcıya ihtiyaç duyulmaktadır.

Kojenerasyon sistemleri, çok farklı proje uygulamaları ile tüm gelişmiş ülkelerin elektrik enerjisi politikalarında önemli bir rol oynamaktadır. Hem sanayide, hem de konut ısıtmasında gerekli olan elektrik enerjisinin ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan sağlanması ile yapılacak olan enerji tasarrufu çevre kirliliği ve dışa bağımlılığımızı azaltırken, kaynaklarımızın hızlı tükenmesini önleyecektir.

Kojenerasyon konusu, özellikle enerji sektörünün çok hassasiyetle üzerinde durması gereken bir konudur. Enerjiyi akılcı ve verimli kullanan kurum ve kuruluşlar daha fazla rekabet etme imkanına kavuşacaklardır (Akdeniz, 2007).

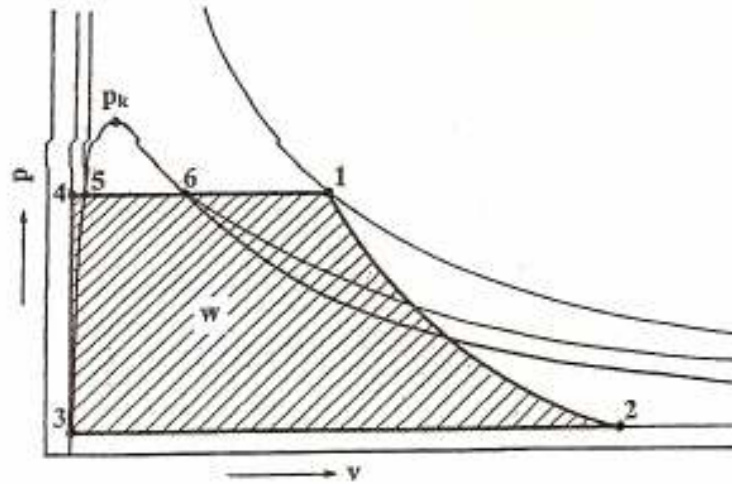
3.5.4 Buhar Santralı Çevrimleri

Konvansiyonel buhar santralı çevrimi şekil 4.11 de en basit şekliyle ve şematik olarak gösterilmiştir. Kazanın buharlaştırıcı bölümünde yüksek basınç altında (kazan basıncı) bulunan besleme suyu, düşük bir sıcaklıktan buharlaşma sıcaklığına kadar izobarik olarak ısıtılır ve buharlaştırılır. Doymuş buhar, daha sonra kızdırıcılarda kızdırılır. Buradan çıkan kızgın buharın sıcaklığına taze buhar sıcaklığı denir. Kızgın buhar daha sonra türbinde adiabatik olarak kondense basıncına kadar genişir. Bu genişme sırasında buhar sıcaklığı da kondensat sıcaklığına kadar düşer. Türbinden çıkan çürük buhar kondensede izobarik ve izotermik olarak yoğunlaştırılır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Basit bir konvansiyonel buhar santralli ısı şeması

Bu yoğuşmanın sağlanabilmesi için, soğutma suyu ile buharın kondensasyon ısısının alınması gerekir. Son olarak, kondenseden çıkan kondensat besleme suyu pompası ile tekrar adiabatik olarak kazan basıncına çıkartılır. Borularda sürtünme ve ısı kayıplarını dikkate almazsak, bu çevrimde besleme suyu pompası çıkışından türbin girişine kadar devam eden sabit basınca kazan basıncı, türbin çıkışından besleme suyu pompası girişine kadar devam eden sabit basınca kondense basıncı denir. Taze buhar sıcaklığı kızdırıcı çıkışından türbin girişine kadar, kondensat sıcaklığı ise türbin çıkışından besleme suyu pompası girişine kadar sabit olarak devam eder. Yani yüksek basınç besleme suyu pompasında, yüksek sıcaklık ise kazanda elde edilir. Her ikisi de türbinde düşüşe uğrar. Bu çevrime Clausius – Rankine çevrimi denir. Clausius – Rankine çevriminin $p - v$ diyagramı şekil 3.18 de görülmektedir. $P-v$ diyagramının çevrelediği alan elde edilen iş miktarının verir.

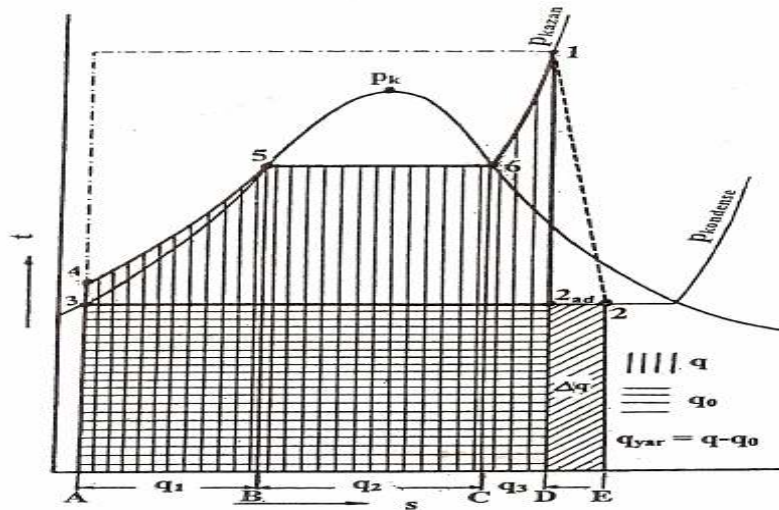


Şekil 3.18. Clausius Rankine çevrimi p – v diyagramı

Clausius – Rankine çevrimi, konvensiyonel buhar santrallerinin gerçek su buhar çevrimi ile karşılaştırılabilmesi yönünden önem taşır. Bu çevrim ideal bir çevrimdir. Çünkü pratikteki izobarik ve adiabatik durum değişikliklerinden meydana gelen sapmalar bu çevrimde yok sayılmıştır.

Clausius – Rankine çevrimi, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 deki sayılar kullanılarak şekil 3.19 deki t-s diyagramında tekrar gösterilmiştir.

Besleme suyu pompası durum 3 deki suyu kondense basıncından kazan basıncına kadar sıkıştırır (durum 4). Bu izentropik bir işlemdir. Bu sıkıştırma sırasında suyun sıcaklığı çok az da olsa artarak sınır eğrisinden uzaklaşır ve sıkıştırılmış su bölgesine girilir.



Şekil 3.19. Clausius Rankine çevrimi t-s diyagramı

Durum 4 deki su kazanda, izobarik olarak durum 5'e kadar ısıtılır ve burada suya q_1 ısıtı verilmiş olur. Durum 5 de kazan basıncının karşılığı olan buharlaşma sıcaklığına erişilmiştir. Daha sonra suya q_2 ısıtı verilerek 5 – 6 çizgisi boyunca buharlaştırılır ve sonunda q_3 ısıtısının verilmesiyle 6 – 1 çizgisi boyunca kızdırılır. O halde kazana verilen toplam ısı miktarı;

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \quad (3.8)$$

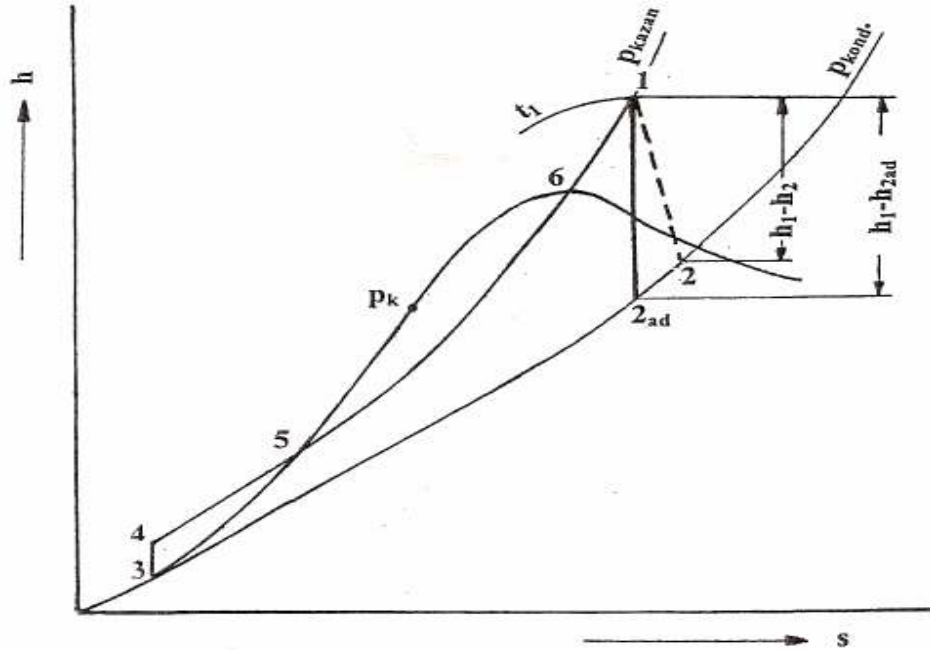
t_1 sıcaklığına kadar kızdırılmış olan buhar, türbinde kondense basıncına kadar izentropik olarak geniştirilir (2_{ad}). Türbinden çıkan buhar, kondensede $D2_{ad}3A$ ısıtısını vererek izobarik ve izotermik olarak yoğuşur ve q_0 olarak gösterilir.

Şekil 3.19 deki $t-s$ diyagramında, kazana verilen toplam q ısıtı ve kondensede alınan q_0 ısıtı, bu ısıların karşılığı olan alanlar ile gösterilmektedir. Bu iki değerin farkı yararlı ısı miktarını (q_{yar}) verir.

Yararlı işin, kazana verilen toplam ısıya olan oranı Clausius – Rankine çevriminin ısı verimi hakkında fikir verir;

$$\eta_{is} = \frac{q - q_0}{q} \quad (3.9)$$

Termodinamik hesaplarda $h-s$ diyagramı $t-s$ diyagramına oranla çok daha kullanışlıdır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Clausius Rankine çevrimi $h-s$ diyagramı

4-5-6-1 çizgisi boyunca meydana gelen izobarik buharlaşma sırasında verilen ısı miktarı,

$$q = h_1 - h_4 \quad (3.10)$$

Aynı şekilde 2_{ad} – 3 eğrisi boyunca meydana gelen izobarik yoğuşma sırasında sistemden alınan ısı miktarı;

$$q_0 = h_{2ad} - h_3 \quad (3.11)$$

Bu şartlarda Clausius – Rankine çevriminin verimi;

$$\eta_{is} = \frac{h_1 - h_4 - h_{2ad} + h_3}{h_1 - h_4} \quad (3.12)$$

Buna basit buhar çevrimi ısıl verimi de denilebilir. Besleme pompasının işi türbin işi yanında yok sayılırsa;

$$\eta_{is} = \frac{h_1 - h_{2ad}}{h_1 - h_3} \quad (3.13)$$

Isıl verim, bu çevrimin belirli basınç ve sıcaklık şartlarında teorik olarak erişebileceği en yüksek değeri vermektedir. Clausius – Rankine çevriminde izobarik ve adiabatik olarak kabul edilen durum değişiklikleri, gerçekte elde edilemeyecek ideal değişikliklerdir. Bu nedenle pratikte teorik değerlerden sapmalar meydana gelir. Türbinde adiabatik olarak geniştiğini kabul ettiğimiz buhar, gerçekte ısısının bir bölümünü çevreye geçirir. Dolayısıyla buharın kondense basıncına geçmesi 1 – 2_{ad} çizgisi yerine 1 – 2 çizgisi boyunca meydana gelir. Bu ise teorik olarak elde edilebilecek maksimum entalpi düşümüne oranla daha küçük bir entalpi düşümü sağlar. Bu kayıp türbinin iç verimi ile dikkate alınır. Türbinin iç verimi, türbindeki gerçek işin teorik türbin işine olan oranıdır ve zaman zaman adiabatik verim, politropik verim yada izentropik verim olarak adlandırılır.

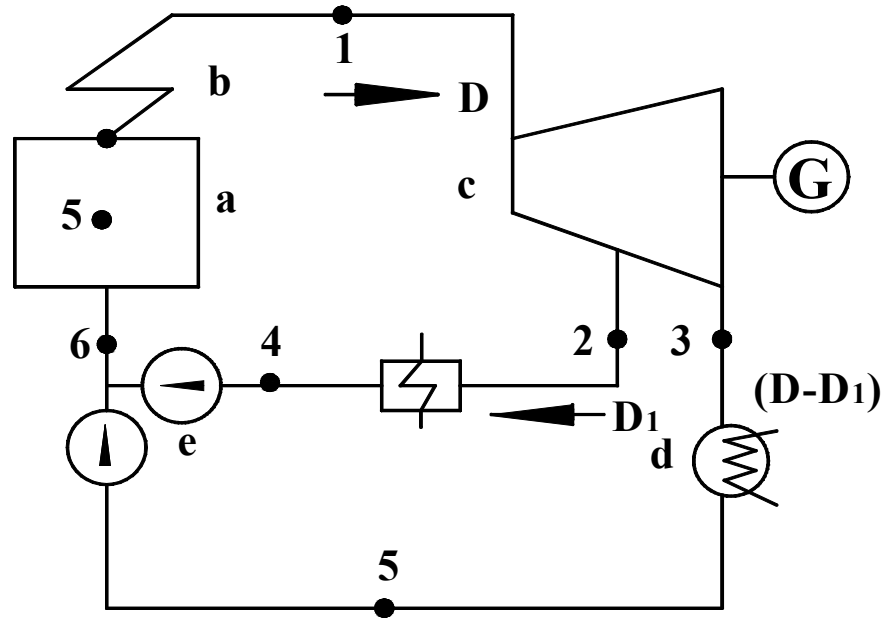
$$\eta_T = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2ad}} \quad (3.14)$$

Besleme suyu pompasının kondensattı kondense basıncından kazan basıncına kadar adiabatik olarak çıkardığı varsayılmıştır. Yani 3 – 4 durum değişikliğinin adiabatik olarak kabul edilmiştir.

$$\eta_P = \frac{h_{4ad} - h_3}{h_4 - h_3} \quad (3.15)$$

Türbin ve pompa kayıplarının dikkate alınması durumunda gerçek ısıl verim;

$$\eta_{ger} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4} \quad (3.16)$$



Şekil 3.21. Kojenerasyon santralli prensip şeması

Kojenerasyon uygulaması D miktarındaki buhar hem P_{el} miktarındaki elektrik üretimi hem de P_{is} miktarındaki ısı ihtiyacını karşılamakta kullanılmaktadır (Şekil 3.21).

Mekanik ve elektriksel kayıpları dikkate almazsak;

$$P_{el} = D(h_1 - h_2) + (D - D_1)(h_2 - h_3) \quad (3.17)$$

$$P_{is} = D_1(h_2 - h_4) \quad (3.18)$$

$$P = P_{el} + P_{is} = D(h_1 - h_3) + D(h_3 - h_4) \quad (3.19)$$

Sisteme verilen ısı;

$$Q = D(h_1 - h_6) \quad (3.20)$$

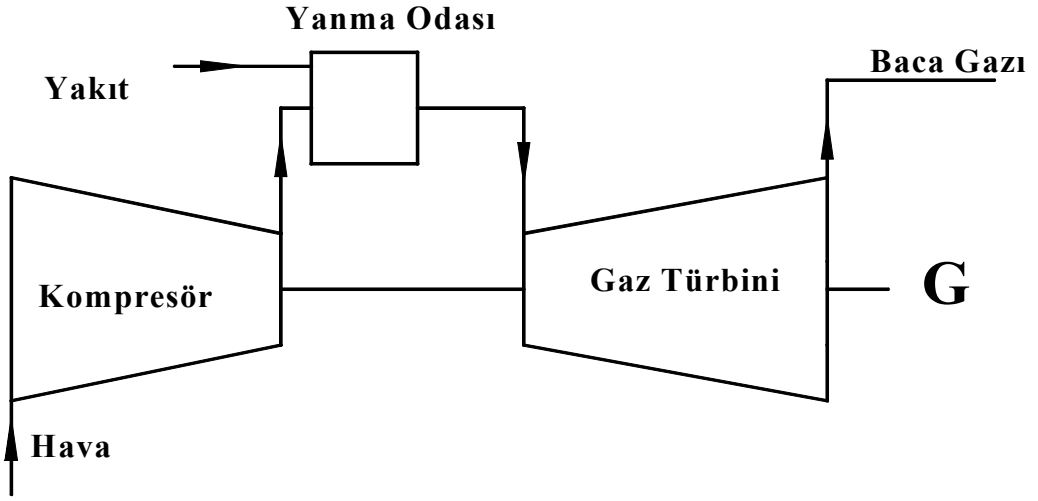
Pompaların harcadığı iş, türbinden alınan yararlı enerjinin yanında küçük kaldığından yok sayılırsa;

$$h_4 = h_5 = h_6 \quad (3.21)$$

olduğu kabul edilirse.

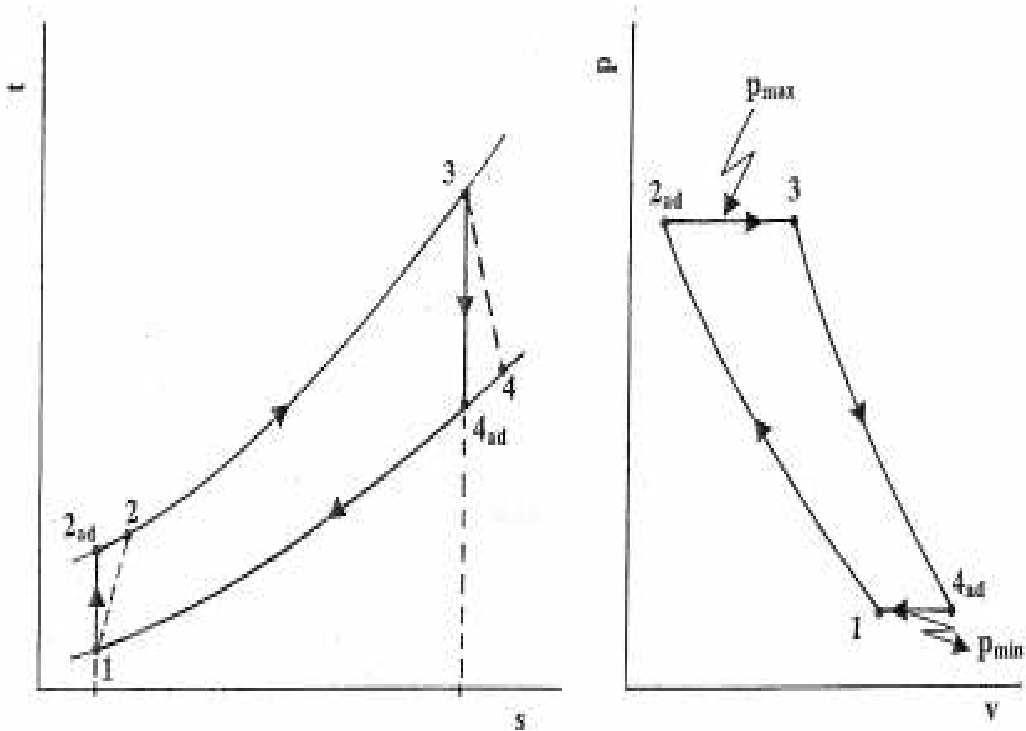
$$\eta_{is} = \frac{P}{Q} = \frac{D(h_1 - h_3) + D_1(h_3 - h_4)}{D(h_1 - h_6)} \quad (3.22)$$

Bir kombine çevrim santrali çevriminin gaz türbini çevrimi ile konvansiyonel buhar santrali çevriminin birleşmesinden oluşmaktadır. Şekil 3.22 da bir gaz türbini santrallinin prensip şeması görülmektedir.



Şekil 3.22. Bir gaz türbini santrallinin prensip şeması

Şekil 3.23 de bir gaz türbini santrallinin $t - s$ ve $p - v$ diyagramları görülmektedir. Bu çevrime açık çevrim de denilmektedir.



Şekil 3.23. Gaz türbini santrallinin $t - s$ ve $p - v$ diyagramları

İdeal bir gaz türbini çevriminde hava kompresör ile adiabatik olarak durum 1 den durum 2_{ad}'a sıkıştırılır. Daha sonra yanma odasında ve izobarik şartlarda sisteme ısı verilir (2_{ad} – 3). Yanma sonucu oluşan sıcak gaz, gaz türbininde yine adiabatik olarak genişir (3 – 4_{ad}) ve nihayet ısı izobarik olarak atmosfere atılır (4_{ad} – 1).

Sistemin ısı verimi; kompresörde harcanan iş,

$$w_k = h_{2ad} - h_1 \quad (3.23)$$

Yanma odasında sisteme verilen ısı,

$$q = h_3 - h_{2ad} \quad (3.24)$$

Türbinden alınan yararlı iş,

$$w_T = h_3 - h_{4ad} \quad (3.25)$$

Sistemden alınan net iş,

$$w = w_T - w_k \quad (3.26)$$

Çevrimin ısı verimi;

$$\eta_{is} = \frac{w}{q} = \frac{(h_3 - h_{4ad}) - (h_{2ad} - h_1)}{h_3 - h_{2ad}} \quad (3.27)$$

Gerçek gaz türbin çevriminde kompresörde meydana gelen sıkıştırma ve türbindeki genişme tam anlamı ile adiabatik değildir. Bu nedenle gerçek çevrim 1 – 2_{ad} – 3 – 4_{ad} yolu yerine 1 – 2 – 3 – 4 yolunu takip eder. Dolayısı ile de gerçek ısı verim;

$$\eta_{is} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} \quad (3.28)$$

Bir kombine çevrimin ısı veriminin bulunabilmesi için gaz türbininden alınan net işin ve buhar türbininden alınan net işin ayrı ayrı hesaplanarak toplanması ve bu toplamın sisteme verilen toplam ısıya bölünmesi gerekmektedir.

$$\eta_{is} = \frac{(w_T - w_k)_{GT} + (w_T - w_p)_{BS}}{q} \quad (3.29)$$

4.29 bağlantısında; GT gaz türbini çevrimi, BS buhar santralli çevrimi anlamında kullanılmıştır.

3.5.5 Buhar Kazanları ve Yardımcı Ekipmanları

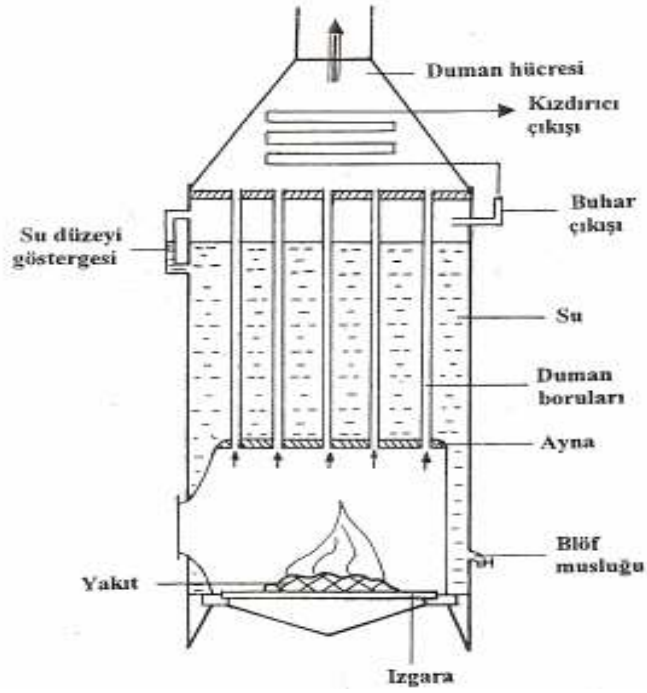
Yakıtın kimyasal enerjisinin, kazanda meydana gelen yanma sonucu ısı enerjisine dönüştüğünü biliyoruz. Yanma sonucu meydana gelen gazlar ısılarını konveksiyon ve radyasyon yolu ile kazan borularına vererek boruların içerisinden geçmekte olan suyun sıcaklığının yükselmesini sağlar. Su sıcaklığı kazan basıncının karşılığı olan buharlaşma sıcaklığına eriştiğinde buharlaşma başlar. Bu şekilde gelen su

buhar karışımı genellikle dom denilen bir haznede doymuş buhar ve su olmak üzere ikiye ayrılır. Doymuş buhar daha sonra yine baca gazları ile kızdırılır. Su ise tekrar çevrimin başlangıç noktasına gönderilerek yeniden ısıtılır. Kızdırıcılarda mümkün olduğu kadar yüksek sıcaklıklara erişmek santral işletmeciliği yönünden arzu edilen bir durumdur. Yani kızdırıcılardan geçen baca gazının sıcaklığı genellikle oldukça yüksektir. Bu nedenle baca gazlarını dışarı atılmadan önce besleme suyunun ve yanma havasının ön ısıtılmasından da kullanılabilir.

Kazanların ocak bölümünde baca gazları ile kazan boruları arasındaki ısı transferi radyasyon yolu ile meydana geliyorsa, bu tip kazanlara radyasyon kazanları denir. Baca gazlarının sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, kazandaki ısı transferinin radyasyon yolu ile meydana gelen bölümü de o kadar büyük olur. Aslında herhangi bir kazan için radyasyon kazanı deyimini kullanmak yerine, o kazanın radyasyonlu olan bölümünden söz etmek çok doğrudur. Çünkü bu tip kazanların da kızdırıcı ve ön ısıtıcılarından ısı transferi özellikle konveksiyon yolu ile gerçekleşir.

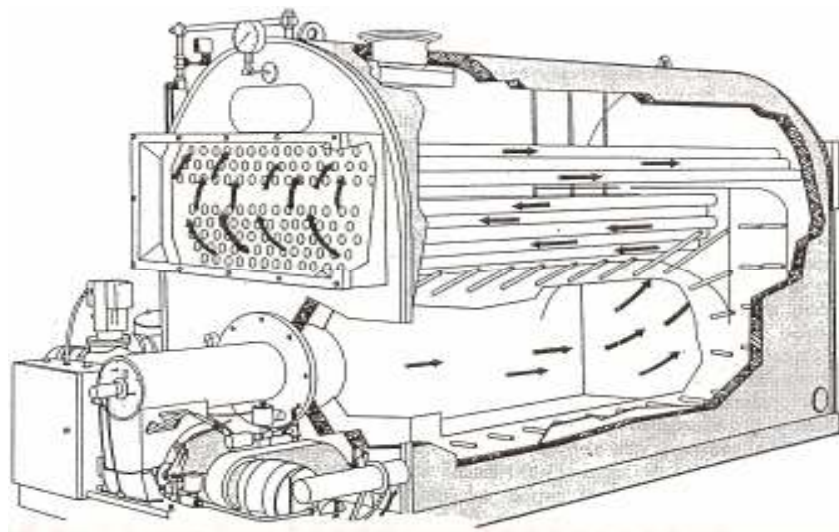
Kazanların ocak sıcaklıkları, ocak tipleri ile yakından ilgilidir. Izgaralı ocaklarda bu değer 1200°C, katı curufllu pülverize tip ocaklarda 1400°C, sıvı curufllu pülverize tip ocaklarda ise 1600 °C dolaylarındadır.

Büyük su hacimli kazanlar; bu kazanlara alev borulu veya duman borulu kazanlar da denir. Duman borulu kazanlar silindirik bir gövde ve bu gövdenin içerisinde uzanan duman borularından meydana gelir. Kazanın ocak bölümü ya duman borularının başlangıç kısmında ya da kazanın ön veya altındaki bir bölmededir. Şekil 3.24 de katı yakıt kullanan duman borulu bir kazanın basitleştirilmiş şeması görülmektedir. Şeklin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi yakıt ızgara üzerinde yakılmaktadır. Baca gazları boruların içerisinde geçerek duman hücreğine gelmekte ve oradan da bacaya atılmaktadır. Baca gazları boruların içerisinde geçerken çevresindeki suyu ısıtarak buharlaştırmaktadır. Buharlaşan su, borularla alınmakta ve duman hücresinde kızdırılarak kullanma yerine gönderilmektedir.



Şekil 3.24. Katı yakıt kullanan duman borulu kazan

Şekil 3.25 da ise sıvı yakıt kullanan duman borulu bir kazan gösterilmiştir. Her iki şekil karşılaştırıldığında buhar üretim prensibinin temelde aynı olduğu görülecektir. Duman borulu kazanların, çok yüksek kalitede besleme suyuna ihtiyaç göstermemeleri ve su hacimlerinin fazla olması nedeniyle devamlı değişmekte olan yüklere ayak uydurabilmeleri gibi avantajları vardır.

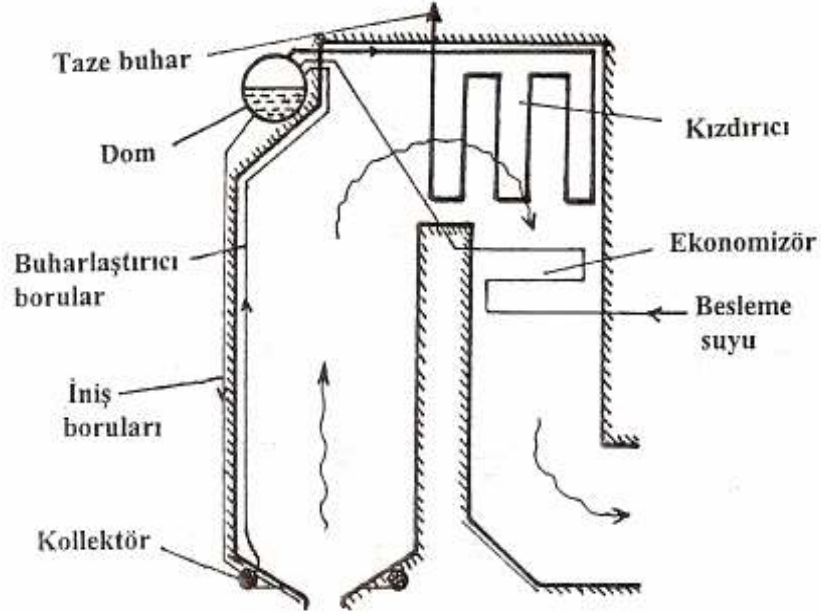


Şekil 3.25. Sıvı yakıt kullanan duman borulu kazan

Bununla birlikte bu kazanlar yalnızca çok küçük tesisler için düşünülebilir. Çünkü duman borulu kazanların, ısınma süresinin çok uzun olması, çok yer kaplamaları ve en çok 25 atü'lük bir basınç için dizayn edilebilmeleri gibi dezavantajları vardır. Elektrik üretim tesislerinde duman borulu kazanlardan ancak yardımcı kazan olarak yararlanılabilmektedir.

Büyük enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında su borulu kazanlardan yararlanır. Bu kazanlar, duman borulu kazanlara oranla, aynı miktardaki kazan gücü için, çok daha az yer kaplarlar. Isınma süreleri kısadır. Ancak, boruların temizlenebilme olanakları zayıf olduğundan, son derece temiz bir besleme suyuna ihtiyaç gösterirler. Bu kazanların bir diğer dezavantajı da su hacimlerinin az olması nedeni ile değişen yüklere ayak uydurabilmeleri için çok hassas reglaj sistemlerine ihtiyaç göstermeleridir.

Şekil 3.26. de doğal sirkülasyonlu bir kazanın şeması görülmektedir. Kazan ocağında yanan yakıt baca gazlarını meydana getirir. Baca gazları şekilde görüldüğü gibi ısılarını kazan borularındaki suya vererek kazanı baştanbaşa kat ederler.



Şekil 3.26. Doğal sirkülasyonlu bir kazan

Besleme suyu, önce ekonomizere gelir. Burada bir ön ısınmaya tabi tutulan su yoluna devam ederek doma girer. Daha sonra domdan çıkarak, kazan örtüsünün dışında kalan iniş borularından aşağıya dökülür. Burada kolektörlerde toplanan su buharlaştırıcı borularda ısınarak yükselir tekrar doma döner. Domdan başlayıp, tekrar domda son

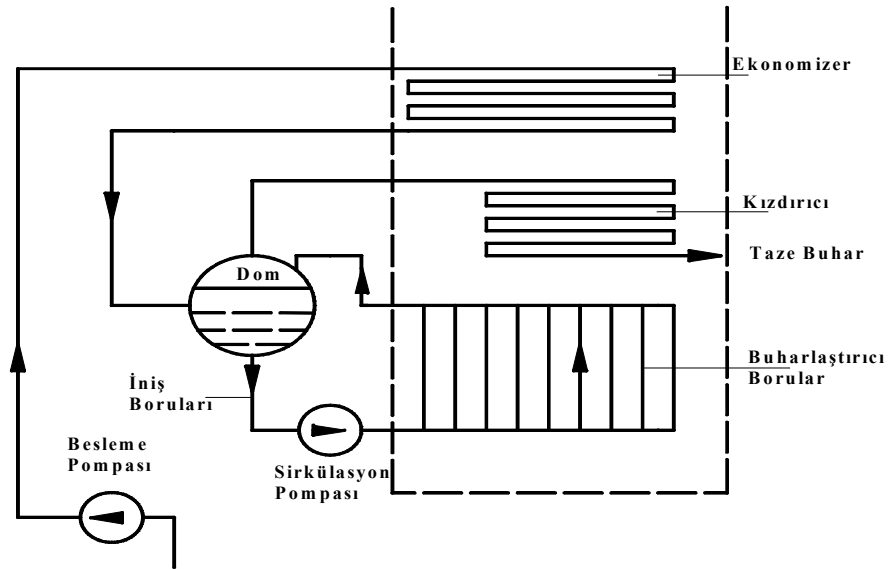
bulan bu sirkülasyon tümüyle doğal bir sirkülasyondur. İniş borularındaki suyun özgül ağırlığı ile buharlaştırıcı borulardaki su buhar karışımının özgül ağırlıkları arasındaki fark, bu sirkülasyonu sağlayan basınç farkını meydana getirir.

Doma dönen su buhar karışımı burada doymuş buhar ve su olmak üzere ikiye ayrılır. Su, iniş borularından aşağıya dökülerek yeni bir sirkülasyona başlarken, doymuş buhar kızdırıcılarda kızdırılır ve daha sonra da türbine gönderilir.

Doğal sirkülasyonlu kazanlarda basınç artırıldığında iniş borularındaki suyun özgül ağırlığı ile buharlaştırıcı borulardaki su buhar karışımının özgül ağırlığı arasındaki fark gittikçe küçülür. Bu ise sirkülasyonun sağlanabilmesine engel olur. Doğal sirkülasyonlu bir kazan için mümkün olabilen en yüksek çalışma basıncı 180 atü dolaylarındadır. Bu değer aşıldığında sirkülasyon sağlanamaz.

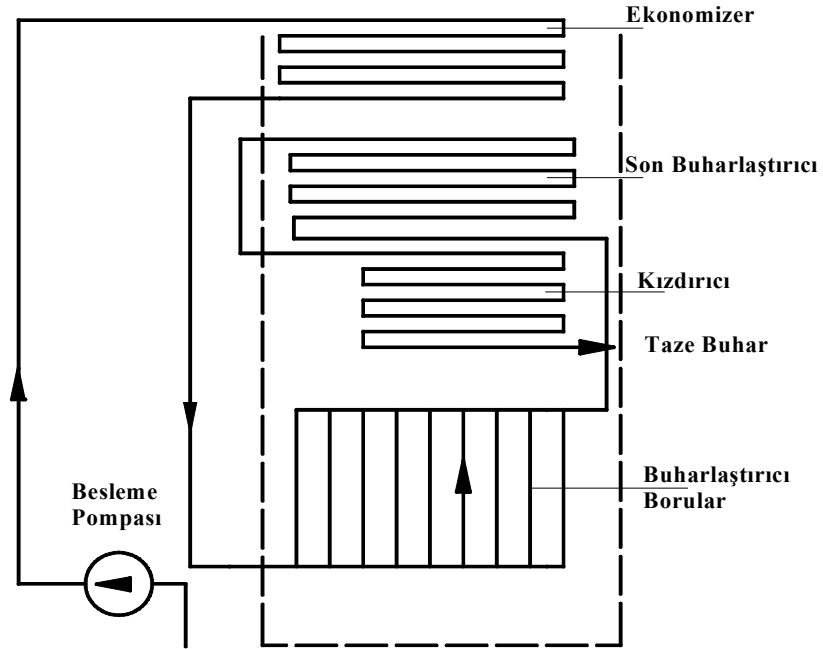
Doğal sirkülasyonlu kazanların bu limitasyonu zoraki sirkülasyonlu kazanların yapımına neden olmuştur. Zoraki sirkülasyonlu kazanlara, yapımcısının adından ötürü La Mont kazanları da denilmektedir.

Bu kazanların doğal sirkülasyonlu kazanlardan farkı, iniş borularından aşağıya dökülen suyun bir pompa yardımı ile buharlaştırıcı borulara basılmasıdır. Yani burada sirkülasyon, bir pompa yardımı ile sağlanmaktadır. Kazandaki boru dirençlerinin yenilebilmesi için, sirkülasyon pompasının 2-3 atü'lük bir basınç sağlaması gereklidir. Şekil 3.27 de zoraki sirkülasyonlu bir kazanın şemasını göstermektedir. Günümüzde 3000 t/h kapasiteye kadar zoraki sirkülasyonlu buhar kazanları inşa edilebilmektedir.



Şekil 3.27. Zoraki sirkülasyon kazan

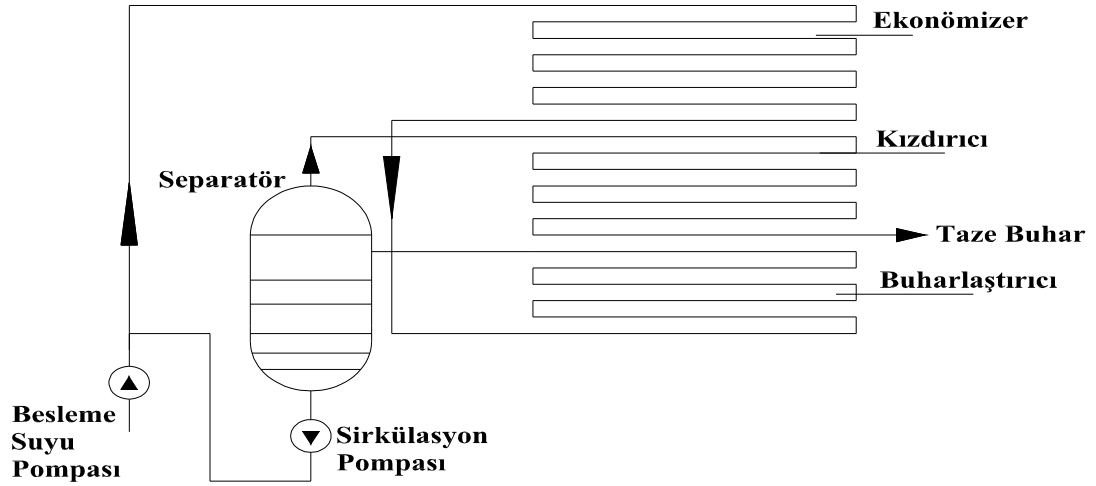
Buhar santrallerinin devreye alma sürelerinin kısaltılabilmesi üzerine yapılan çalışmalar, Benson ve Sulzer kazanlarının yapımını sağlamıştır. Benson kazanlarda dom yoktur (Şekil 3.28). Bu kazanlar, tek geçişli boru düzeninden meydana gelmiştir ve kazanın ön ısıtıcısı (ekonomizer), buharlaştırıcı ve kızdırıcı bölümleri birbiri ardına sıralanmıştır. Besleme suyu pompasının basıncı ile kazan borularının bir ucundan giren su, öteki ucundan kızgın buhar olarak çıkar. Bu kazanlarda buharlaştırıcılar önceleri dikey pozisyonda yerleştirilirdi. Baca gazı sıcaklığı düşük olan Benson kazanlarında ise ayrıca bir de son buharlaştırıcı bölümü bulunmaktaydı. Bu bölümün görevi tuzların ayrılmasını sağlamaktı. Ancak günümüzde su hazırlama tekniğinin yeteri kadar gelişmiş olması nedeni ile artık son buharlaştırıcılara ihtiyaç kalmamıştır.



Şekil 3.28. Benson kazanı

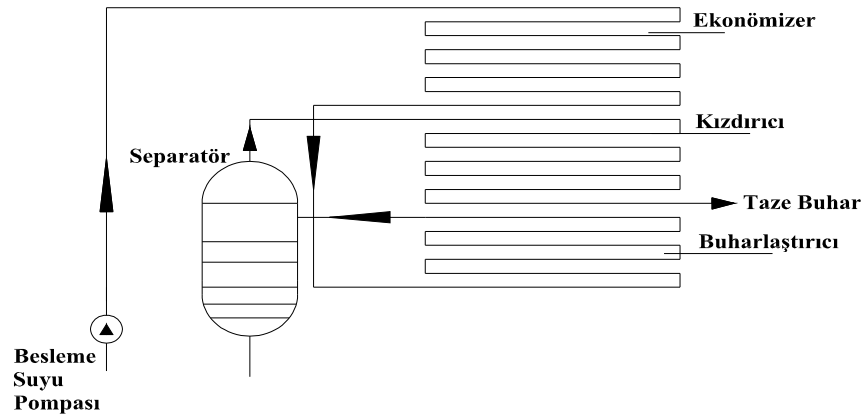
Santrallerin düşük yükte çalıştırılabilme olanaklarının artırılabilmesi ve devreye alma süresinin kısaltılabilmesi için, Benson kazanlarına bugün separatör eklemesi yoluna gidilmektedir. Separatör buharlaştırıcı çıkışına eklenir ve bu yolla su ile buharın birbirinden tam olarak ayrılması sağlanır. Böylece kazanın devreye alınması, devreden çıkartılması yada düşük yüklerde çalışması sırasında kızdırıcılardan daima kuru buhar geçmesi temin edilmiş olur.

Separatörlü Benson kazanları, öteki Benson kazanlarına oranla çok daha kısa zamanda devreye girebilirler. Her iki tip Benson kazanı da hem sabit basınçla hem de değişen basınçla işletilebilir (Şekil 3.29).



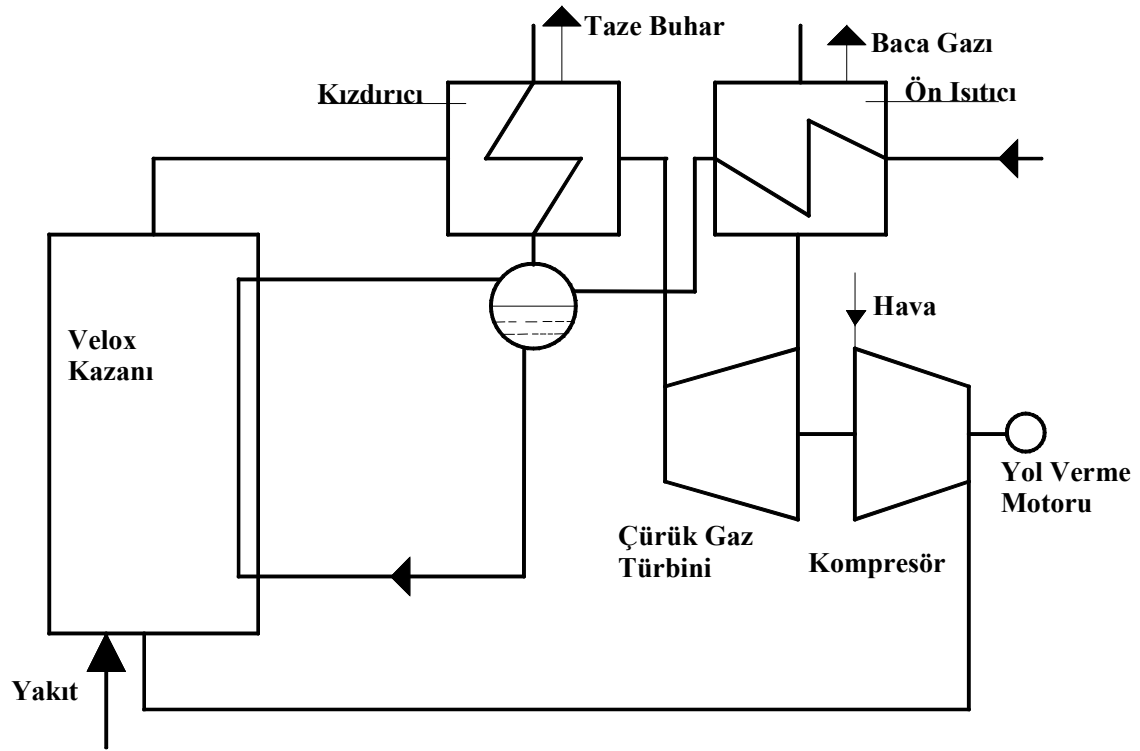
Şekil 3.29. Separatörlü Benson kazanı

Benson kazanlarının separatörlü olarak dizayn edilmeye başlanması ile Sulzer ve Benson kazanları arasında ilke yönünden hemen hiçbir fark kalmamıştır. Sulzer kazanları, kesit alanı daha büyük olan borulardan imal edilir (Şekil 3.30). Bu nedenle Sulzer kazanlarında kullanılan suyun, Benson kazanlarında kullanılan su kadar saf olmasına gerek yoktur. Buharlaştırıcı çıkışına monte edilmiş olan separatörden önceleri kazan suyunun ortalama %5'i dışarı alınarak tuzların dışarı atılması sağlanırdı. Ancak su hazırlama tekniğinin oldukça ileri gitmiş olduğu günümüzde bu separatör artık sadece reglaj tekniği yönünden bir anlam ifade etmektedir.



Şekil 3.30. Sulzer kazanı

Velox kazanın yanma odası basınç altındadır. Bu kazan tipinde yalnızca sıvı yada gaz yakıtlar kullanılır. Yanma sonucu meydana gelen baca gazları yanma odasında yüksek basınç altında bulunduğundan, ısı transferi artar ve kazan hacmi azalır. Bu kazan özel tesisler için düşünülmüştür. Örneğin, Velox kazanlı küçük bir buhar santrali, demir yolu vagonunun üzerine monte edilerek enerji ihtiyacı duyulan bir bölgeye getirilebilir ve üretime geçirilebilir (Şekil 3.31). Bu kazanlarda yanma havası bir kompresör ile sıkıştırılır ve dolayısıyla ısıtılmış olur. Kompresör, kazandan çıkan baca gazlarının döndürdüğü bir türbin yardımı ile çalıştırılır. Baca gazları türbine girmeden önce kızdırıcı ve besleme suyu ön ısıtıcısını da ısıtır.



Şekil 3.31. Velox kazanı

Buhar santrallerinin sayı ve kapasitelerinde her geçen yıl meydana gelen artışlar, doğal gaz ve düşük kükürtlü yakıtların teminindeki zorluklar, ülke genelinde belirli bir yakıt türüne bağımlı olmamak için kaynak çeşitlendirilmesi arayışları ve ekonomik faktörler, başka şekilde değerlendirilmesi mümkün olmayan düşük kaliteli katı yakıtların da elektrik üretiminde büyük çapta kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak bu tür yakıtların bünyesindeki zararlı maddelerin çevreyi etkilememesi için bir yandan desülfürizasyon tesisleri gibi oldukça pahalı ilave yatırımlar yapılırken bir yandan da

söz konusu düşük kaliteli yakıtların çevreye zarar vermeden yakılabilme teknikleri geliştirilmektedir. Akışkan yataklı kazanlar bu yöndeki gayretlerin bir sonucudur.

Akışkan yatakta yakma teknolojisinin, katı yakıtların yakılmasıyla buhar üretilmesinde belirgin avantajları bulunmaktadır. Bu sistemlerin anahtar noktası, yakıt esnekliği ve düşük emisyonlardır. Akışkan yataklı kazanların çalışma prensibini anlatabilmek için akışkanlaşma prensipleri ve endüstride birçok uygulama alanı olan akışkan yatağın ne olduğunu açıklamak gerekir.

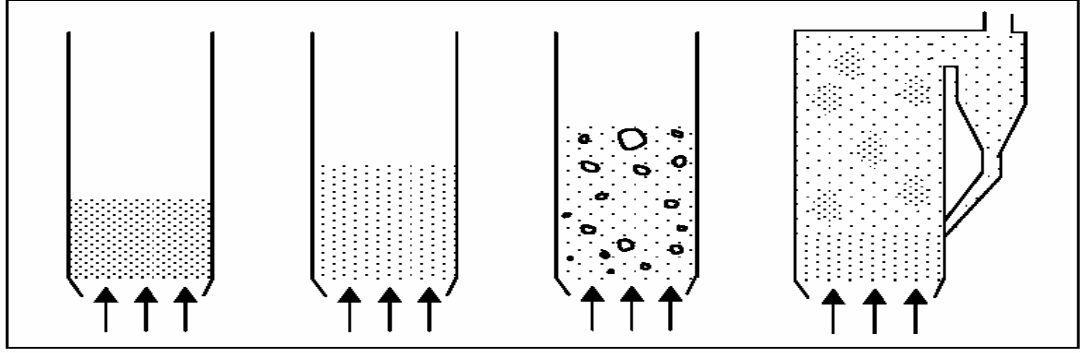
Bir kolon içinde yığılı durumda taneciklerin teşkil ettiği yatak bölgesine alttan düşük bir hızla hava verilmeye başlandığında, hava parçacıklar üzerinde fazla kuvvet uygulamaz ve parçacıklar arasından kendine boşluklar bularak yukarı hareket eder. Bu durum parçacıkların hareket etmediği sabit yatak konumudur.

Akış hızı arttıkça, hava parçacıklara daha fazla kuvvet uygulayarak, parçacıkların arasındaki yerçekiminden kaynaklanan kuvvetleri azaltır. Hız daha da arttırıldığında, parçacıkların üzerindeki kaldırma kuvveti yerçekimini dengeleyerek, yukarı doğru akan havanın içinde parçacıkların asılı kalmasını sağlar. Artık yatağı oluşturan parçacıklar akışkan özellikleri sergilemeye başlamıştır ve bu durum minimum akışkanlaşma koşulu, bunu sağlayan gaz hızı da minimum akışkanlaşma hızıdır.

Yatak bölgesinin kapladığı hacmi fazla değiştirmeyen bu konumda hız daha da artırılrsa, yatak içinde hava kabarcıkları oluştuğu ve kabarcıkların yatağı, suyun kaynamasına benzer bir şekilde terk ettikleri görülür. Kabarcıklı akışkan yatak olarak adlandırılan bu sistemde, gaz katı karışımının kapladığı hacim sabit yatak konumuna göre belirgin şekilde artmasına rağmen, yatak bölgesi ile üzerinde bulunan serbest bölge arasında halen kolaylıkla ayırım yapılabilen ve gözle görülür bit yatak yüzeyi bulunmaktadır.

Hava akışının daha da hızlandırılması durumunda, kabarcıklar daha da büyüyecek ve birleşerek yatakta daha büyük boşluklar oluşturulacaktır. Türbülanslı akışkan yatak olarak adlandırılan bu durumda, katılar yüksek katı derişimine sahip, birbirine bağlı gruplar halinde bulunurlar. Eğer gaz akışı ile hareket eden katılar, havadan ayrıştırılarak yatağa geri döndürülürse, parçacıklar bir döngüde dolaşmaya başlayacaklardır. Dolaşimli akışkan yatak olarak tanımlanan bu tür sistemlerde, altta bulunan yoğun yataktan yukarıda bulunan seyreltik bölgeye doğru katı derişimi gittikçe düşse de, kabarcıklı sistemlerin aksine, iki bölge arasında belirgin bir geçiş

bulunmaktadır. Geri döndürülen katıların ağırlığı sistemden akan havanın ağırlığının yüzlerce katı olabilirken, bu durum yataktaki katıların ağırlığının yarattığı basınç farkının artmasına sebep olur (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Sabit yatak, minimum akışlanma konumu, kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yataklar.

Yanma odasındaki basınç farkı hava akışı ile değişmekte olup, minimum akışkanlaşma hızına ulaşılan kadar hızın artmasıyla artar. Bu noktada katılar havada asılı kaldığı için karşılaşılan direnç sadece yataktaki katıların ağırlığına bağlıdır. Dolayısıyla katıların sistem dışına taşınmasına sebep olacak hıza erişene kadar basınç farkı sabit kalacaktır ve bu noktadan sonra sistemden katıların kaçmasıyla toplam ağırlık düştüğü için basınç farkı azalacaktır. Bu akışkanlaşma koşullarından sadece kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yataklar buhar üretimi için kullanılmaktadır.

Bütün yakma teknolojileri bir şekilde yakıt ve havanın karışmasını sağlayarak yakıtın yapısındaki kimyasal enerjinin kullanılabilir enerjiye çevrilmesini sağlamaktadır. Bu işlemler için kazanların bazı yardımcı ekipmanlara ihtiyacı vardır.

Bunlar;

- Kazan Domu
- Ocak (yanma odası)
- Kızdırıcılar
- Besleme suyu ön ısıtıcıları
- Hava ön ısıtıcıları

- Besleme suyu pompası
- Fanlar

Kazan domu; doğal ve zoraki sirkülasyonlu kazanların en önemli parçalarından birisi domdur. Su ve buhar domda birbirlerinden ayrılır ve buhar kızdırıcılara giderken su yeni bir sirkülasyona başlar. Fakat domun görevi bu kadarla sınırlı değildir. Bu nedenle aşağıda domun görevleri sıralanmıştır;

- Doymuş buharın kaynar sudan ayrıştırılması ve suyun yeniden sirkülasyona imkan sağlanması.
- Çevrim suyunun kalitesini kontrol altında tutabilmek için kimyasal madde dozajı yapabilmemesi.
- Yine çevrim suyu kalitesini kontrol altında tutabilmek için gerektiğinde blöf yapabilmemesi.
- Yük değişikliklerinin sebep olduğu su seviyesi değişikliklerinin kompanse edebilmesi.
- Suyun veya suda olabilecek istenmeyen katı maddelerin kızdırıcılara ve buhar türbinine sürüklenmesinin önlenmesi.

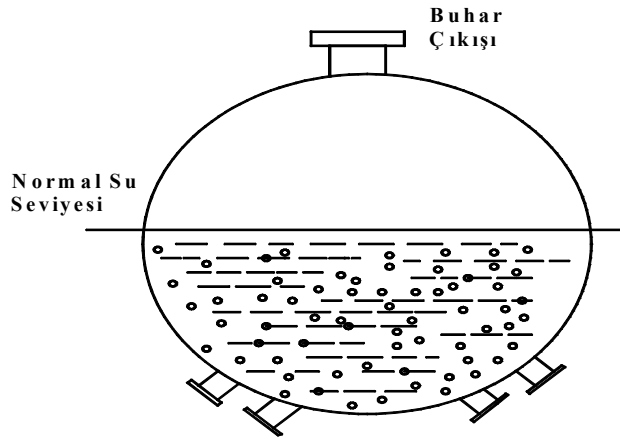
Yukarıda sıralanan görevlerin en önemlisi elbette ki suyun buhardan ayrıştırılmasıdır. Bu ayrıştırma işlemi domda üç farklı yöntemle gerçekleştirilebilir. Yer çekimi yöntemi, mekanik ayrıştırma yöntemi ve santrifüj yöntemidir.

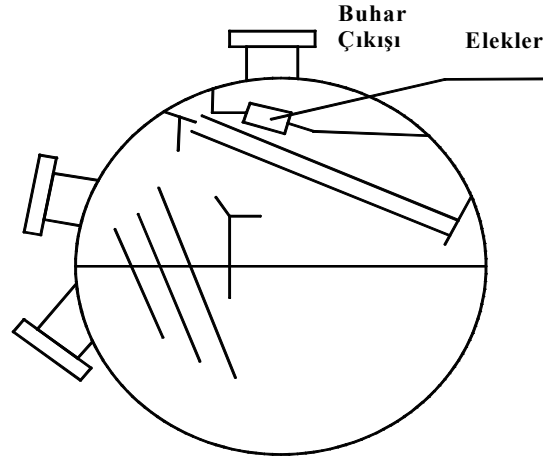
Yer çekimi yöntemi en basit ayrıştırma yöntemidir. Bu yöntemde buhar kabarcıkları su zerreleri ile istenmeyen katı parçacıkları beraberinde sürüklenmeden, kendileri de sirküle eden suya kapılarak iniş borularına girmeden tamamen doğal olarak sudan ayrışırlar. Yer çekimi yöntemi ile buharın ayrıştırılması, su ve buharın özgül ağırlıkları arasındaki farka bağlıdır. Kazan basıncı arttıkça bu iki özgül ağırlık arasındaki fark azalır ve ayrışmanın gerçekleşmesi güçleşir. Bu nedenle yer çekimi yöntemi ancak düşük buhar kapasitesi ve düşük kazan basıncı şartlarında olumlu sonuç verir.

Kazan basıncı ve kapasitesi arttıkça mekanik ayrıştırma yöntemine geçmek kaçınılmaz olur. Mekanik ayrıştırma yönteminde domun içinde yönlendirme plakaları ve elekler vardır. Yönlendirme levhaları ön ayrıştırma işlemi gerçekleştirir. Bu plakalara çarpan buhar yön değiştirir ve bu sırada içinde bulunan su tanecikleri ayrılarak aşağı düşer. Yönlendirme plakaları aynı zamanda buharın iniş borularına ve

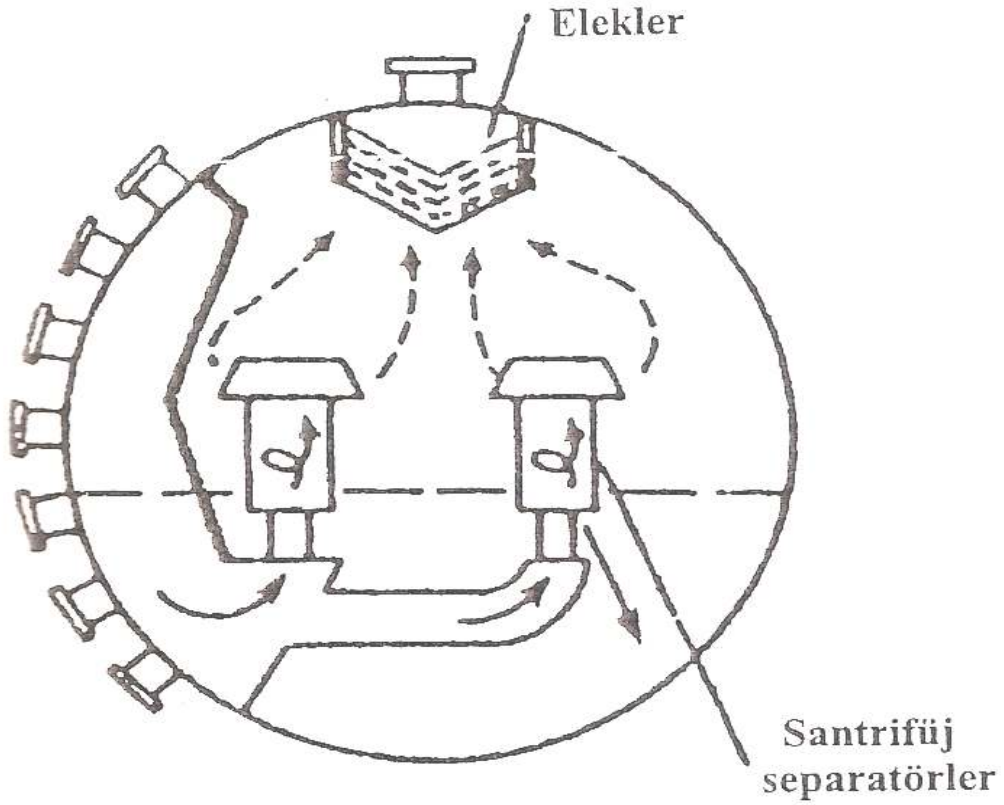
buharlaştırıcı borulara geri sürüklenmesini de önler. Yönlendirme plakalarına çarparak içindeki su taneciklerinin büyük bir bölümünü bırakan buhar daha sonra eleklerden geçer. Bu geçiş sırasında buharın içinde kalmış olan son su tanecikleri ile istenmeyen katı partiküller eleklerle takılır ve geriye düşer. Temiz ve kuru buhar ise yoluna devam ederek kızdırıcılara gider.

Su ve buharın özgül ağırlıkları arasındaki farkın hemen hemen ortadan kalktığı çok yüksek basınçlarda santrifüj yöntemine geçmek kaçınılmazdır. Bu yöntemde su buhar karışımı öncelikle santrifüj separatöre girer. Tüm dom boyunca yerleştirilmiş olan separatörlerin içerisinde helezon şeklinde yönlendirici kanatlar vardır. Bu helezon kanatlara giren buhar eksen etrafında dönerek ilerlerken, içindeki su tanecikleri santrifüj kuvvetlerin etkisiyle radyal yönde hareket eder ve separatörlerin yan yüzeylerine çarpıp aşağıya düşer. Separatörlerden çıkan buhar ise domu terk etmeden önce, dom çıkışına yerleştirilmiş olan eleklerden geçer ve burada son su zerrecikleri de tutulmuş olur (Şekil 3.34).





Şekil 3.33. Yerçekimi yöntemi ve mekanik ayrıştırma yöntemi



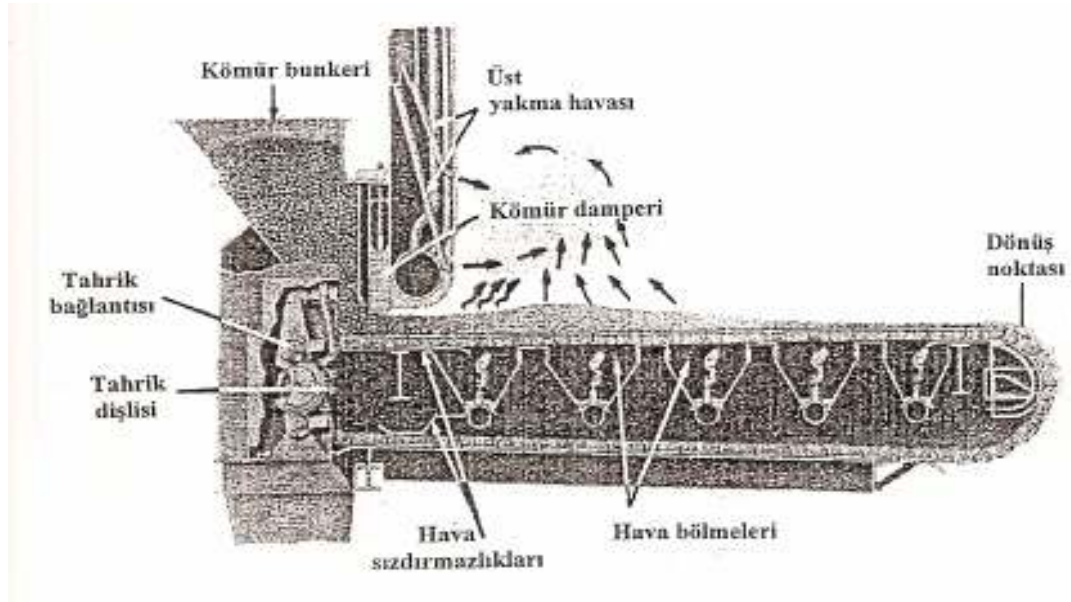
Şekil 3.34. Santrifüj yöntemi

Ocak; kazanın bir bölümünü meydana getirir. Yakıt ocakta yakılır. Katı, sıvı ve gaz yakıtlar için değişik tipte ocaklar bulunmaktadır. Katı yakıtlar için ızgaralı ocaklar veya pülverize kömür ocakları kullanılabilir. En uygun ocak tipinin seçimi kazan kapasitesine ve yakıtın özelliklerine bağlıdır. Yakıt mümkün olduğu kadar verimli yanmalı ve bu yanmadan elde edilen ısı yine mümkün olduğu kadar yüksek bir verimle

su ve buhara geçebilmelidir. Taze hava vantilatörü ve cebri çekme vantilatörü kullanılması, yakıtın kazana otomatik verilmesi ve yakıtın mekaniksel olarak inceltilmesi, ocak ve yanma verimini artıran faktörlerdir.

Sabit olan ve elle yüklenen ızgaralı ocaklar en eski kazan ocaklarıdır. Bu ocaklar sadece küçük kapasiteli kazanlarda kullanılabilir. Kazan kapasitesinin artması ile titreşimli veya yürür ızgaralı ocakların yapımı ve kullanılmasına başlanmıştır. Yürür ızgaralı ocaklarda ızgara dilimleri sonsuz bir zincir meydana getirir ve ocak içerisinde hareket ettirilebilir. Izgaranın baş tarafına akıtılan kömür bu hareket ile ileri yönde taşınır. Bu taşınma sırasında yakıtın sürekli olarak yanabilmesi için ızgaranın altından yanma havası verilir. Izgaranın sonunda arta kalan curuf aşağıya dökülür. Yanma süresince taze hava vantilatörü ile ızgaranın üzerine ayrıca üflenen hava ise yanma verimini artırır. Yürür ızgaralı ocaklar, düşük yükteki çalışmalarda da iyi sonuç verirler.

Titreşimli ızgaraların da çalışma prensibi hemen hemen aynıdır. Ancak bu tip ızgaralarda kömür ızgara elemanlarının dönme hareketi yerine titreşimi ile ızgara üzerinde ilerler (Şekil 3.35).

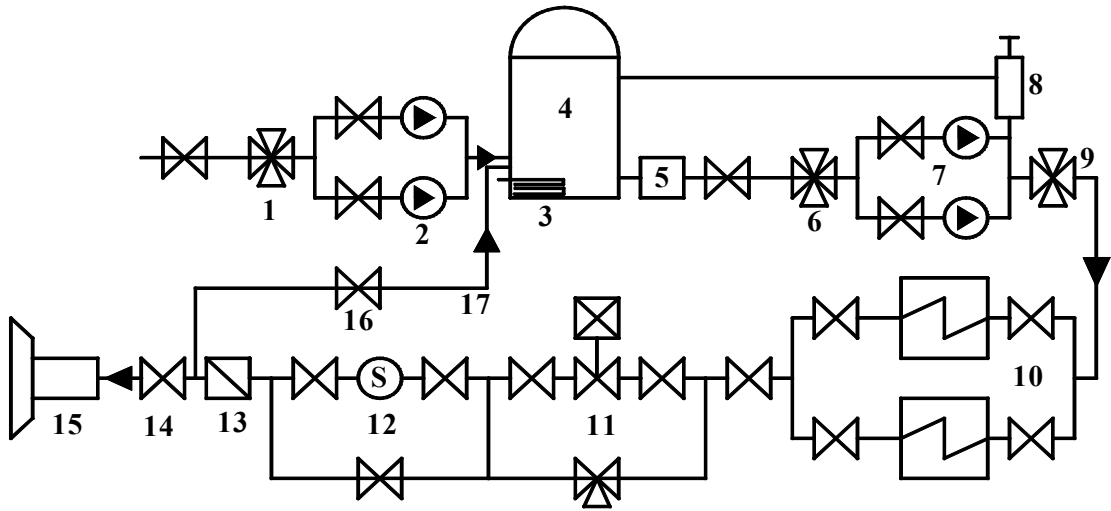


Şekil 3.35. Yürür ızgara

Buhar kapasitesi ortalama 80 t/h'in üzerinde olan kazanlarda kullanılabilecek ana ocak tipi pülverize kömür ocaklarıdır. Bu ocaklar özel bir yanma odasından oluşur. Bu ocaklar özel bir yanma odasından oluşur. Buraya gelen kömür, toz halinde havaya

asılı olduğundan ızgaraya gerek yoktur. Bu tip kazanlarda kullanılan kömür iri taneli ise genellikle önce kırılır ve daha sonra da bir ara bunkerlerde depolanır. Buradan çıkan kömür, değirmenlerde öğütülerek çok küçük zerrecikler haline getirilir ve yanma odasına üflenir. Bu arada kömürün kurutulabilmesi için ise değirmene ısıtılmış hava gönderilir. Yanma odasında pülverize kömür, ön ısıtma uygulanmış olan hava ile birleşir ve radyasyon ısısının etkisi ile yanar. Öğütülmüş olan yakıtın yüzey alanının çok büyük olması nedeniyle, yanma çok çabuk gerçekleşir.

Sıvı yakıt ocakları uzun zamandan beri gemi kazanlarında kullanılmaktaydı. Zamanımızda bu tip ocaklar santral kazanlarında da çok sık görülmektedir. Yakıt olarak Fuel – Oil, nispeten temiz olması, kolay ve rahat depolanabilmesi, pompa ile kolayca iletilebilmesi, yanma sırasında reglajının çabuk sağlanabilmesi ve yanma artığının yok denecek kadar az olması gibi birçok avantajlara sahiptir.



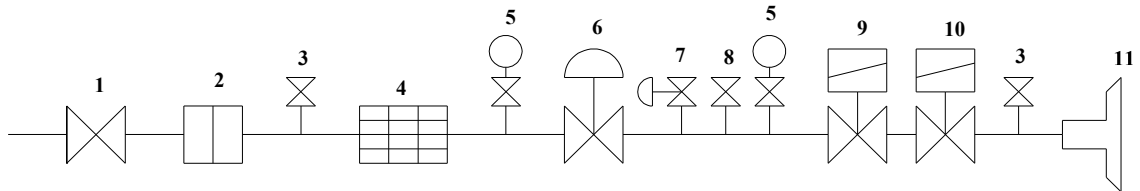
- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. Emme filtresi | 10. Ön Isıtıcı |
| 2. Pompa İstasyonu | 11. Reglaj Ventili |
| 3. Serpantin | 12. Sayaç |
| 4. Günlük Yakıt Tankı | 13. Ani Kapama Ventili |
| 5. Ön Isıtıcı | 14. Kapama Armatürü |
| 6. Emme Filtresi | 15. Yakıcı |
| 7. Pompa İstasyonu | 16. Geri Besleme Ventili |
| 8. Aşırı Akım Ventili | 17. Geri Besleme Hattı |
| 9. Filtre | |

Şekil 3.36. Fuel Oil yakma hattı şeması

Şekil 3.36 de yakıt tankından çıkarak yakıcılara kadar gelen sıvı yakıt hattı, şematik olarak gösterilmiştir. Emme filtresinden geçen yakıt pompa istasyonu aracılığı ile günlük yakıt tankına basılır. Bu tanktan yeni bir pompa istasyonu yardımı ile çıkan yakıt bir ön ısıtıcıdan geçerek yakıcılara gelir.

Pompa istasyonlarında pistonlu, dişli ve vidalı pompalardan yararlanılabilir. Yakıcıların hemen yanında bulunan bir geri besleme ventili, yakıcılar için gerekli olan sıcaklığa erinceye kadar yakıtın tekrar günlük yakıt tankına gönderilmesini sağlar.

Buhar santrallerinde hava gazı, kok gazı ve yüksek fırın gazı senelerden beri yardımcı olarak kullanılmaktaydı. Öte yandan, son yıllarda doğal gaz ve LPG ise ana yakıt olarak başarı ile yararlanılmaktadır. Ocak ve yanma tekniği yönünden gazlar ideal yakıtlardır. Çünkü gazlarda, ne sıvı gibi atomizasyon problemi ne de katı yakıtlar gibi öğütme problemi bulunmamaktadır. Ancak gazların yakılması sırasında gaz ile yanma havasının iyi bir şekilde karışmasına dikkat etmek gereklidir. Gaz yakıt kullanan kazanlar genellikle, gaz hattından direkt olarak beslenirler. Bu nedenle herhangi bir depolama problemi de söz konusu değildir. Şekil 3.37 da gaz yakıt için bir yakma hattı görülmektedir.



- | | |
|-------------------|-----------------------------|
| 1. Küresel Vana | 7. Relief Vanası |
| 2. Kompansatör | 8. Tahliye Vanası |
| 3. Test Nipeli | 9. İşletme Selenoid Vanası |
| 4. Filtre | 10. Emniyet Selenoid Vanası |
| 5. Manometre | 11. Brülör |
| 6. Regülatör Vana | |

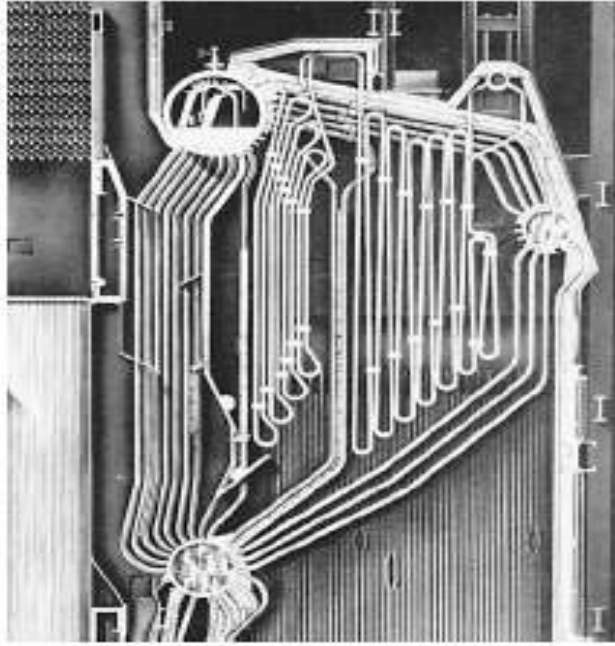
Şekil 3.37. Gaz yakıt yakma hattı

Gaz yakıt hattı üzerinde ve kazan binası dışında mutlaka elle çalıştırılan bir kapama vanası bulunmalıdır. Ayrıca her yakıcıdan önce, yine elle çalışabilen bir

kapama vanası ve bir ani kapama donanımı konulmalıdır ve bu ani kapama donanımı, maksimum gaz basıncı yada minimum hava basıncı koşullarının gerçekleşmemesi halinde gaz akışını otomatik kesmelidir.

Kızdırıcılar; buhar kazanlarında ısı düşüş miktarını artırabilmek için, doymuş buhar kızdırıcılarda kızdırılır. Tekrar kızdırıcılarda ise türbinin yüksek basınç kademelerinden çıkan buhar, türbin son kademelerinde izin verilebilir buhar ıslaklığı sınırının aşılması için yeniden kızdırılır. Öte yandan bu yolla toplam entalpi düşüş miktarı da artırılmış olur.

Günümüzde kızdırıcılar birkaç değişik tipte imal edilmektedirler. Bazı kızdırıcılarda ısı transferi radyasyon yoluyla, bazılarında konveksiyonla, bazılarında ise hem radyasyon hem de konveksiyonla gerçekleşmektedir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38 Kızdırıcı

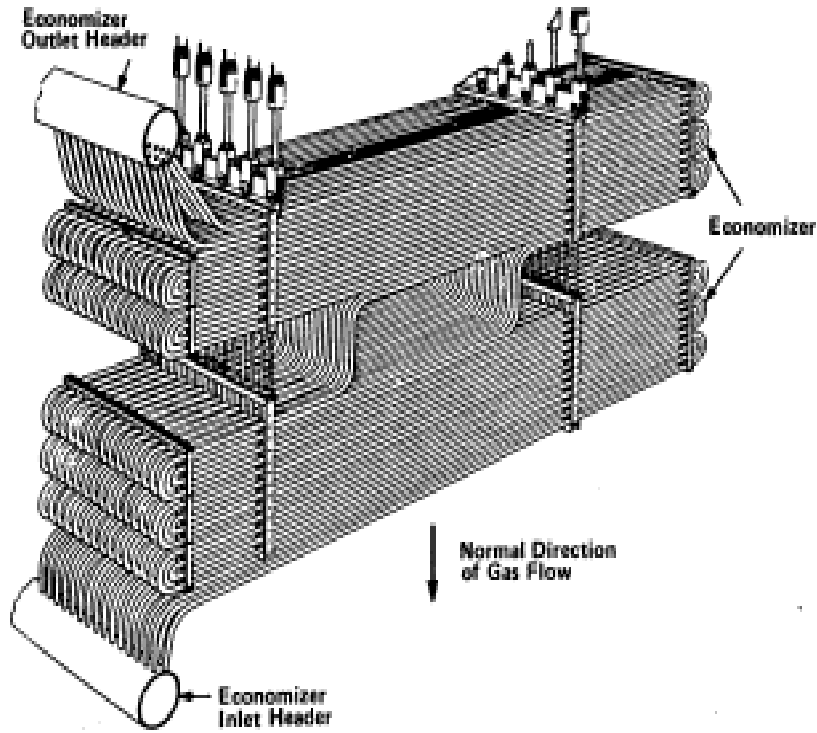
Besleme Suyu Ön Isıtıcıları; besleme suyu baca gazları yada buhar ile ısıtılabilir. Baca gazları ile ısıtılan besleme suyu ön ısıtıcılarına ekonomizör de denir. Ekonomizörler kazan içine, kızdırıcılardan sonra gelecek şekilde yerleştirilirler ve içlerinden su akan bir boru sisteminden oluşurlar.

Ara buhar ile ısıtılan ön ısıtıcılar ise kazandan önce ve besleme suyu devresi üzerine yerleştirilirler. Bu devredeki konumu yönünden besleme suyu pompasından

önce gelen ön ısıtıcılara alçak basınç ısıtıcıları, besleme suyu pompasından sonra gelen ön ısıtıcılara da yüksek basınç ön ısıtıcıları denir. Bunlar genellikle yüzey tipli ön ısıtıcılar yada karışmalı ön ısıtıcılardır.

Yüzey tipli ön ısıtıcılar içerisinde besleme suyu geçen borular ile bu boruların içerisinde bulunduğu bir gövdeden oluşurlar. Boruların üzerinden geçen ara buhar, ısını suya vererek yoğuşur. Yoğuşan su ya bir yan kondensat pompası ile su buhar devresine yeniden basılır, yada herhangi bir pompa kullanılmadan daha düşük basınç kademesindeki bir ısıtıcıya kendi basıncı ile doğrudan gönderilir.

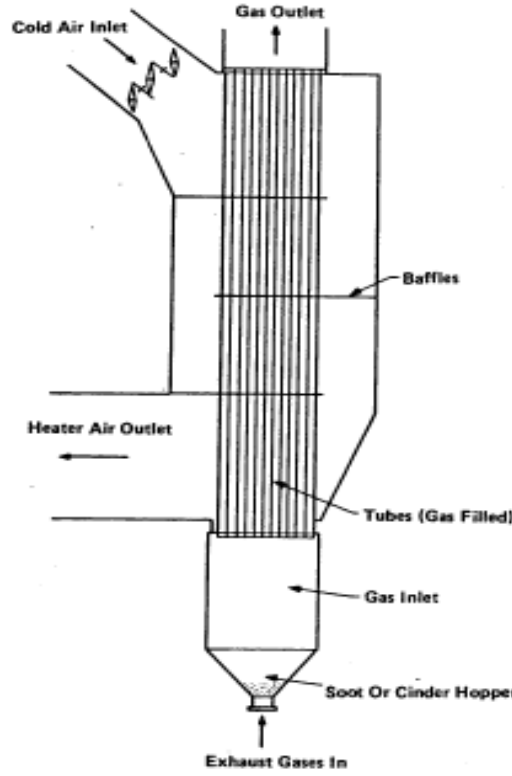
Karışmalı ön ısıtıcılarda ise ara buhar, ön ısıtıcının içerisine girerek besleme suyu ile karışır ve kondensasyon ısını besleme suyuna verir (Şekil 3.39).



Şekil 3.39 Baca gazı ekonomizörü

Hava Ön Isıtıcıları; ekonomizörden çıkan baca gazları oldukça sıcaktır. Bu nedenle, baca gazlarının artan enerjisinden hava ön ısıtıcılarında da yararlanılabilir. İki değişik tip hava ön ısıtıcısı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi Rekuperatif ön ısıtıcı, öteki ise regeneratif ön ısıtıcısıdır.

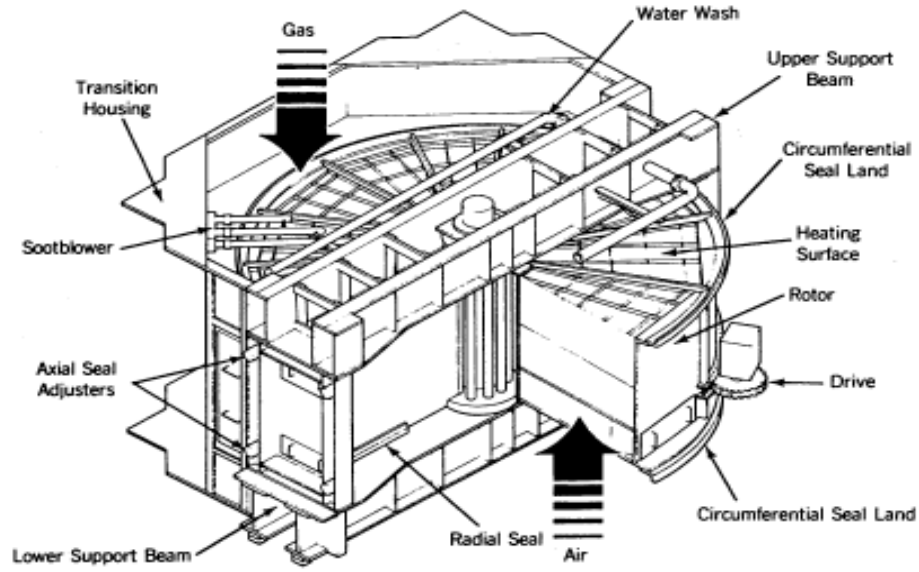
Rekuperatif ön ısıtıcılarda ısıtma yüzeylerinin bir tarafından sürekli olarak baca gazları, öteki tarafından ise taze hava geçmektedir. Baca gazları ile taze hava arasındaki ısı transferi, ısıtma yüzeyleri aracılığı ile gerçekleşir (Şekil 3.40).



Şekil 3.40 Rekuperatif hava ısıtıcı

Regeneratif ön ısıtıcılarda, enerji akümülatörü olarak çalışan yüzeyler, bir rotor üzerine ve genellikle radyal yönde monte edilmiştir. Rotor, 2 – 5 d/dk'lık bir hızla döndürülür. Bu dönme sırasında yüzeyler sürekli olarak bir baca gazı akışıyla, arkasından birde taze hava akışıyla karşılaşır. Bu şekilde, enerji akümülatörü olarak çalışan yüzeyler, önce baca gazı ile ısınır ve daha sonra da aldıkları bu enerjiyi taze havaya verirler.

Bu ön ısıtıcıların avantajı çok geniş yüzeylerin, küçük bir hacme sığdırılabilmesidir. Bununla beraber, her iki gaz yolu arasındaki sızdırmazlığın sağlanabilmesi önemli olduğu kadar da zordur. Çünkü taze hava ile baca gazları arasında basınç farkı bulunmaktadır (Şekil 3.41).



Şekil 3.41 Regeneratif hava ısıtıcı

Besleme Suyu Pompası; kazanlarda sürekli olarak ve yeterli miktarda besleme suyu sağlanabilmesini garanti altına alabilmek amacıyla çeşitli ülkelerdeki yetkili kuruluşlar tarafından bazı kurallar ortaya konulmuştur. Bu kurallara göre her kazanın en az iki besleme suyu pompası olması ve bu pompaların birbirlerinden farklı birer enerji kaynağı tarafından çalıştırılması gerekmektedir. Amaç, herhangi bir pompaya yada enerji kaynağında meydana gelebilecek arızanın kazan çalışmasını etkilememesi.

Kullanılan iki değişik tip enerji kaynağı genellikle buhar ve elektriktir. Bununla beraber, birbirinden tümüyle bağımsız iki ayrı elektrik enerjisi kaynağı bulunmakta ise, her iki besleme suyu pompası da elektrik enerjisi kaynağı bulunmakta ise, her iki besleme suyu pompası da elektrik gücü ile çalıştırılabilir. Aynı şekilde, çapraz beslemeli santrallerde olabileceği gibi, buhar enerjisinin tümünün kesilmesinin söz konusu olamayacağı santrallerde her iki pompa için de buhar gücünden yararlanılabilir.

Kazan kapasitesi yönünden gerekli olan minimum besleme suyu miktarı, kazanın maksimum devamlı gücüne eşittir. Bu değer ise kazan nominal gücünün 1,25 katıdır. Besleme suyu pompalarının seçimi ve kullanılması konusunda aşağıdaki kurallara uyulmalıdır.

- Her buhar santralinde en az 2 ayrı besleme suyu pompa donanımı bulunmalıdır.

- Eğer yalnızca 2 ayrı besleme suyu pompa donanımı bulunmakta ise bunlardan her biri; eğer o donanımdan beslenen tüm kazanların otomatik besleme suyu kontrol mekanizma yoksa yada kazanların toplam buhar tonajı 30 t/h'in altında ise her besleme suyu pompasının kapasitesi, kazanların maksimum devamlı buhar güçleri toplamının en az 1,6 katı olmalıdır. Eğer o donanımdan beslenen tüm kazanların otomatik besleme suyu kontrol mekanizma varsa ve kazanların toplam buhar tonajı 30 t/h'in üzerinde ise, her besleme suyu pompasının kapasitesi, kazanların maksimum devamlı buhar güçleri toplamının en az 1,25 katı olmalıdır.

- Eğer 2 den fazla besleme suyu pompası bulunmakta ise, aynı anda devre dışı olabilme olanağı bulunan pompalardan geriye kalan pompa yada pompaların toplam kapasitesi, kazanların maksimum devamlı buhar güçleri toplamının en az 1,25 katı olmalıdır.

- Besleme suyu pompaları, yukarıda açıklanan besleme suyu miktarını, maksimum kazan buhar basıncı değeri ile pompa ve kazan arasındaki basınç kayıplarının toplamından bulunacak basınç değerinin %10 fazlası olan bir basınçta bile sirküle edebilmelidir.

- Besleme suyu pompalarının çalıştırılmasında, birbirinden bağımsız en az iki ayrı enerji kaynağı bulunmalıdır.

Fanlar; tıpkı bir pompa gibi çalışarak belirli bir miktar hava veya gazı bir yerden bir başka yere basan makinelerdir. Bu basma işleminin gerçekleşebilmesi için fanlar, akışı engellemeye çalışan dirençlerin toplamını yenebilecek kadar bir enerjiyi bastıkları hava veya gaza aktarırlar.

Taze hava fanları yakıtın tam olarak yakılabilmesi için gerekli havayı sağlayan fanlardır. Eğer sistemde ayrıca primer hava fanı yoksa gerekli tüm taze hava taze hava fanları ile sağlanır. Her kazanda genelde 2 adet taze hava fanı bulunur. Fan kapasiteleri seçilirken, fanlardan bir adedinin her hangi bir nedenle devre dışı olması halinde diğer fan kapasitesinin santralli hiç olmazsa minimum devamlı yükte çalıştırabilmek için yeterli olmasına dikkat edilir.

Kömürlü buhar kazanlarında, değirmenlerdeki kömürün kurutulması ve kazana verilmesi için primer hava fanlarından yararlanılır. Bu fanlar hava ön ısıtıcısından önce yerleştirilirse Soğuk Primer Hava Fanı, sonra yerleştirilirse Sıcak Hava Primer Hava Fanı adını alırlar.

Soğuk Primer Hava Fanının avantajı belirli bir kütleli hava miktarının karşılığı olan hacimsel hava debisinin daha az olmasıdır. Ancak bu durumda hava ısıtıcısının hava tarafındaki basınç daha yüksek olacak ve dolayısıyla hava kaçaqları artacaktır.

Sıcak Primer Hava Fanı kullanılması halinde, hava ısıtıcısındaki hava kaçaqları oldukça azalır. Fakat bu durumda da fan dizayn sıcaklığının daha yüksek seçilmesi ve hacimsel hava debisinin daha büyük olması kaçınılmaz olur.

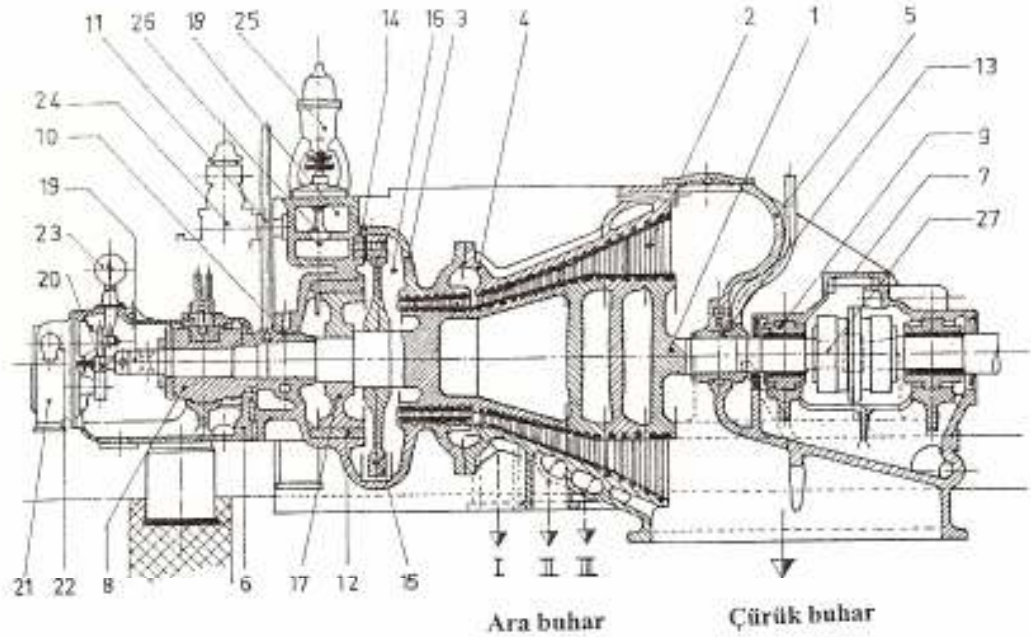
Cebri Çekme Fanları, yanma sonucu oluşan baca gazlarını dışarı atan fanlardır. Bu fanların kapasiteleri hesaplanırken tam yükte yanma sonucu oluşan baca gazlarının hacmi ile çevreden kazana ve nihayet hava ısıtıcısının hava tarafından gaz tarafına olabilecek hava kaçaqları dikkate alınır.

Cebri Çekme Fanları taze hava fanlarına oranla çok daha olumsuz şartlarda çalışırlar. Çünkü bu fanların çalışma sıcaklıkları daha yüksektir ve baca gazlarının içinde kalabilecek olan külün aşındırma özelliği çok fazladır. Bu fanlarda oluşabilecek aşınmalar, fan gövdesini ve rotor kanatlarını değiştirebilir aşınma elemanları ile koruyarak minimumda tutulabilir.

3.5.6 Buhar Türbinleri ve Yardımcı Ekipmanları

Buhar türbini genel olarak yatay ekseni etrafında dönebilen bir türbin rotoru, bu rotor üzerine monte edilmiş olan ve rotorla beraber dönen hareketli kanatlar, türbin gövdesi, bu gövde içerisinde bulunan iç gövde, sabit kanat taşıyıcıları ve sabit kanatlardan meydana gelir. Rotor, her iki tarafından radyal yataklarla yataklanmıştır. Eksenel yatak rotoru eksenel yönde sabitleştirir. Buharın türbinden dışarı kaçmasının söz konusu olduğu yerler labirentlerle donatılmıştır (Şekil 3.42).

Kazandan gelen taze buhar ani kapama ventilinden, giriş kasasından, reglaj ventilinden geçerek nozullara ve buradan genellikle Curtis yada Laval çarkına gelir. Bu çarktan çıkan buhar gövde içerisine girerek türbinin tüm kanat basamaklarından akar. Buhar, türbinin içerisinde ilerlerken iş meydana getirir ve hacmi genişler. Bu nedendir ki türbin sabit ve hareketli kanatları basamaklar ilerledikçe daha uzun imal edilir. Buhar yararlı enerjisini kanatlar yardımı ile rotora verdikten sonra, çürük buhar gövdesinden geçerek kondenseye dökülür. Çeşitli basınç basamaklarından alınan ara buhar, borular ile gövdeden ayrılarak kullanılacağı yere (besleme suyu ön ısıtıcıları vs) gönderilir.



- | | |
|--|---|
| 1. Türbin rotoru | 15. Laval çarkı |
| 2. Sabit ve hareketli kanatlar | 16. Çark boşluğu |
| 3. Y.B.Türbin gövdesi | 17. Dengeleme pistonu |
| 4. A.B.Türbin gövdesi | 18. Ventil kasası |
| 5. Çürük buhar gövdesi | 19. Aşırı hız emniyet mekanizması |
| 6. Ön yatak gövdesi | 20. Pompa ve regülatör tahrik düzeni |
| 7. Arka yatak gövdesi | 21. Ana yağ pompası |
| 8. Radyal-eksenel yatak kombinezonu | 22. Hız regülatörü |
| 9. Arka radyal yatak | 23. Devir sayısı göstergesi |
| 10. Ön labirentler-rotor için | 24. Ani kapama ventili |
| 11. Buharlaştırma kontrol bacası | 25. Reglaj ventilleri için reglaj silindiri |
| 12. Labirentler-dengeleme pistonu için | 26. Reglaj ventili mili |
| 13. Arka labirentler-rotor için | 27. Kaplin |
| 14. Giriş lülesi (nozulu) segmanı | |

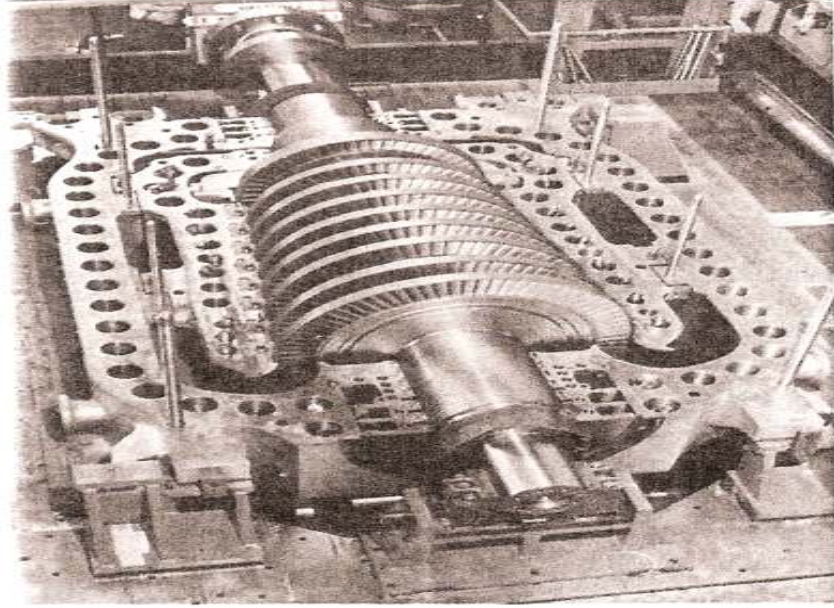
Şekil 3.42. Bir türbin kesiti

Ön yatak gövdesinde bulunan ana yağ pompası, rotora bağlıdır. Bu pompa yatakların yağlanması ve türbin reglaj için gerekli olan basınçlı yağı sağlar. Yine ön yatak gövdesinde bulunan hız emniyet mekanizması ve hız regülatörü türbin rotoru tarafından döndürülür. Hız emniyet mekanizması, rotor ile hareketli kanatları aşırı hıza karşı ani kapama ventilini harekete geçirerek korur. Hız regülatörü, reglaj ventili ile birlikte sabit bir hız ve güç temin edilmesini sağlar.

Türbin çıkış tarafında bulunan jeneratörün indüktörü türbin rotoru ile kaplinlenmiştir. Türbinlerde genellikle bir de döndürme dişlisi (virör düzeni)

bulunmaktadır. Santralin devre dışı olmasından sonra rotoru, virör aracılığı ile düşük bir hızda döndürmeye devam etmelidir. Bunun nedeni, soğuma sırasında rotorun bel vermemesi ve özellikle ağır rotorların radyal yatakları zedelememesidir.

Buhar türbinleri bir akım makinesidir. Buharın entalpisi bu makinede önce kinetik enerjiye ve daha sonra mekanik işe dönüşür. Türbin girişindeki buharın, basınç ve sıcaklığına bağlı olarak bir entalpisi vardır. Buharın basınç enerjisi türbin girişine yerleştirilmiş olan lülelerde kinetik enerjiye dönüştürülür. Bu kinetik enerji, buharın türbin rotoru üzerinde bulunan ilk sıra hareketli kanat diskinde yön değiştirmesi sırasında ise belirli bir mekanik iş meydana getirir. Genelde buhar türbinlerinde çok sayıda hareketli kanat diski vardır ve bunların arasına sabit kanat diskleri yerleştirilmiştir. Bir sabit kanat diski ile bir hareketli kanat diski bir türbin basamağını (kademelerini) meydana getirir. Sabit kanat disklerine diyafram da denilmektedir (Şekil 3.43).



Şekil.3.43. Buhar türbini yakından görünümü

Birinci sıra hareketli kanatlardan çıkan buhar sırasıyla tüm sabit ve hareketli kanat disklerinden geçerek genişir. Bu şekilde türbin giriş ve çıkış entalpileri arasındaki fark mekanik işe dönüşmüş ve bu iş rotora verilmiş olur. Buhar basıncının ve dolayısıyla entalpi düşüşünün türbinde meydana geliş şekline göre iki değişik tip türbin

ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birisi aksiyon türbini (sabit basınç türbini), diğeri ise reaksiyon türbinidir.

Aksiyon türbinlerinin kanat şekilleri simetriktir. Kanat giriş ve çıkış açıları yaklaşık 20°C dir. Küçük güçler için komple aksiyon türbinleri imal edilebildiği gibi büyük kapasiteli buhar türbinlerinin yüksek basınç kademeleri de aksiyon kademeleri olarak imal edilebilir. Yüksek basınç kademelerinde buharın spesifik hacmi küçük olduğundan, buharın geçeceği kesit alanı da alçak basınç kademelerine oranla çok daha küçüktür. Bu nedenle türbin aksiyon kanatları kısadır ve kesitleri sabittir.

Aksiyon türbinlerinde tüm basınç ve entalpi düşüşü lülelerde meydana gelir. Hareketli kanatlarda ise sürtünmenin neden olduğu basınç kaybı dışında hiçbir basınç düşüşü meydana gelmez.

Şayet hareketli kanat profili farklı bir şekilde dizayn edilerek buhar akışı sırasında bu kanatlarda da basınç düşüşü sağlanırsa bu hareketli kanatlar üzerinde bir reaksiyon kuvveti meydana gelir. Ancak kanat boşluğu bir buhar deposu olmayıp buharın girip çıktığı bir kesit olduğundan bu noktada hızın sıfır olmadığı açıktır. Dolayısı ile de %100 bir reaksiyon kanadı mevcut değildir. Reaksiyon türbini diye adlandırılan türbinlerin kanatları arasında biraz aksiyon, biraz da reaksiyon profilidir.

Reaksiyon türbinleri ard arda dizilmiş birçok sabit ve hareketli kanat sıralarından meydana gelir. Bu türbinlerde sabit kanatlar lüle görevi görür. Hareketli kanatlar ise hem buharın kanada doğrudan uyguladığı impuls kuvvetinin etkisiyle, hem de buharın kesitten geçerken genişmesi ve ivme kazanması sonucu oluşan reaksiyon kuvvetinin etkisiyle hareket eder.

Buhar türbinlerinin çalışabilmesi için kondenser, vakum pompaları, ejektörler ve soğutma kuleleri gibi yardımcı ekipmanlara ihtiyacı vardır.

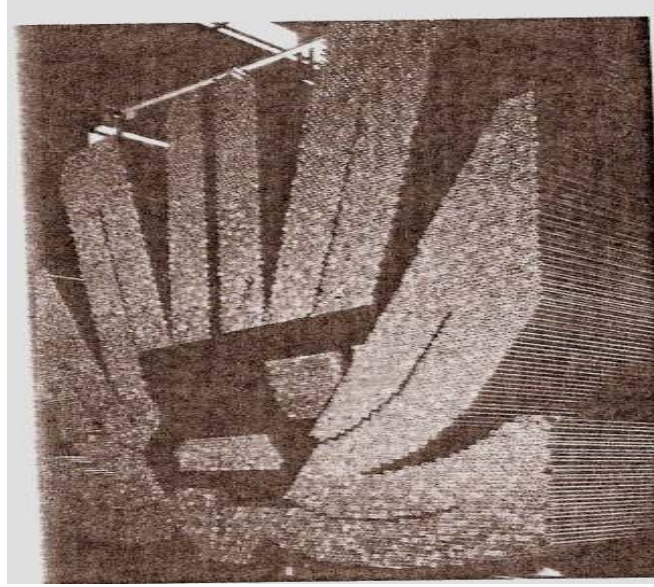
Buhar Santrallerinde kullanılmakta olan kondenseler çoğunlukla yüzeyli tiptir. Bu sistemde yoğuşan buhar ile soğutma suyu birbirlerine karışmazlar. Türbinlerden çıkan çürük buhar, kondensenin üzerindeki geniş ağızdan gövdenin içerisine dolar ve soğutma borularını yalayarak yoğuşur. Daha sonra da genellikle kondensenin altında bulunan ve Hotwell denilen haznede toplanır. Buradan alınan kondensat, kondensat pompası ile alçak basınç ön ısıtıcılarına gönderilir.

Kondenserler, soğutma suyunun sirkülasyonu yönünden bir, iki veya dört geçişli olarak dizayn edilebilir. Elektrik santrallerinde dört geçişli kondensere çok ender

rastlanır. Tek geçişli kondenserlerde soğutma suyu tüm kondense borularının bir ucundan ve aynı anda girerek öteki ucundan çıkar.

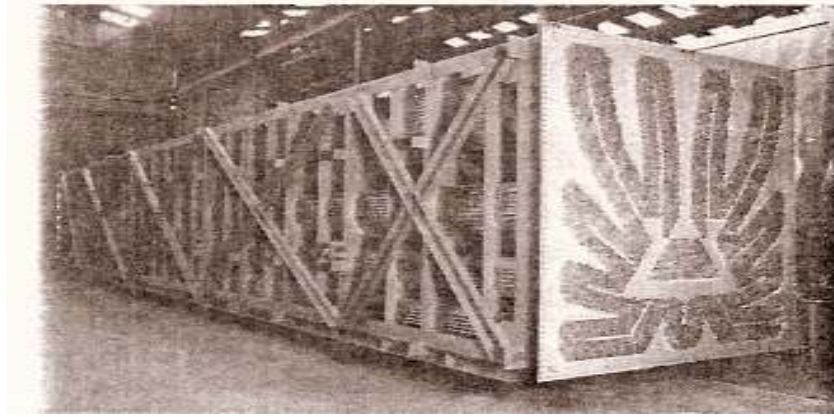
İki geçişli kondenserlerde ise soğutma suyu iki gözlü olarak dizayn edilmiş olan su giriş kasasının birinci gözüne ve oradan da soğutma suyu borularının yarısına girerek boylu boyunca akar, öteki uçtaki su kasasında yön değiştirir ve kalan borulardan ters yönde akarak su giriş kasasının ikinci gözünden dışarı çıkar.

Aynı sayı ve ölçülere, yani aynı ısı transfer yüzeyine sahip borulardan oluşan tek geçişli bir kondense, aynı su akış hızı şartlarında iki geçişli bir kondenseye oranla iki kat daha fazla su debisine ihtiyaç gösterir. Fakat buna karşın soğutma suyu sıcaklık farkı artışı da yarı yarıya azalacağından santralin ısı verimi artar.



Şekil 3.44. Kondense borularının diziliş şekli

Eski yıllarda imal edilen kondenserlerin aynaları genelde daire şeklinde olur ve bu aynalara mümkün olduğu kadar fazla boru yerleştirilmesine çalışılırdı. Ünite güçlerinin artmasıyla, bu tip dizaynlarda ısı transferi problemleriyle karşılaşılmaya başlandı. Zira kondenserin üst bölümündeki borular buharın akışına bir anlamda perde oluşturarak etkili bir yoğuşmayı zorlaştırıyorlardı. Bu nedenle günümüzde kondense dizayn felsefesi büyük çapta değişmiştir. Artık buharın kondenseye girdiği üst bölümünde borular, aralarında huni veya V şeklinde boşluklar bırakılarak yerleştirilmektedir (Şekil 3.45).



Şekil 3.45. Kondense borularının aynaya yerleştirilişi

Kondenserde buhar ile su arasındaki sızdırmazlık çok önemlidir. Bu sızdırmazlık tam olarak temin edilemezse hem kondense vakumu bozulur hem de soğutma suyu ile birlikte çeşitli tuzlar ve sertlik maddeleri kondensatta karışır. Bu nedenle boruların aynalara tutturulması da oldukça önemlidir. Borular aynalara ya makine ile ya da birer salmastra yardımı ile tutturulur.

Kondenser gövdelerinde bir emniyet membranı da bulunabilir. Bu membranın görevi, türbin ve kondenseri atmosfer üstü basınca korumaktır.

Kondenserdeki salmastra ve contalardan bir miktar havanın içeri kaçması doğaldır. Bu havanın sürekli olarak emilmesi ve dolayısı ile de kondenser vakumunun bozulmaması sağlanmalıdır. Buhar santrallerinde vakum elde etme ve devamını sağlama görevi ya vakum pompalarına ya da ejektörlere aittir.

Vakum pompaları pistonlu ya da rotatif olabilirler. Ancak modern kuruluşlarda pistonlu pompalar pek kullanılmamaktadır. Rotatif pompalarda ise işletme güvencesi düşük olduğu gibi erişilebilen maksimum vakum yüzdesi de pek fazla değildir.

Günümüz santrallerinde vakum elde etmek için özellikle ejektörlerden yararlanılmaktadır. Ejektörler, su ejektörleri ve buhar ejektörleri olmak üzere ikiye ayrılır.

Suyun bol bulunmadığı yörelerde kondenserde ısınmış olan soğutma suyu kulelerde soğutularak yeniden kullanılmaktadır. Soğutma kuleleri temel özellikleri yönünden ıslak tip ve kuru tip olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Islak tip soğutma kulelerine su belirli bir yükseklikten girerek aşağıya doğru dökülür. Bu sırada kulenin altından doğal yollarla veya kulenin üst tarafına yerleştirilen

fan vasıtasıyla giren hava sudan daha soğuk olduğu için ısınarak yükselir. Böylece aşağıya akmakta olan su, yukarı çıkmakta olan hava tarafından soğutulur. Su, kule içerisinde ne kadar fazla kalır ve ne kadar küçük partiküllere ayrılırsa o kadar fazla soğur. Bu nedenle kule içerisine, su akışını yavaşlatıcı ve onu parçalayıcı engeller konur.

Kuru tip soğutma kulelerinde kondenserde ısınmış olan soğutma suyu, üzerinde kanatçıklar bulunan boruların içinden geçer. Boruların dışından akan hava ise bu suyu soğutur. Su boru içinde ve kapalı bir devrede dolaştığından buharlaşma kayıpları yoktur. Bu nedenle kuru tip soğutma kuleleri en kurak yörelerde bile kullanılabilirlerdir.

3.6 Enerji ve Yakıt İhtiyacının Belirlenmesi

Bir sanayi tesisi için kurulması düşünülen termik santralinin kurulu gücü belirlenirken bazı kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kriterler yanma davranışları, yakma teknolojileri, yakıt rezervleri ve temin edilebilirliği, elektrik şebekesinin toplam yük durumu, elektrik satış fiyatı, işletmenin yıllık çalışma süresi ve işletmenin enerji ihtiyacıdır.

Bunların en önemlisi enerji üretim tüketim dengesidir. Sağlıklı bir santral seçimi için mümkünse yıllık, yoksa aylık veya haftalık bazda tüketim değerleri tespit edilmelidir. İlk olarak yıllık ortalama elektrik tüketimine bakılır ve atıl kapasite yaratmayacak şekilde bir kapasite ve üretim yöntemi seçilir. Birinci amaç elektrik tüketimine yönelik kapasite belirlemek olmalıdır. Her ne kadar hazır santral kuruyorum, tüm ısı ihtiyacımı karşılayacak bir kapasite seçeyim, fazla elektriği satarım felsefesi genel olarak pazarımıza hakim olmuşsa da bu şebekenin enerji alış şartlarındaki uygunsuzluk ve ileride fazla kapasite ile karşılaşıldığında şebekenin enerji fazlasını almaması gibi durumlar kabil olduğundan yanlış bir yaklaşımdır. Sistem pazarlamacılarının bu konudaki olası yanlış yönlendirmelerine karşı dikkatli olunmalıdır.

Seçilen sistemden elde edilen fazla elektriği enterkonnekte sisteme satabilmek için otoprodüktörlük lisansına sahip olunması gerekmektedir. Otoprodüktör, kendi faaliyet alanı için elektrik üretmek amacıyla T.C. Ticaret Kanunu'na göre kurulmuş tüzel kişiliğin adıdır. 20.02.2001 tarihinde çıkan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Yasası'na

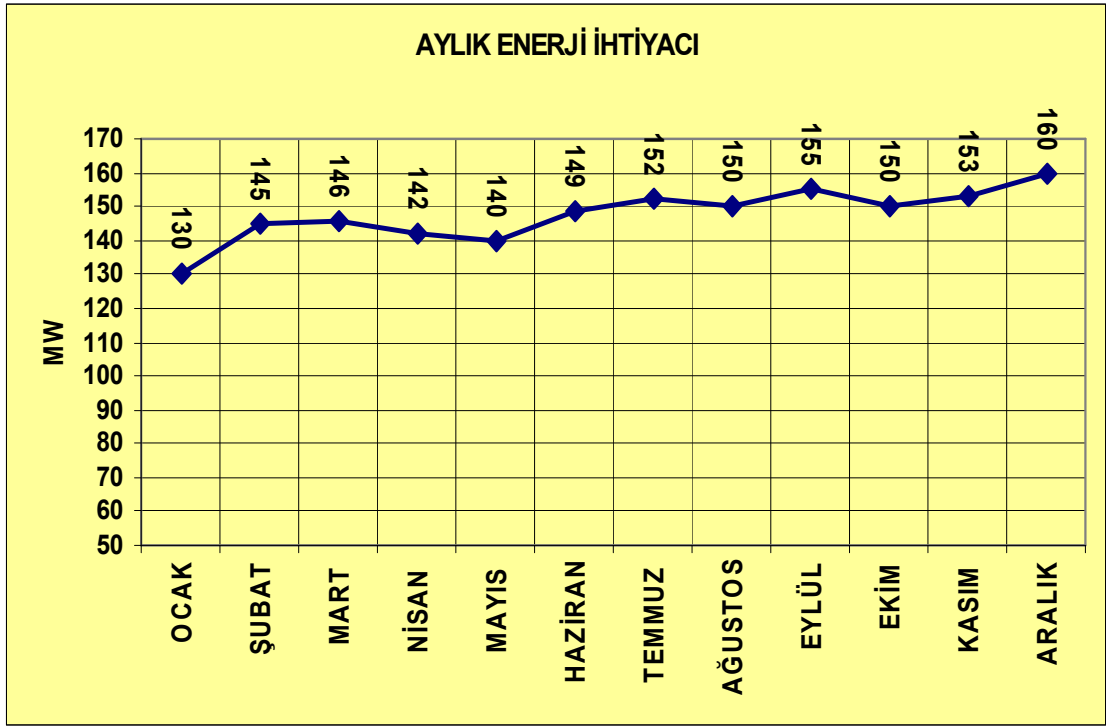
göre bundan böyle Yap – İşlet – Devret (BOT) veya Yap – İşlet (BO) modeline göre santral kurulamayacaktır. Çünkü yasanın amacı, rekabete dayalı serbest elektrik piyasası yaratmaktır. Özel sektör yeni tesislerini kurdukça, TEAŞ'ın elinde bulunan santrallerin, toplam üretim kapasitesi içindeki payı giderek azalacak ve 2010'lu yıllarda % 25'lere gerileyecektir. Böylece enerji piyasası üretim şirketleri ile Otoprodüktörlere kalacaktır. Otoprodüktörlerin % 90'lara varan yüksek verim avantajı, üretim şirketlerininse, yüksek kapasite avantajları olacaktır. Otoprodüktörlüğün dezavantajı ise ancak yıllık üretiminin % 20'si kadar elektriği piyasaya satabilmesidir. Bir başka ifade ile Otoprodüktör Grubu'na dahil olan fabrika sahiplerinin toplam kapasitesi 100 birim ise ancak bunun % 20'si kadarını TEAŞ veya TEDAŞ'a satabilmesine izin verileceği için 120 birimden daha büyük kapasitede kurulamayacaktır.

Örnek olarak incelenecek 3.1 milyon/yıl kapasiteli entegre demir ve çelik tesisinin aylık enerji ihtiyacı Çizelge 3.6 de verilmiştir.

Çizelge 3.6. 3.1 milyon ton çelik üretim kapasitesine sahip entegre demir çelik sanayi tesisinin enerji ihtiyacı

OCAK	130 MW
ŞUBAT	145 MW
MART	146 MW
NİSAN	142 MW
MAYIS	140 MW
HAZİRAN	149 MW
TEMMUZ	152 MW
AĞUSTOS	150 MW
EYLÜL	155 MW
EKİM	150 MW
KASIM	153 MW
ARALIK	160 MW

Çizelge 4.4 de 3.1 milyon ton çelik üretim kapasitesine sahip entegre demir çelik sanayi tesisinin enerji ihtiyacı belirtilmektedir. Bu veriler ışığında tesisin ortalama enerji ihtiyacı 150 MW dır. Bu işletmenin ihtiyacı için 150 MW kapasiteli bir santral yeterlidir.

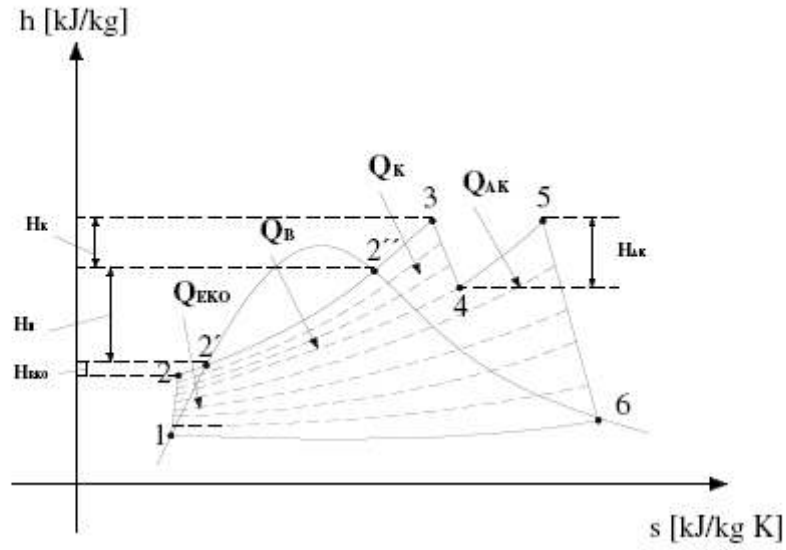


Şekil.3.46 Örnek bir sanayi tesisinin aylık enerji ihtiyacı grafiği

Sistem seçimi ile santral büyüklüğü ve tipini belirledikten sonra kaç modülden oluşacağını tespit etmek gerekmektedir. Burada ilk kısıtlama piyasada mevcut olan modül büyüklüğüdür. Bu problem aşılabildiği zaman ilke olarak en az iki modülden oluşan bir santral yapmak enerji temin güvencesi açısından her zaman tercih edilmelidir.

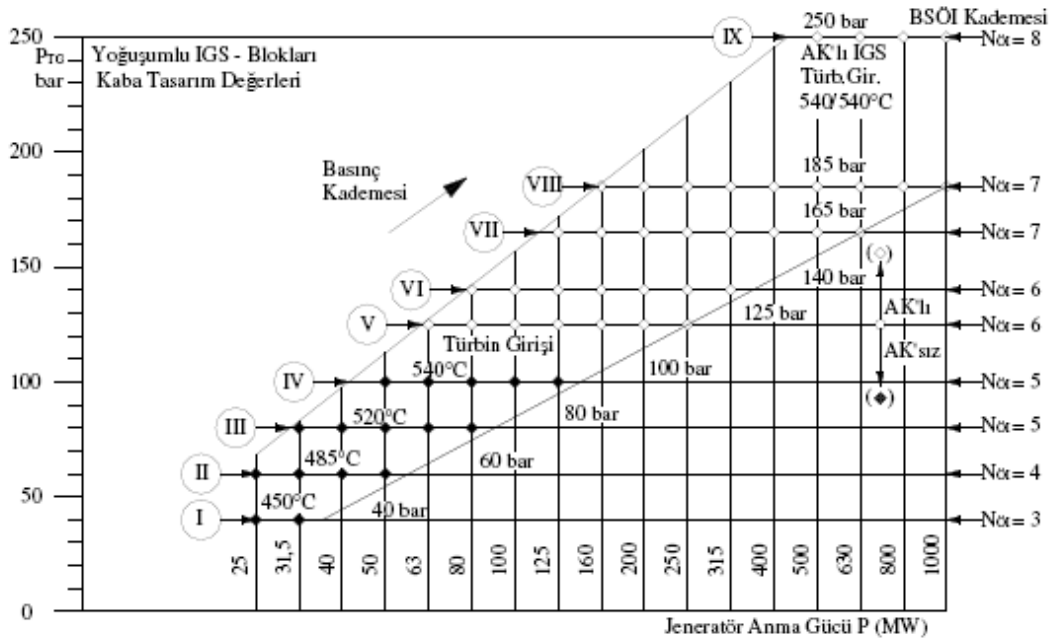
Santral yapısının belirlenebilmesi için öncelikle santralin ısı durumunu ortaya koyabilecek h-s diyagramının çizilebilmesi gerekir. Böylelikle santralin tüm kritik noktalarındaki termodinamik koşullar belirlenebilir

Buradan da anlaşılacağı gibi üretilecek ısının, buna bağlı olarak elektriğin belirlenmesi için iş akışkanımızın (buhar-su) termodinamik koşullarının belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 3.47).



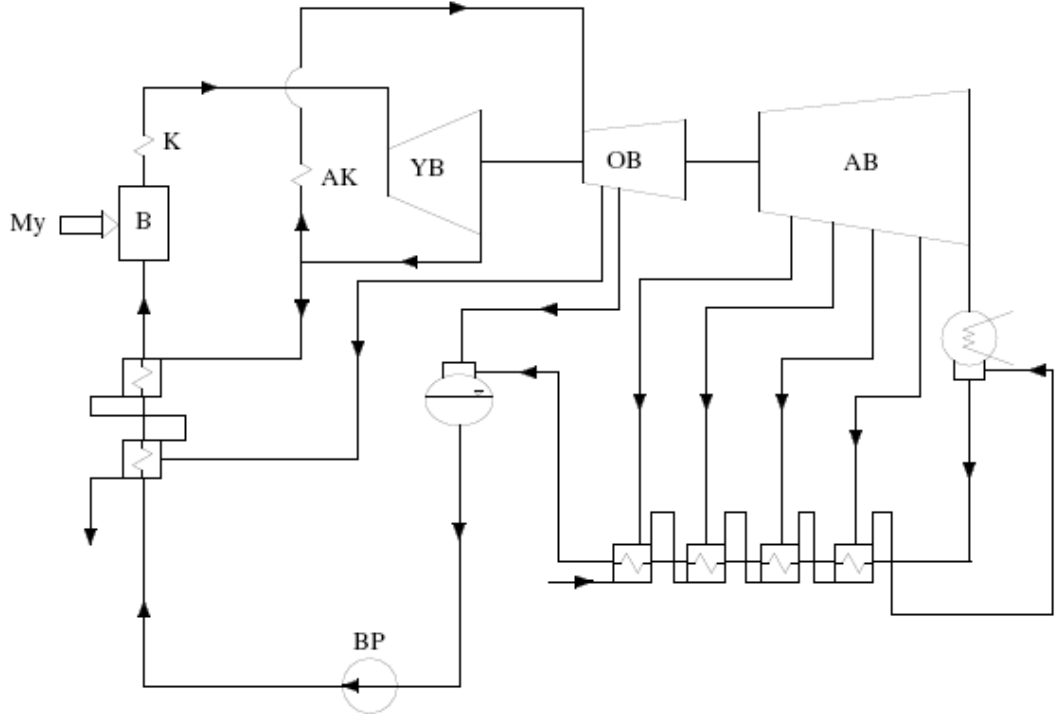
Şekil.3.47. Ara kızdırmalı bir çevrimin $h - s$ diyagramı

Oluşturulacak termik santralin yapısını belirlerken faydalanılacak en önemli kaynak, bütün termodinamik verilere ulaşılabilecek değerlerin de elde edileceği tasarım abağı olacaktır. Bu abak üzerinde, kurulması istenen santralin kurulu gücünün, santral yük durumu (tepe yük, değişken yük, temel yük) ile kesiştirilmesiyle, santralin basınç kademesi belirlenecek ve böylelikle istenilen değerler elde edilebilecektir (Şekil 3.48).



Şekil.3.48. Türbin giriş basıncı - jeneratör anma gücü diyagramı

Bu çalışmada 150 MW kurulu güçte bir santral tasarlanacağı için abağın yedinci basınç kademesindeki değerlerden faydalanılarak termik santral sistem yapısı belirlenebilir. Böylelikle besleme suyu sıcaklığı; kazan çıkış ve ara kızdırıcı çıkış sıcaklıkları; türbin giriş basıncı; türbin, ara kızdırıcı ve yoğuşturucudan geçen buhar-su debileri gibi değerler elde edilebilir.



Şekil.3.49. Termik santral sistem yapısı

P_{TB}	= 165 [bar]	d_{TB}	= 0,825 [(kg/s)/MW]
$P_{KÇ}$	= 173 [bar]	d_{AK}	= 0,759 [(kg/s)/MW]
P_{AKG}	= 42,8 [bar]	d_Y	= 0,514 [(kg/s)/MW]
$P_{AKÇ}$	= 38,5 [bar]	m_{buh}	= 123,75 [kg/s]
T_{BS}	= 250 [°C]	$m_{kız}$	= 123,75 [kg/s]
T_{TB}	= 540 [°C]	m_{ak}	= 113,85 [kg/s]
T_{AK}	= 540 [°C]	m_{eko}	= 123,75 [kg/s]

Şekil 3.47 da görüldüğü gibi ısı üretimi, 2 noktası ile 5 noktası arasında gerçekleşmekte. Bu oluşumu aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

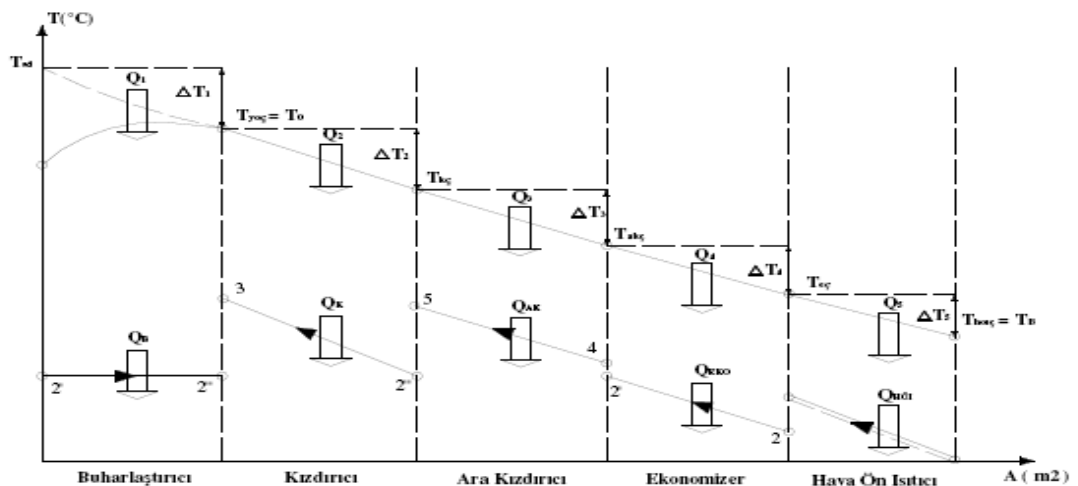
2-2' : Besleme suyu ön ısıtma işlemi (ekonomizer). Bu işlem, buharlaştırma işleminden sonra arta kalan sıcak gazın kullanılmasıyla, yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla yapılır. İş akışkanına uygulandığı nokta ise, ısı akışkanı basıncının en yüksek olduğu yer yani besleme pompası çıkışıdır.

2'-2'' : Buharlaştırma işlemi (buharlaştırıcı). Bu işlem, yakıtın yakılmasıyla elde edilen yüksek ısının ön ısıtılmış besleme suyuna verilmesi ve bu suyun buhar haline dönüştürülmesi şeklinde özetlenebilir. Bu işlem sırasında iş akışkanında faz değişimi gözlemlenir. Kömürden elde edilen ısının en büyük bölümü, bu işlem için harcanır.

2''-3 : Kızdırma işlemi (kızdırıcı). Buharlaştırıcıdan çıkan düşük entalpili yeni buhar, buharlaştırmada kullanılan sıcak gaz yardımıyla kızgın buhara bu bölümde dönüştürülür. Böylelikle yüksek ısı düşü potansiyeli elde edilmiş olur.

4-5 : Ara kızdırma işlemi (ara kızdırıcı). İş akışkanının büyük bir kısmı türbinden alınarak, dış ortama göre hala yüksek sıcaklığa sahip olan yanma gazı yardımıyla tekrar ısıtılır. Böylelikle yeni bir ısı düşü potansiyeli elde edilerek verimlilik artırılmış olur.

Genel olarak anlaşıldığı üzere ısı ihtiyacının karşılanmasına yönelik temel kaynak, yüksek sıcaklığa sahip yanma gazı olacaktır. Yanma gazının kullanılabilirliğinin artırılması, genel enerji verimliliğinin de artırılmasını sağlamaktadır. Ancak yanma gazının kullanılmasının da belli bir alt sınırı bulunmaktadır. Yanma gazının dış ortam sıcaklığında değil de yaklaşık 150 (°C) civarında salınması gerekmektedir. Aksi takdirde düşük sıcaklıktaki gazın geçtiği bölümlerde kükürt kaynaklı asit korozyonu görülecektir. Bu da işletme ömrünü kısaltacağından istenmeyen bir durum teşkil edecektir. Yanma gazı ısısının 5 farklı amaç için kullanımı Şekil 3.50'te görülmektedir.



Şekil.3.50. Santral kazanında yanma gazı ile ısı akışkanı arasındaki ısı aktarımını gösteren T-A diyagramı

Burada $Q_1=Q_B$, $Q_2=Q_K$, $Q_3=Q_{AK}$, $Q_4=Q_{EKO}$ ve $Q_5=Q_{HÖI}$ olacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Bu bilgiler ışığında kritik noktalar için entalpi değerleri;

2 noktası için

$$T_2 = 250 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$C_{p2} = 4,18 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{C)}$$

$$h_2 = C_{p2} \times T_2 = 1045 \text{ (kJ/kg)}$$

2'' noktası için

$$T_{2''} = 350 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$x = 1$$

$$h_{2''} = 2600 \text{ [kJ/kg] (Mollier'den)}$$

4 noktası için

$$T_4 = 360 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P_4 = 42,8 \text{ [bar]}$$

$$h_4 = 3105 \text{ [kJ/kg] (Mollier'den)}$$

3 noktası için

$$T_3 = 250 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$P_3 = 165 \text{ (bar)}$$

$$h_3 = 3400 \text{ (kJ/kg) (Mollier'den)}$$

2' noktası için

$$T_{2'} = 350 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$C_{p2'} = 4,18 \text{ [kJ/kg}^\circ\text{C]}$$

$$h_{2'} = C_{p2'} \cdot T_{2'} = 1463 \text{ [kJ/kg]}$$

5 noktası için

$$T_5 = 540 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P_5 = 38,5 \text{ [bar]}$$

$$h_5 = 3545 \text{ [kJ/kg] (Mollier'den)}$$

Termodinamik koşulların belirlenmesinin ardından kazan ısı yükleri, sırasıyla aşağıdaki şekilde belirlenebilir:

$$Q_{buh} = m_{buh} \text{ [kg/s]} \times (h_{2''} - h_{2'}) \text{ [kJ/kg]} = 140703,75 \text{ (kW)} \quad (3.30)$$

$$Q_{kız} = m_{kız} \text{ [kg/s]} \times (h_3 - h_{2''}) \text{ [kJ/kg]} = 99000 \text{ (kW)} \quad (3.31)$$

$$Q_{ak} = m_{ak} \text{ [kg/s]} \times (h_5 - h_4) \text{ [kJ/kg]} = 50094 \text{ (kW)} \quad (3.32)$$

$$Q_{eko} = m_{eko} \text{ [kg/s]} \times (h_{2'} - h_2) \text{ [kJ/kg]} = 51727,5 \text{ (kW)} \quad (3.33)$$

Bu ısı yüklerinin toplamı olarak toplam kazan ısı yükü ise aşağıdaki gibidir:

$$Q_{kazan} = Q_{buh} + Q_{kız} + Q_{ak} + Q_{eko} = 341525,25 \text{ (kW)}$$

(4.34)

Kazan ısı verimi, kazanda üretilmesi istenen ısı yükünün, yakıtın kayıpsız verebileceği maksimum ısıya oranıyla bulunur.

$$\eta_k = \frac{Q_{kazan}}{M_y H_u} \times 100 \quad (3.35)$$

M_y [kg-yakıt/h] :Yakıt debisi

Buradan da görüldüğü gibi kazan çıkışında istenilen ısının elde edilebilmesi aşamasında temel kayıplar söz konusu olmakta. Bu kayıplar, yanma kaynaklı ve kazan kaynaklı olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Kazan kaynaklı kayıplar ise, yüksek sıcaklıkta salınan baca gazı kaybı (K_B), yalıtım kaybı (K_{KK}) ve işletme bakım-onarım kayıpları (K_i) şeklinde sıralanabilir. Bu kayıplar da dahil edildiğinde kazan genel kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\eta_K = \eta_Y - (K_B + K_{KK} + K_i) \quad (3.36)$$

Bu çalışmada tasarımda standart kayıplar olarak hesaba katılan yalıtım kaybı ve işletme kaybı % 0,5 olarak, yüksek sıcaklıkta salınan baca gazı kaybı % 10 olarak alınmıştır.

Çizelge 3.7. Bazı yakıtların ısı değerleri ve verimleri (Anonim, 2008)

Yakıt	Isıl değeri	η_Y	η_K
Fuel - Oil	9.562 kcal/kg	80	70
Doğal Gaz	8.250 kcal/m ³	93	83
LPG	11.000 kcal/kg	92	82
Yerli Linyit	4.640 kcal/kg	60	50
Kömür	7.000 kcal/kg	65	55

Kazanın istenilen ısı yükü karşılayabilmesi için ihtiyaç duyduğu yakıt debisi;

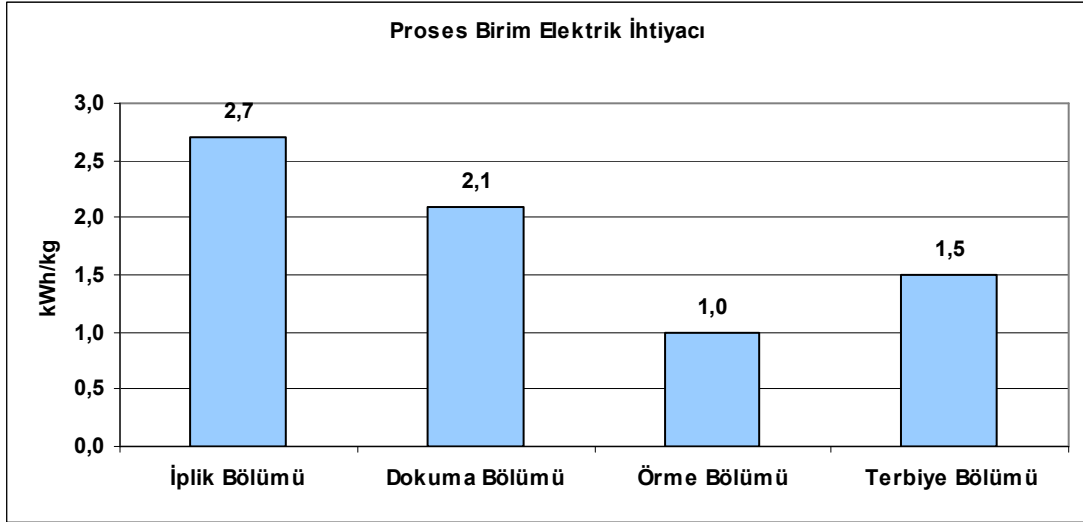
$$M_y = \frac{Q_{kazan}}{H_u \eta_k} \quad (\text{kg yakıt/h}) \quad (3.37)$$

Çizelge 3.8. de yukarıdaki formül kullanılarak 150 MW enerji üretmek için kullanılan yakıt miktarları gösterilmektedir. Hesaplamalarda 1 kcal = 4,168 kj olarak alınmıştır.

Çizelge 3.8. 150 MW enerji üretmek için gerekli yakıt miktarları

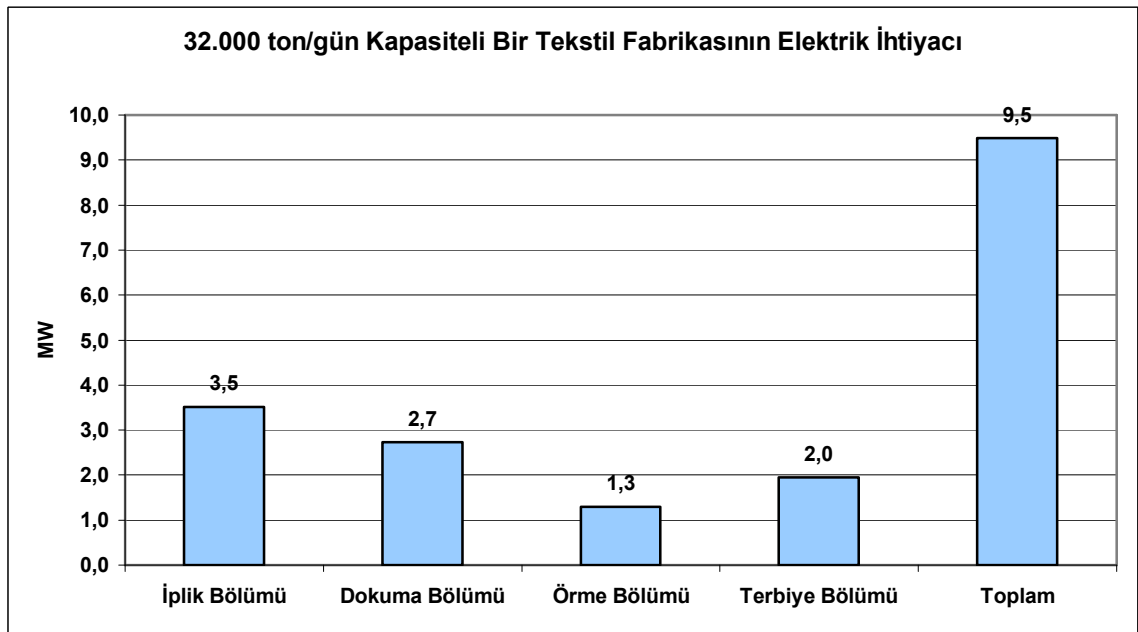
Yakıt	
Fuel – Oil	44 t/h
Doğal Gaz	43 10 ³ m ³ /h
LPG	32 t/h
Yerli Linyit	127 t/h
Kömür	76,6 t/h

Gaziantep bölgesinde kurulu olan 32.000 ton/gün kapasiteli bir tekstil fabrikası iplik, dokuma, örme ve terbiye bölümlerinden oluşmaktadır. Bu tesisin ortalama enerji ihtiyacı 9,5 MW' dır.



Şekil 3.51. Proses birim elektrik ihtiyacı

Şekil 3.51 de tekstil fabrikasında proseslerde kullanılan birim elektrik ihtiyacı belirtilmektedir. Şekilde ki belirtilen enerji ihtiyacına göre işletmenin saatlik enerji ihtiyacı şekil 3.52 da gösterilmektedir.



Şekil 3.52. 32.000 ton/gün kapasiteli bir tekstil fabrikasının elektrik ihtiyacı

Şekil 3.52 da belirtildiği üzere bu işletmenin 9,5 MW olan enerji ihtiyacını karşılamak için Fransız yapımı yüksek basınç kondenser soğutmalı Thermodyn marka 9,5 MW'lık bir türbin dizayn edilmiştir. Dizayn edilen santralin değerleri aşağıda verilmiştir (Anonim, 2008b).

P_{TB}	= 165 [bar]	d_{TB}	= 0,712 [(kg/s)/MW]
$P_{KÇ}$	= 173 [bar]	d_{AK}	= 0,655 [(kg/s)/MW]
P_{AKG}	= 42,8 [bar]		
$P_{AKÇ}$	= 38,5 [bar]	m_{buh}	= 6,764 [kg/s]
T_{BS}	= 250 [°C]	$m_{kız}$	= 6,764 [kg/s]
T_{TB}	= 540 [°C]	m_{ak}	= 6,22 [kg/s]
T_{AK}	= 540 [°C]	m_{eko}	= 6,764 [kg/s]

Termodinamik koşulların belirlenmesinin ardından kazan ısı yükleri, sırasıyla aşağıdaki şekilde belirlenebilir:

$$Q_{buh} = m_{buh} [\text{kg/s}] \times (h_2'' - h_2') [\text{kJ/kg}] = 7690,668 \text{ (kW)} \quad (3.38)$$

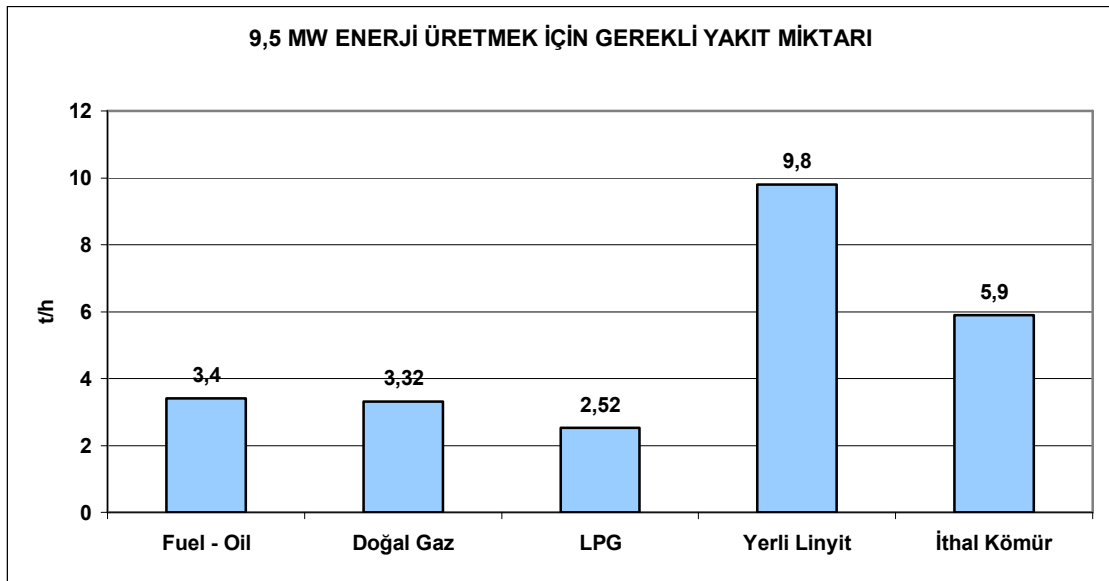
$$Q_{kız} = m_{kız} [\text{kg/s}] \times (h_3 - h_2'') [\text{kJ/kg}] = 5411,2 \text{ (kW)} \quad (3.39)$$

$$Q_{ak} = m_{ak} [\text{kg/s}] \times (h_5 - h_4) [\text{kJ/kg}] = 2736,8 \text{ (kW)} \quad (3.40)$$

$$Q_{eko} = m_{eko} [\text{kg/s}] \times (h_2' - h_2) [\text{kJ/kg}] = 10518,02 \text{ (kW)} \quad (3.41)$$

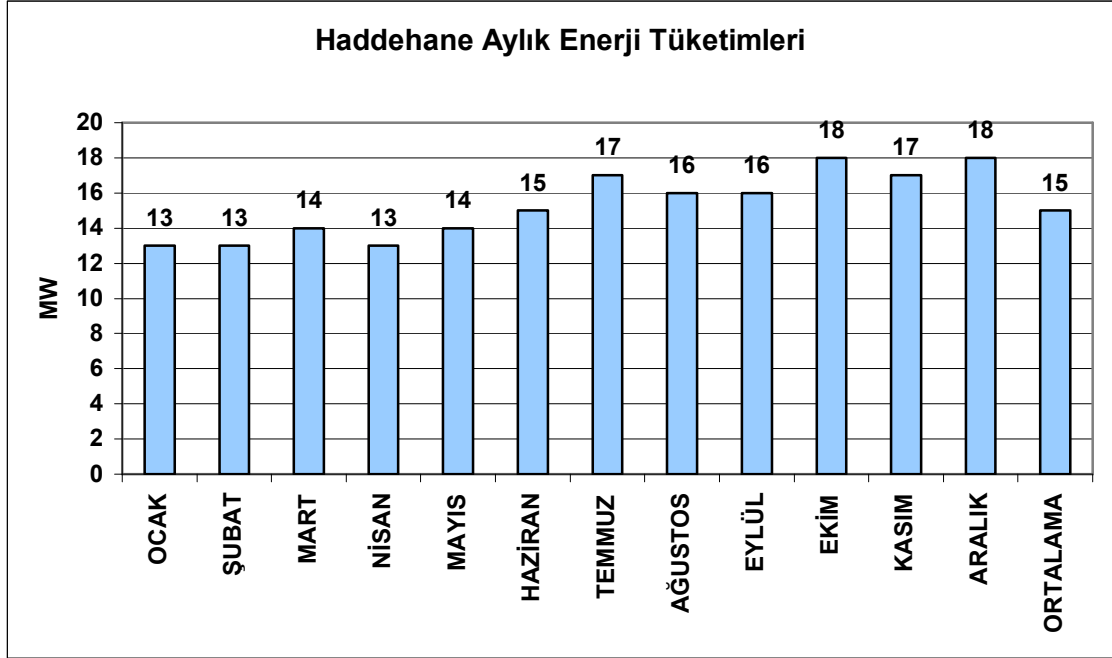
Bu ısı yüklerinin toplamı olarak toplam kazan ısı yükü ise aşağıdaki gibidir:

$$Q_{kazan} = Q_{buh} + Q_{kız} + Q_{ak} + Q_{eko} = 26356,688 \text{ (kW)} \quad (3.42)$$



Şekil 3.53. 9,5 MW enerji üretmek için gerekli yakıt miktarları

İskenderun bölgesinde kurulmuş olan 450.000 ton/yıl kapasiteli bir haddehanenin aylık enerji tüketimi şekil 3.54 de verilmiştir.



Şekil 3.54. 450.000 ton/yıl kapasiteli bir haddehanenin aylık enerji tüketimi

Şekil 3.54 deki veriler ışığında tesisin ortalama enerji ihtiyacı 15 MW ve en yüksek yükü 18 MW olarak görülmektedir. Bu tesis için pik yük ile ortalama yük arasında fazla bir fark olmamasından dolayı pik yüke göre yani 18 MW'lık bir santralin kurulması uygundur. Bu tesisin dizayn değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
 P_{TB} &= 165 \text{ [bar]} & d_{TB} &= 0,47 \text{ [(kg/s)/MW]} \\
 P_{KÇ} &= 173 \text{ [bar]} & d_{AK} &= 0,42 \text{ [(kg/s)/MW]} \\
 P_{AKG} &= 42,8 \text{ [bar]} & m_{buh} &= 8,46 \text{ [kg/s]} \\
 P_{AKÇ} &= 38,5 \text{ [bar]} & m_{kız} &= 8,46 \text{ [kg/s]} \\
 T_{BS} &= 250 \text{ [}^\circ\text{C]} & m_{ak} &= 7,56 \text{ [kg/s]} \\
 T_{TB} &= 540 \text{ [}^\circ\text{C]} & m_{eko} &= 8,46 \text{ [kg/s]} \\
 T_{AK} &= 540 \text{ [}^\circ\text{C]} & &
 \end{aligned}$$

Termodinamik koşulların belirlenmesinin ardından kazan ısı yükleri, sırasıyla aşağıdaki şekilde belirlenebilir:

$$Q_{buh} = m_{buh} \text{ [kg/s]} \times (h_2'' - h_2') \text{ [kJ/kg]} = 9619,02 \text{ (kW)} \quad (3.43)$$

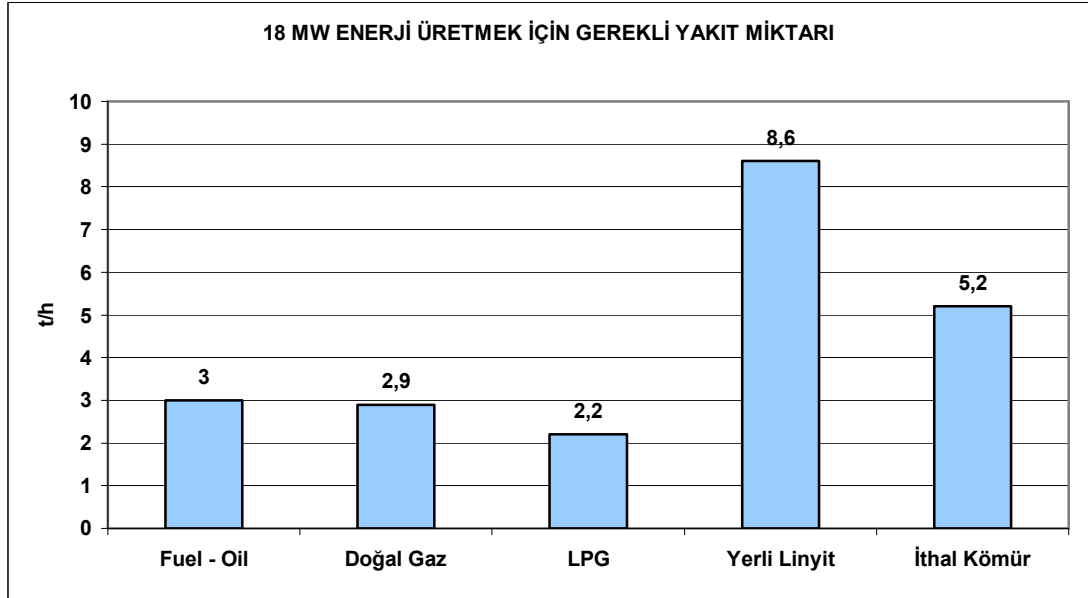
$$Q_{kız} = m_{kız} \text{ [kg/s]} \times (h_3 - h_2'') \text{ [kJ/kg]} = 6768 \text{ (kW)} \quad (3.44)$$

$$Q_{ak} = m_{ak} [kg/s] \times (h_5 - h_4) [kJ/kg] = 3326,4 \text{ (kW)} \quad (3.45)$$

$$Q_{eko} = m_{eko} [kg/s] \times (h_2' - h_2) [kJ/kg] = 3536,28 \text{ (kW)} \quad (3.46)$$

Bu ısıl yüklerin toplamı olarak toplam kazan ısıl yükü ise aşağıdaki gibidir:

$$Q_{kazan} = Q_{buh} + Q_{kız} + Q_{ak} + Q_{eko} = 23249,688 \text{ (kW)} \quad (3.47)$$

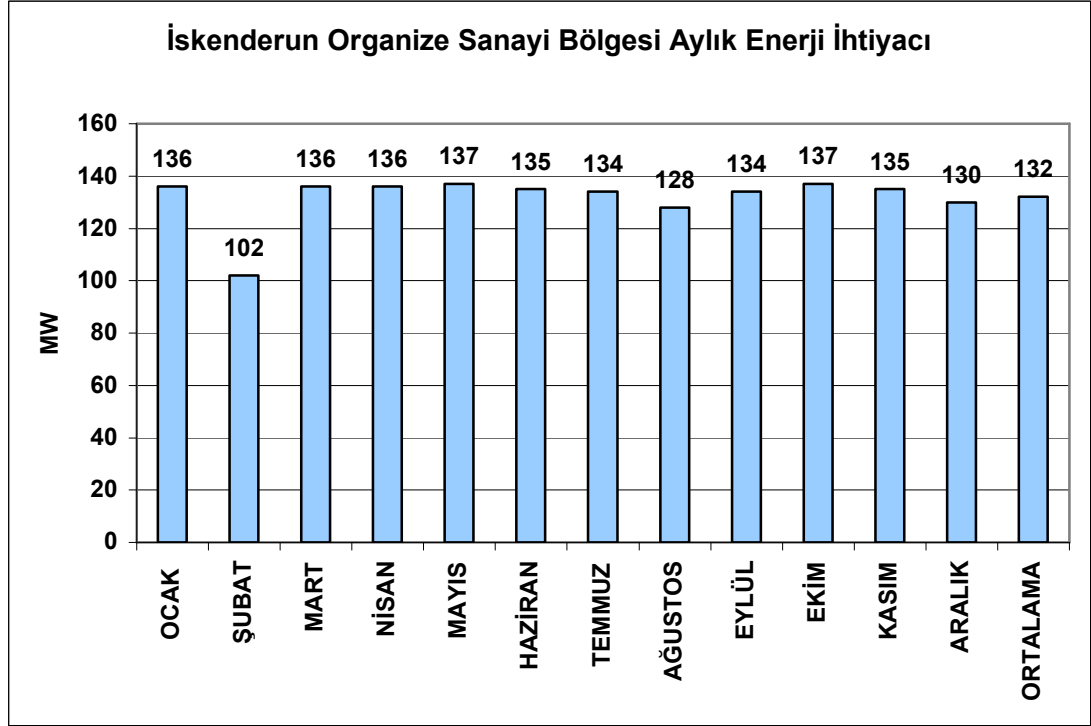


Şekil 3.55. 450.000 ton/yıl kapasiteli bir haddehane için dizayn edilen santralin yakıt değerleri

Sanayi kuruluşlarının ulaşım, enerji, yakıt, su vb. altyapı ve gereksimleri ile ilgili bir arada bulunduran, planlanan sanayi bölgelerine Organize Sanayi Bölgesi denir. Üretimin sürekliliği için kesintisiz bir enerji kaynağının bulunması gerekmektedir. Ayrıca günümüz rekabet ortamında enerji, maliyetleri etkileyen en önemli kalemlerden birini oluşturmaktadır. Enerjinin ucuza üretilmesi rekabet ortamında üreticilere büyük bir avantaj sağlamaktadır.

İskenderun bölgesinde 114 hektar alan üzerine kurulan olan İskenderun Organize Sanayi Bölgesinde 47 adet firma ve bu firmalarda çalışan 4323 personel bulunmaktadır. İskenderun Organize sanayi bölgesinde ağırlıklı olarak kütük ve inşaat demiri, çelik ve galvaniz boru, filtre imalat, damper silobas ve makine imalat sanayi bulunmaktadır. Ülkemizde lokomotif sektörler içerisinde bulunan demir çelik sanayi İskenderun Organize Sanayi bölgesinde birinci ağırlıklı sektör olarak görülmektedir. Demir çelik sektöründe en önemli maliyet kaleminin enerji olmasının yanında yaşanan

enerji kesintileri ciddi hasarlara sebep olmaktadır. Şekil 3.56 de İskenderun Organize Sanayi Bölgesinin 2008 yılı fiili ve tahmini enerji tüketimleri verilmektedir (Anonim, 2008c).



Şekil 3.56. İskenderun organize sanayi bölgesi aylık enerji ihtiyacı

Şekil 3.56 deki veriler ışığında tesislerin ortalama enerji ihtiyacı 132 MW ve pik yükü 137 MW olarak görülmektedir. Bu tesisler için Şubat ve Ağustos ayı değerleri ortalamayı düşürmektedir bu değerler çıkartılarak düşünülür ise 135 MW'lık bir santralin kurulması uygundur. Bu tesisin dizayn değerleri aşağıdaki gibidir.

$$P_{TB} = 165 \text{ [bar]}$$

$$P_{KÇ} = 173 \text{ [bar]}$$

$$P_{AKG} = 42,8 \text{ [bar]}$$

$$P_{AKÇ} = 38,5 \text{ [bar]}$$

$$T_{BS} = 250 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$T_{TB} = 540 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$T_{AK} = 540 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$d_{TB} = 0,830 \text{ [(kg/s)/MW]}$$

$$d_{AK} = 0,766 \text{ [(kg/s)/MW]}$$

$$m_{buh} = 112,05 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{kız} = 112,05 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{ak} = 103,41 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{eko} = 112,05 \text{ [kg/s]}$$

Termodinamik koşulların belirlenmesinin ardından kazan ısı yükleri, sırasıyla aşağıdaki şekilde belirlenebilir:

$$Q_{\text{buh}} = m_{\text{buh}} [\text{kg/s}] \times (h_2'' - h_2') [\text{kJ/kg}] = 127400,85 \text{ (kW)} \quad (3.48)$$

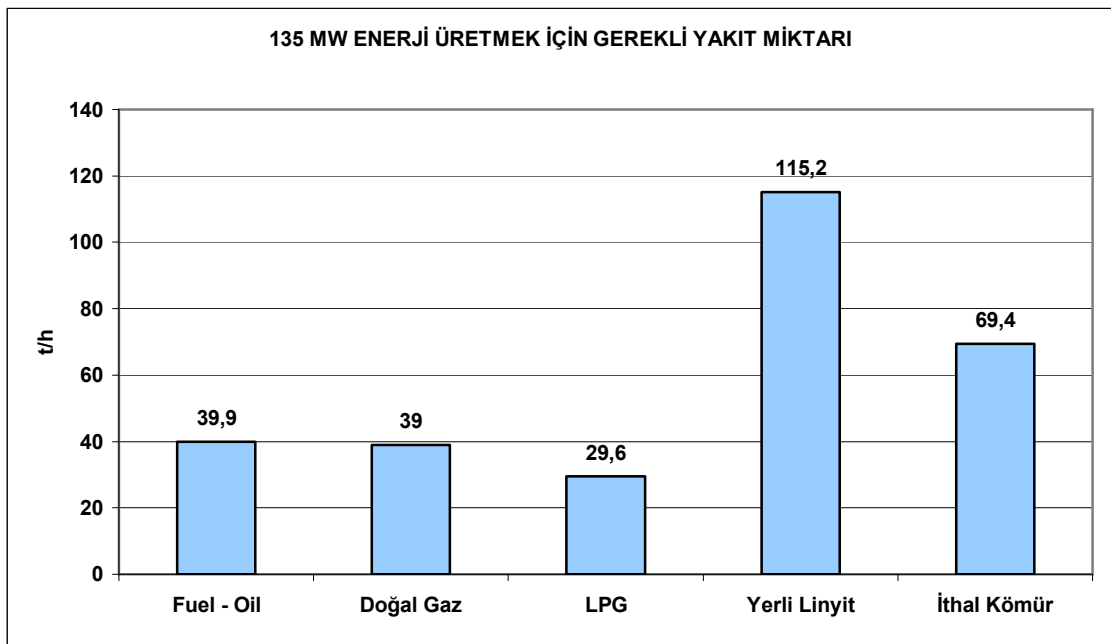
$$Q_{\text{kız}} = m_{\text{kız}} [\text{kg/s}] \times (h_3 - h_2'') [\text{kJ/kg}] = 89640 \text{ (kW)} \quad (3.49)$$

$$Q_{\text{ak}} = m_{\text{ak}} [\text{kg/s}] \times (h_5 - h_4) [\text{kJ/kg}] = 45500,4 \text{ (kW)} \quad (3.50)$$

$$Q_{\text{eko}} = m_{\text{eko}} [\text{kg/s}] \times (h_2' - h_2) [\text{kJ/kg}] = 46836,9 \text{ (kW)} \quad (3.51)$$

Bu ısı yüklerinin toplamı olarak toplam kazan ısı yükü ise aşağıdaki gibidir:

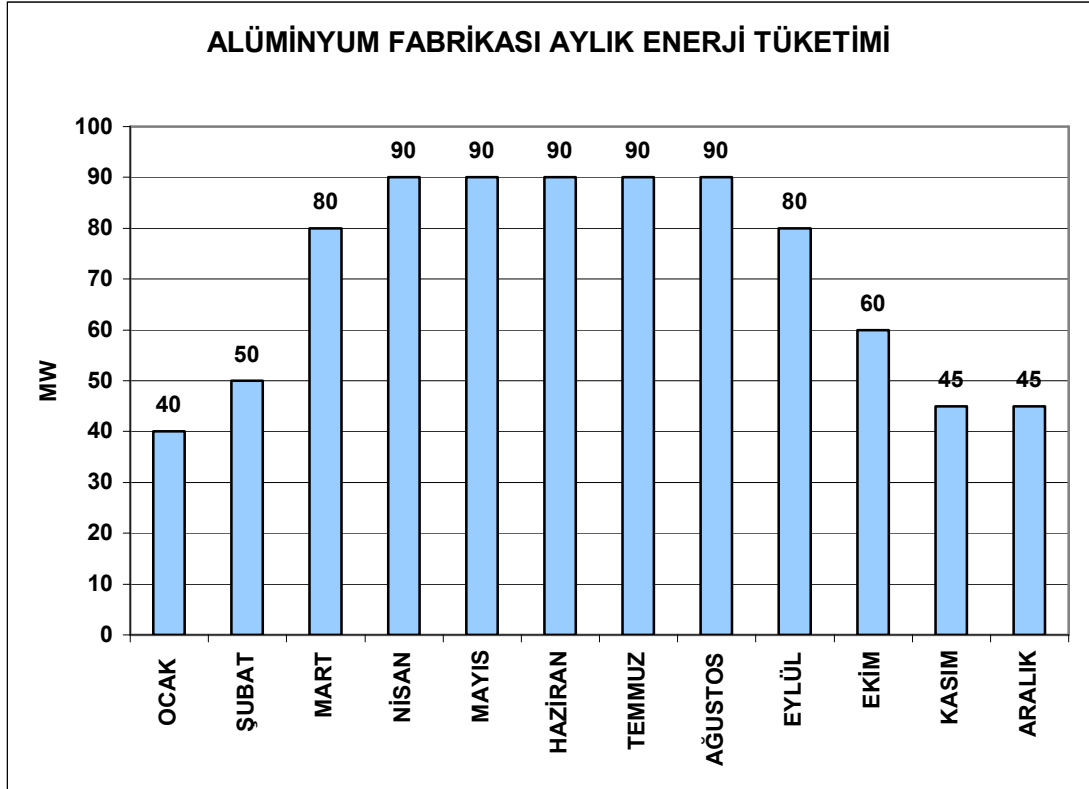
$$Q_{\text{kazan}} = Q_{\text{buh}} + Q_{\text{kız}} + Q_{\text{ak}} + Q_{\text{eko}} = 309378,15 \text{ (kW)} \quad (3.52)$$



Şekil 3.57. İskenderun OSB 135 MW enerji için gerekli yakıt miktarı

60.000 ton/yıl kapasiteli alüminyum fabrikasının aylık enerji tüketim değerleri grafiği Şekil 3.58 de verilmiştir. Tüketim grafiğinde de görüldüğü gibi aylar arasında tüketim miktarları büyük farklılıklar göstermektedir. Aylık tüketimleri arasında büyük farklılıklar bulunan bu tip işletmelere iki modüllü santrallerin kurulması daha uygun olmaktadır. Şekil 3.58 de belirtildiği gibi tesisin maksimum enerji tüketimi 90 MW' dır. Fakat bazı aylarda tüketim 45 MW' a kadar düşmektedir. açıklanan nedenlerden dolayı bu tesise 50 MW' lık iki adet türbin kurularak tüketimin düşük olduğu aylarda tek türbin, tüketimin yüksek olduğu aylarda çift türbin çalışması gerekmektedir. Bu sayede

düşük tüketim zamanlarında hem sistem yedeklenmiş olup hem de sistemin düşük yüklerden dolayı verim ve yatırım kaybı engellenmiş olmaktadır.



Şekil 3.58. Alüminyum fabrikası aylık enerji tüketimi

Bu tesisin dizayn değerleri aşağıdaki gibidir. Değerler her bir 50 MW'lık buhar türbinine aittir.

P_{TB}	= 165 [bar]	d_{TB}	= 0,410 [(kg/s)/MW]
$P_{KÇ}$	= 173 [bar]	d_{AK}	= 0,369 [(kg/s)/MW]
P_{AKG}	= 42,8 [bar]	m_{buh}	= 36,9 [kg/s]
$P_{AKÇ}$	= 38,5 [bar]	$m_{kız}$	= 36,9 [kg/s]
T_{BS}	= 250 [°C]	m_{ak}	= 33,21 [kg/s]
T_{TB}	= 540 [°C]	m_{eko}	= 36,9 [kg/s]
T_{AK}	= 540 [°C]		

Termodinamik koşulların belirlenmesinin ardından kazan ısı yükleri, sırasıyla aşağıdaki şekilde belirlenebilir:

$$Q_{buh} = m_{buh} [\text{kg/s}] \times (h_2'' - h_2') [\text{kJ/kg}] = 41955,3 \quad (\text{kW}) \quad (3.48)$$

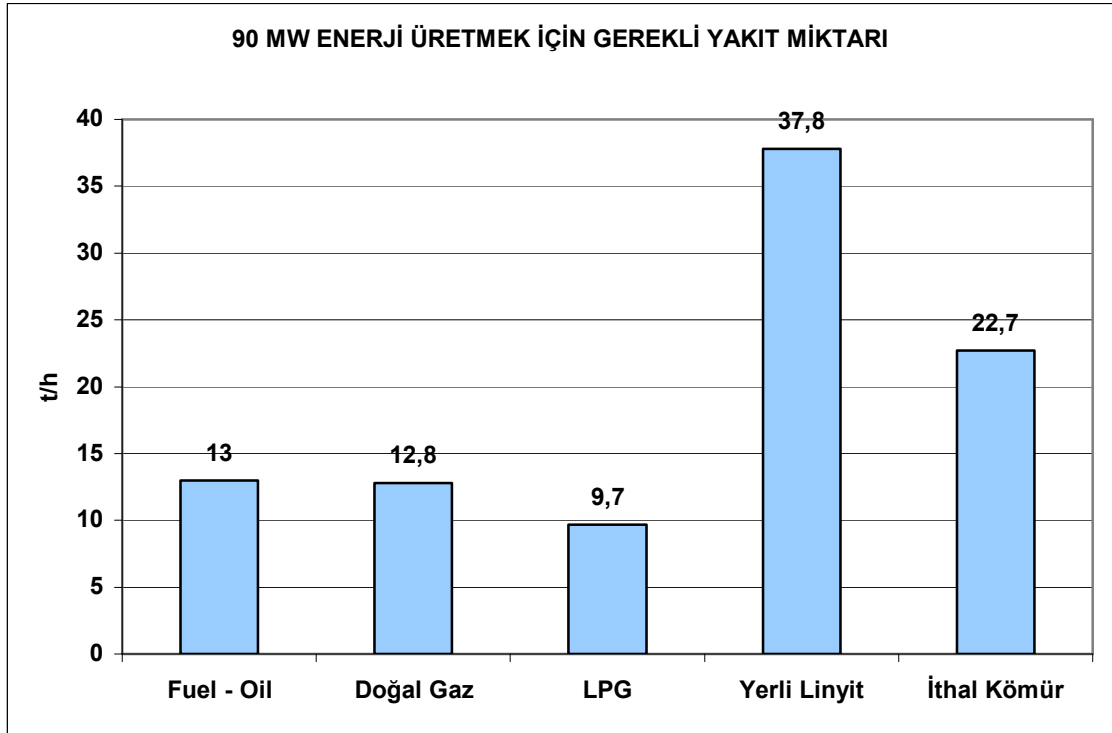
$$Q_{kız} = m_{kız} [\text{kg/s}] \times (h_3 - h_2'') [\text{kJ/kg}] = 29520 \text{ (kW)} \quad (3.49)$$

$$Q_{ak} = m_{ak} [\text{kg/s}] \times (h_5 - h_4) [\text{kJ/kg}] = 14612,4 \text{ (kW)} \quad (3.50)$$

$$Q_{eko} = m_{eko} [\text{kg/s}] \times (h_2' - h_2) [\text{kJ/kg}] = 15424,2 \text{ (kW)} \quad (3.51)$$

Bu ısı yüklerinin toplamı olarak toplam kazan ısı yükü ise aşağıdaki gibidir:

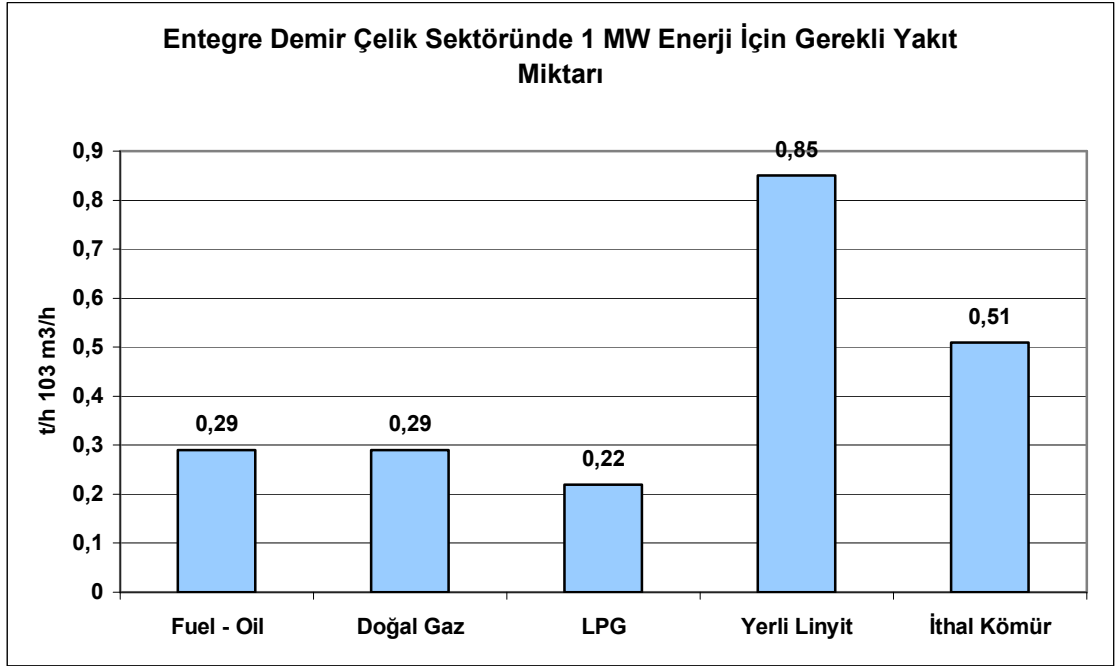
$$Q_{kazan} = Q_{buh} + Q_{kız} + Q_{ak} + Q_{eko} = 101511,9 \text{ (kW)} \quad (3.52)$$



Şekil 3.59 Alüminyum fabrikası 90 MW enerji için gerekli yakıt miktarı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bir işletme için uygun santral tipi ve yakıtı seçimi için yakıtın temin kolaylığı ve işletme maliyetinin öneminden önceki bölümlerde belirtilmiştir. Çizelge 3.7 de verilen değerler ışığında 1 MW enerji elde etmek için gerekli yakıt miktarları Şekil 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4.1. Entegre demir çelik tesisinde 1 MW enerji için gerekli yakıt miktarları

Şekil 4.1 de verilmiş olan değerler ile Çizelge 4.1 de belirtilen yakıtların birim fiyatları çarpıldığında 1 MW enerjinin yakıt maliyeti ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.1. Yakıtların birim fiyatları (Anonim, 2008)

Yakıt	Birim Fiyatı
Fuel - Oil	109,322 YTL/Ton
Doğal Gaz	47.87 Ytl/ 10 ³ m ³
LPG	229,091 YTL/Ton
Yerli Linyit	29,8 YTL/Ton
Kömür (ithal)	32.203 YTL/Ton

Şekil 4.1 deki yakıt miktarları ile Çizelge 5.2 deki yakıtların birim fiyatları çarpıldığında ortaya çıkan birim enerji maliyetleri şekil 5.2 de gösterilmiştir.

$$\text{Birim Enerji Maliyeti} = \text{Yakıt miktarı} \times \text{yakıtın birim fiyatı} \quad (4.1)$$

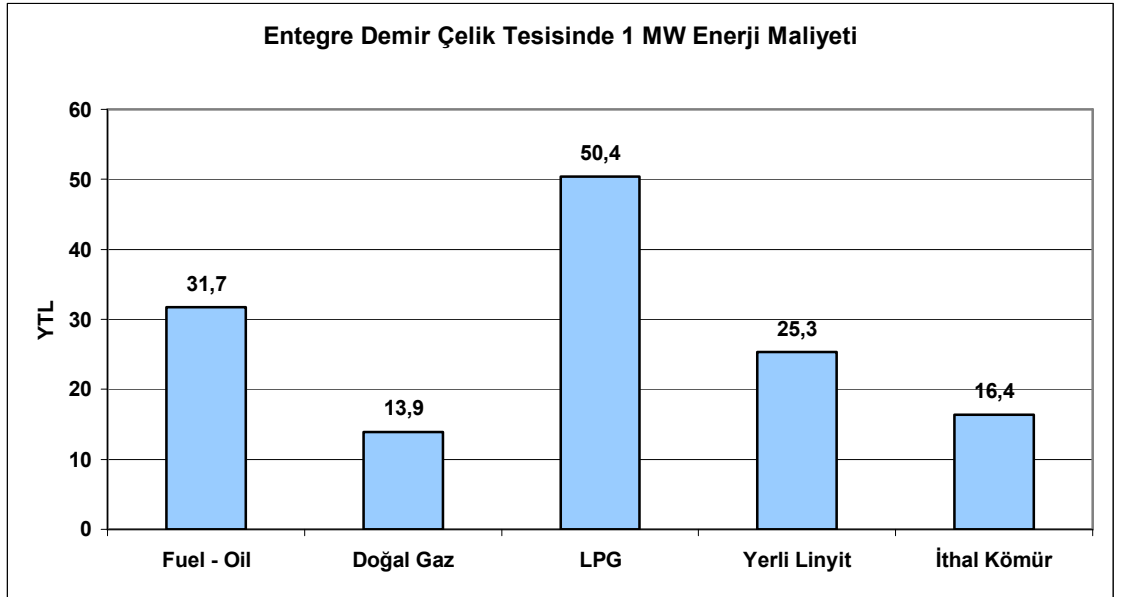
$$\text{Fuel - Oil için birim enerji maliyeti} = 0,29 \times 109,322 = 31,7 \text{ YTL} \quad (4.2)$$

$$\text{Doğal Gaz için birim enerji maliyeti} = 0,29 \times 47,87 = 13,9 \text{ YTL} \quad (4.3)$$

$$\text{LPG için birim enerji maliyeti} = 0,22 \times 229,091 = 50,4 \text{ YTL} \quad (4.4)$$

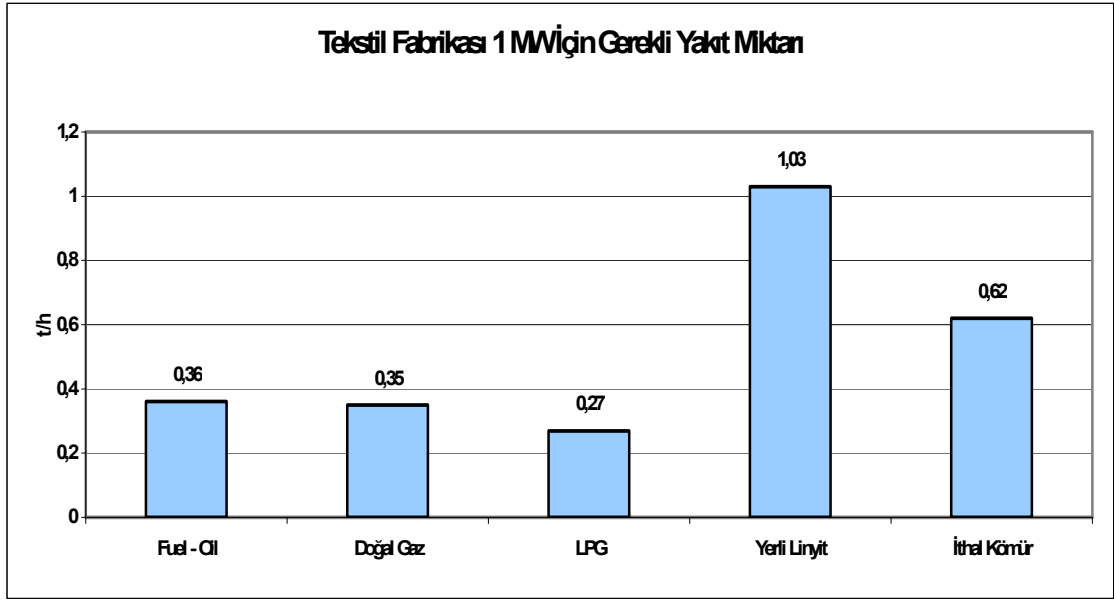
$$\text{Yerli Linyit için birim enerji maliyeti} = 0,85 \times 29,8 = 25,3 \text{ YTL} \quad (4.5)$$

$$\text{Kömür için birim enerji maliyeti} = 0,51 \times 32,203 = 16,4 \text{ YTL} \quad (4.6)$$



Şekil 4.2 Entegre demir çelik tesisinde birim enerji maliyetleri

Şekil 4.3 deki yakıt miktarları ile Çizelge 4.1 deki yakıtların birim fiyatları çarpıldığında ortaya çıkan birim enerji maliyetleri Şekil 4.4 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tekstil fabrikası 1 MW enerji üretmek için gerekli yakıt miktarı

$$\text{Birim Enerji Maliyeti} = \text{Yakıt miktarı} \times \text{yakıtın birim fiyatı} \quad (4.7)$$

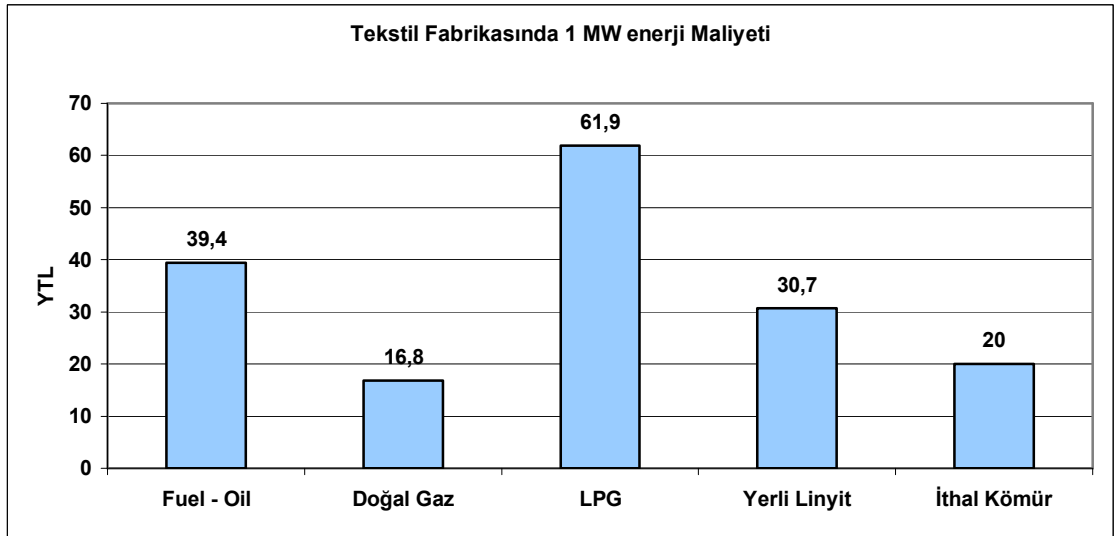
$$\text{Fuel - Oil için birim enerji maliyeti} = 0,36 \times 109,322 = 39,4 \text{ YTL} \quad (4.8)$$

$$\text{Doğal Gaz için birim enerji maliyeti} = 0,35 \times 47,87 = 16,8 \text{ YTL} \quad (4.9)$$

$$\text{LPG için birim enerji maliyeti} = 0,27 \times 229,091 = 61,9 \text{ YTL} \quad (4.10)$$

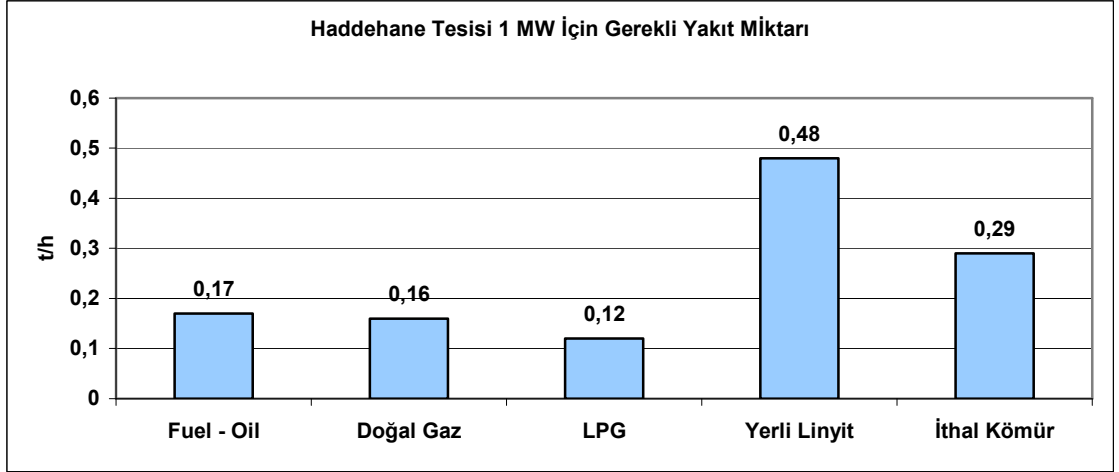
$$\text{Yerli Linyit için birim enerji maliyeti} = 1,03 \times 29,8 = 30,7 \text{ YTL} \quad (4.11)$$

$$\text{Kömür için birim enerji maliyeti} = 0,62 \times 32,203 = 20 \text{ YTL} \quad (4.12)$$



Şekil 4.4. Tekstil fabrikası birim enerji maliyeti

450.000 ton/yıl kapasiteli haddehane için dizayn edilen santral için Şekil 4.5 deki yakıt miktarları ile Çizelge 4.1 deki yakıtların birim fiyatları çarpıldığında ortaya çıkan birim enerji maliyetleri Şekil 4.6 de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Bir haddehane 1 MW enerji üretmek için gerekli yakıt miktarı

$$\text{Birim Enerji Maliyeti} = \text{Yakıt miktarı} \times \text{yakıtın birim fiyatı} \quad (4.13)$$

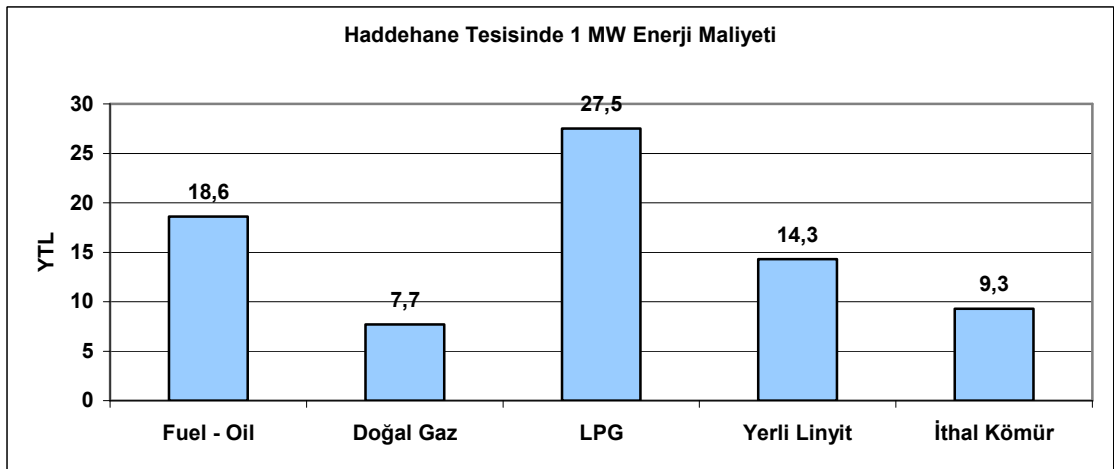
$$\text{Fuel - Oil için birim enerji maliyeti} = 0,17 \times 109,322 = 18,6 \text{ YTL} \quad (4.14)$$

$$\text{Doğal Gaz için birim enerji maliyeti} = 0,16 \times 47,87 = 7,7 \text{ YTL} \quad (4.15)$$

$$\text{LPG için birim enerji maliyeti} = 0,12 \times 229,091 = 27,5 \text{ YTL} \quad (4.16)$$

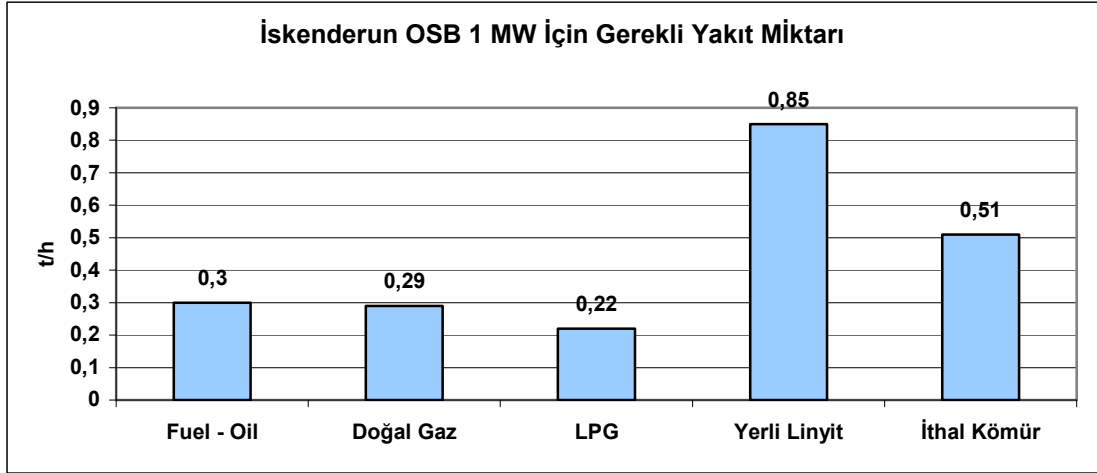
$$\text{Yerli Linyit için birim enerji maliyeti} = 0,48 \times 29,8 = 14,3 \text{ YTL} \quad (4.17)$$

$$\text{Kömür için birim enerji maliyeti} = 0,29 \times 32,203 = 9,3 \text{ YTL} \quad (4.18)$$



Şekil 4.6. 450.000 ton/yıl kapasiteli haddehanesi birim enerji maliyeti

İskenderun OSB için dizayn edilen santral için Şekil 4.7 deki yakıt miktarları ile Çizelge 4.1 deki yakıtların birim fiyatları çarpıldığında ortaya çıkan birim enerji maliyetleri Şekil 4.8 de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. İskenderun OSB 1 MW enerji için gerekli yakıt miktarı

$$\text{Birim Enerji Maliyeti} = \text{Yakıt miktarı} \times \text{yakıtın birim fiyatı} \quad (4.19)$$

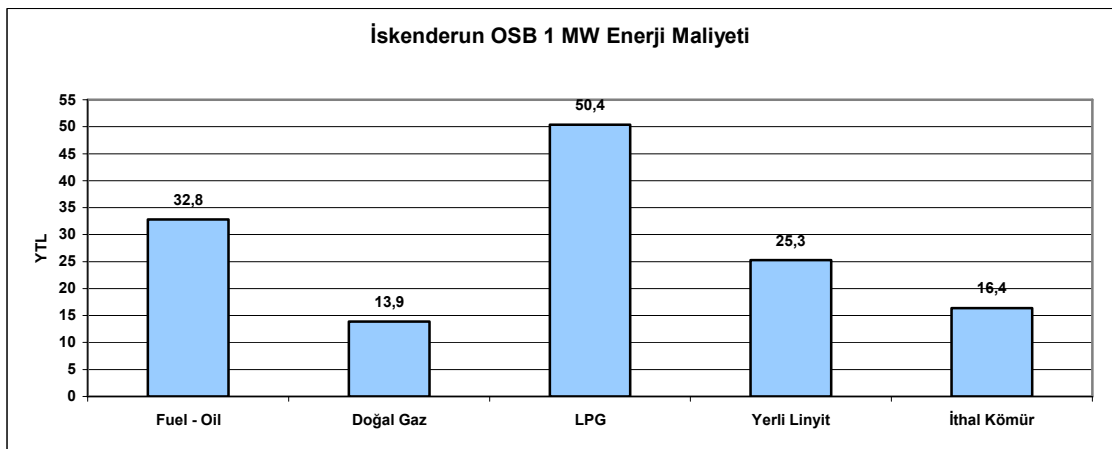
$$\text{Fuel - Oil için birim enerji maliyeti} = 0,3 \times 109,322 = 32,8 \text{ YTL} \quad (4.20)$$

$$\text{Doğal Gaz için birim enerji maliyeti} = 0,29 \times 47,87 = 13,9 \text{ YTL} \quad (4.21)$$

$$\text{LPG için birim enerji maliyeti} = 0,22 \times 229,091 = 50,4 \text{ YTL} \quad (4.22)$$

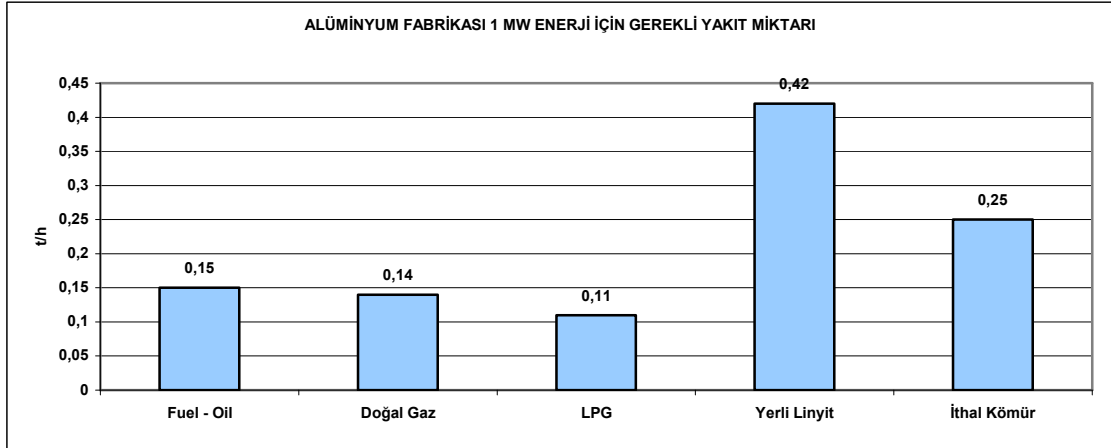
$$\text{Yerli Linyit için birim enerji maliyeti} = 0,85 \times 29,8 = 25,3 \text{ YTL} \quad (4.23)$$

$$\text{Kömür için birim enerji maliyeti} = 0,51 \times 32,203 = 16,4 \text{ YTL} \quad (4.24)$$



Şekil 4.8. İskenderun OSB birim enerji maliyeti

Alüminyum fabrikası için dizayn edilen santral için Şekil 4.9 deki yakıt miktarları ile çizelge 4.1 deki yakıtların birim fiyatları çarpıldığında ortaya çıkan birim enerji maliyetleri şekil 4.10 da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Alüminyum fabrikası 1 MW enerji için gerekli yakıt miktarı

$$\text{Birim Enerji Maliyeti} = \text{Yakıt miktarı} \times \text{yakıtın birim fiyatı} \quad (4.25)$$

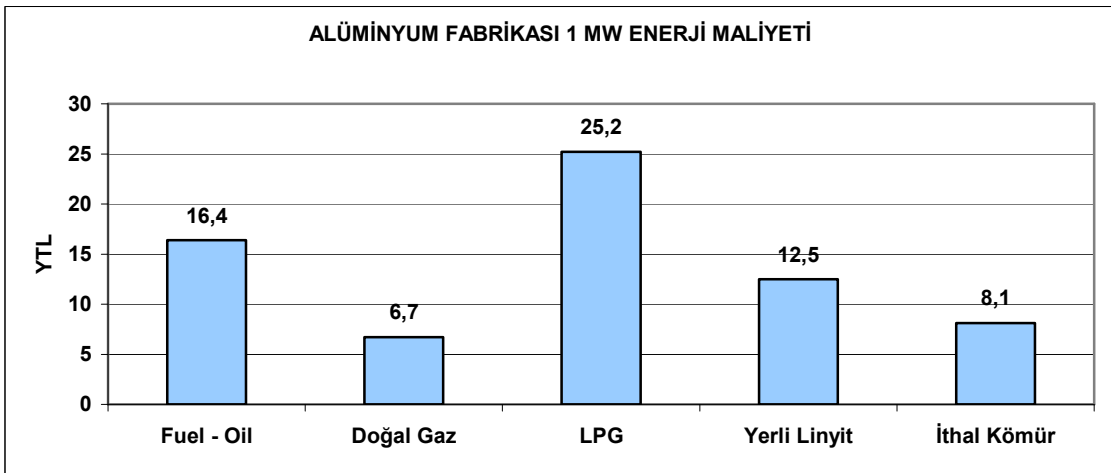
$$\text{Fuel - Oil için birim enerji maliyeti} = 0,15 \times 109,322 = 32,8 \text{ YTL} \quad (4.26)$$

$$\text{Doğal Gaz için birim enerji maliyeti} = 0,14 \times 47,87 = 13,9 \text{ YTL} \quad (4.27)$$

$$\text{LPG için birim enerji maliyeti} = 0,11 \times 229,091 = 50,4 \text{ YTL} \quad (4.28)$$

$$\text{Yerli Linyit için birim enerji maliyeti} = 0,42 \times 29,8 = 25,3 \text{ YTL} \quad (4.29)$$

$$\text{Kömür için birim enerji maliyeti} = 0,25 \times 32,203 = 16,4 \text{ YTL} \quad (4.30)$$



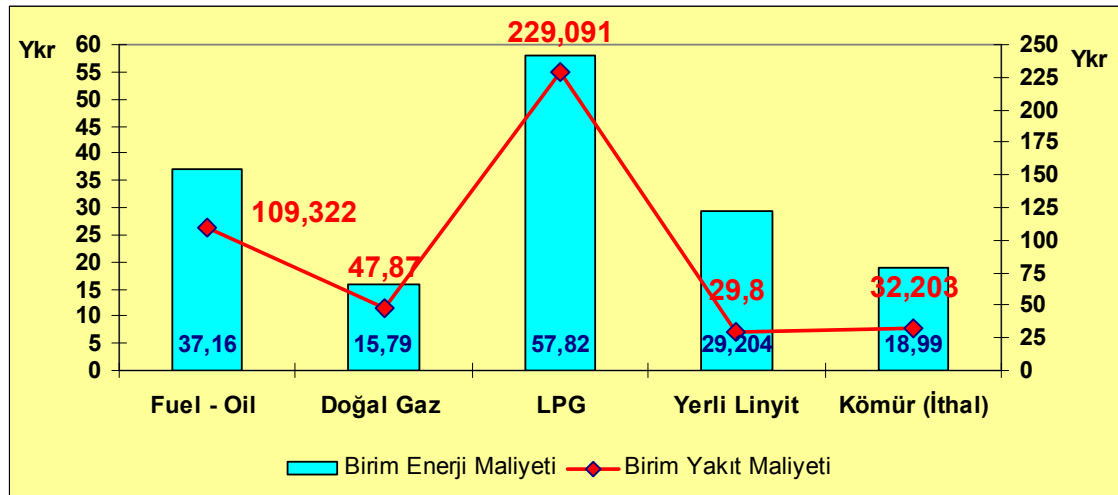
Şekil 4.10. Alüminyum fabrikası birim enerji maliyeti

Birim enerji maliyetleri değerleri göz önüne alındığında enerji üretiminde en ucuz yakıt doğal gazdır. Özellikle kömüre dayalı termik santrallerle karşılaştırıldığında, tesis maliyetlerinin daha az olması, temin kolaylığı, daha az personelle çalıştırılabilmesi, çevre kirliliği yaratmaması gibi özellikleri doğal gazı ön plana çıkarmaktadır. Doğal gazın tek dezavantajı ise ülkemizde çok fazla doğal gaz yataklarının bulunmaması ve dışarıya bağımlı olmasıdır.

Enerji üretim maliyetlerinde ikinci sırada ithal kömür yer almaktadır. İthal kömürün yurt dışında alınmasıyla dışarı bağımlı olması ve çevre kirliliğine etkisinden dolayı ekstra filtreleme yatırımı gerektirmesi dezavantajlarından sayılabilir.

Üçüncü sırayı yerli linyit almaktadır. Son zamanlarda akışkan yataklı kazanlarda yapılan çalışmalar termik santrallerde linyit kullanımını daha verimli ve temiz bir hale getirmiştir. Ülkemizde linyit yataklarının fazla olması linyitin en büyük avantajıdır. Fakat transferindeki zorluklar termik santrallerin linyit yataklarının yakınına kurulması gibi zorunluluk ortaya koymuştur.

Enerji birim maliyeti ile yakıt birim maliyetinin karşılaştırılma grafiği Şekil 4.11 de sunulmuştur.



Şekil 4.11. Birim yakıt maliyeti ile birim enerji maliyetinin karşılaştırma grafiği

LPG ve Fuel – Oil ise sadece üretim sürekliliği istenilen işletmelerde yedek yakıt olarak kullanılmasında fayda vardır. LPG ve Fuel – Oil'in yüksek maliyeti işletmeleri global rekabet ortamında rekabet gücünü zayıflatmaktadır.

Sonuç daha öncede belirtildiği gibi yakıt seçiminde maliyet gözetildiğinde öncelik sırası olarak;

1. Doğalgaz
2. İthal kömür
3. Yerli linyit
4. Fuel – Oil
5. LPG

olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ

Gelişmişliğin en önemli göstergelerinden biri enerji üretimidir. Enerji üretiminin tüketimden fazla olması hem sanayinin gelişmesine hem de milli gelirin artmasına neden olan etkenlerden biridir.

Türkiye giderek artan bir enerji darboğazına girmektedir. Enerji kaynaklarının büyük bir kısmı ithal edilmektedir. Gerek ekonomik, gerekse çevresel sebeplerden dolayı enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması gerekir.

Sanayi işletmelerinin kendi enerjilerini üretmesinin önemini en iyi şekilde Seydişehir Alüminyum Tesisleri anlatmaktadır. Seydişehir bölgesindeki Boksit cevherlerini işlemek için 9 Mayıs 1967 tarihinde Etibank Genel Müdürlüğü ile Tyazpromexport (SSCB) arasında imzalanan anlaşma ile 60.000 ton/yıl kapasiteli birincil alüminyum fabrikası kurulması çalışmaları başlamıştır. Tesis Ocak 1977 yılında % 100 kapasiteye ulaşmış, 8 ay sonra Türkiye'nin içinde bulunduğu büyük enerji sıkıntısı nedeniyle Eylül 1977'de % 50 kapasiteye düşürülmüştür. Temmuz 1980'de kapasite % 75'e çıkarılmış fakat Ağustos 1981'den itibaren devam eden enerji krizi nedeniyle kapasitede dalgalanmalar olmuştur. Daha sonra Haziran 1983'de kapasite % 35'e kadar düşmüştür. Ocak 1984'de % 50, Temmuz 1984'de % 75, Mayıs 1985'de % 100 kapasiteye ulaşılmıştır. Bu tarihten itibaren % 100 kapasiteyle üretime (60.000 Ton/Yıl) devam edilmektedir. Türkiye alüminyum ihtiyacının %30'unu karşılayan tesisin enerji sıkıntılarından dolayı üretim kayıpları dış alım yoluyla karşılanmaktadır. Bu durum ülke ekonomisine kötü yönde etki etmiştir. (Anonim, 2008d)

Sanayi işletmelerinde kurulacak olan bir termik santralde kullanılacak yakıtın seçiminde çevresel koşullar, temin edilebilirliği ve birim enerji maliyeti ön plandadır. Tüm bu özelliklerin hepsini birden sağlayan sadece doğal gaz bulunmaktadır. Düşük baca gazı emisyonları sayesinde çevresel koşullarını sağlamaktadır. Boru hatları ile taşınmasından dolayı temini kolay ve sürekli. En düşük maliyetle enerji üretim yakıtıdır. Fakat ithal edildiğinden dolayı dışa bağımlılığı unutulmaması gereken bir konudur. 2008 yılında İran'ın doğal gaz vanasını kapatmasıyla doğal gaz ile çalışan termik santrallerin üretimi durdurulmuştur. Uzun süreli master planlar ve fizibilite etütleri yapılırken birim fiyatların değişimi analizleri zorlaştırmaktadır.

Diğer enerji kaynaklarına göre temini kolay ve çevreye etkisi daha az olan doğal gazın ülkemizde birincil enerji kaynağı olarak kullanımı giderek artmaktadır. Yüksek verim ve kısa zamanda işletmeye alma gibi avantajlarından dolayı doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralleri ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde son yıllarda giderek artan bir oranda kullanılmaktadır. Doğal gaz yakıtlı kombine çevrim termik santralleri diğer fosil kaynaklı yakıt kullanan termik, nükleer ve hidroelektrik santrallerine göre daha düşük kurulum maliyeti ile daha kısa sürede işletmeye alınabilmektedirler. Kombine çevrim santrallerinde gaz türbinleri ve buhar türbinleri birlikte kullanılmaktadır. Yakıt olarak doğal gaz kullanılan gaz türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisinin yanı sıra türbin egzozundan yüksek sıcaklığa sahip egzoz gazlarının atık ısısının kazana verilmesiyle elde edilen buhar ile buhar türbinlerinden de ek elektrik üretimi sağlanmaktadır.

Kurulması kararlaştırılan tesis linyit yataklarına yakın bir bölgede bulunuyor ise yakıt olarak yerli linyit de düşünülebilir. Enerji üretimi, hiç şüphesiz onu üreten hammadde kaynaklarının bulunmasına ve bu kaynaklardan en verimli düzeyde yararlanılmasına bağlıdır. Özellikle gelişmekte olan ülkemiz bu amaçla çağdaş teknolojik olanaklar ve bilgi birikimlerinin de yardımıyla yerli kaynaklarını ortaya çıkarmak ve onları kullanmak durumundadır. Enerji üretiminin en önemli girdisi olan petrol ve doğal gaz rezervlerine sahip olmayan ülkemiz, var olan hidrolik ve katı yakıt kaynaklarını en üst düzeyde ve en kısa sürede devreye alarak ulusal enerji politikalarını oluşturmak zorundadır.

İşte bu nedenlerle; daha ucuz enerji, sürekli ve güvenli enerji üretimi, enerji üretiminde dışa bağımlılıktan kurtulmak, doğal kaynaklarımızı ulusal ekonomiye katmak, ülke madenciliğimizin ve buna bağlı sanayimizin gelişmesi, daha fazla istihdam alanı açarak, işsizliğin önlenmesine katkı sağlamak için, linyite dayalı termik santraller ve bu santralleri besleyen linyit sahalarımızın üzerindeki belirsizlikler bir an önce ortadan kaldırılmalı. Bu alan da gerek kamu ve gerekse de özel sektör eliyle yapılacak yatırımların önü açılmalıdır.

LPG ve Fuel – Oil maliyeti yüksek olmasına rağmen üretim sürekliliği istenilen veya güvenli duruş süresi gerektiren işletmelerde bu yakıtlar alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Bu uygulama için işletmenin minimum stok miktarının belirlenmesi gerekli ve minimum stok miktarına uygun stoklama tanklarının tesis edilmesi gereklidir.

Ayrıca enerji maliyetlerini minimum seviyeye indirilebilmesi için alternatif enerji kaynaklarının sanayide kullanılabilirliği araştırılmalı ve bu konuda AR – GE çalışmalarına önem verilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2005. **Neden Kojenerasyon.** <http://www.mimag-samko.com.tr>
- Anonim, 2007. **LPG nedir.** <http://www.ergaz.com.tr/html/lpghtml>
- Anonim, 2008a. **1 kg buhar üretim maliyeti için çeşitli yakıtların karşılaştırılması.** <http://www.teknikyayincilik.com>.
- Anonim, 2008b. **Türbin buhar debi miktarı.** <http://www.ayenerji.com.tr>
- Anonim, 2008c. **İskenderun organize sanayi bölgesi genel bilgiler.** <http://osbbs.osbuk.org.tr/osb-arama-sonuc-detay.php?veri=151>
- Anonim, 2008d. Eti Alüminyum AŞ. İle birlikte satılan Oymapınar Hes dosyası. www.kigem.org.tr/yonetim/resimler/etialuminyumveoymapinarhes%20dosyas.i.doc
- Altın, V., 2006. **Dünya'nın gazını almak.** Bilim ve Teknik, 467: 92, 93
- Babcock, G.H., Wilcox, S., 1972. **Steam/Its Generation and Use.** The Babcock & Wilcox Company, 1065 s, Ohio
- Boyce, M., 2001. **Gas turbine engineering hand book.** Gulf Profesional Publishing, 816 s, New Delhi
- Bozkurt, G., **Türkiye'de enerji sektörünün gelişimi ve elektrik üretiminde nükleer, ithal kömür, doğal gaz santrallerinin ekonomik yönden karşılaştırılmaları.** Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 96 s, Ankara
- Çalışıcı, Ü., 2005. **Kojenerasyon sistemleri ve bir işletmenin ihtiyacını karşılayacak kojenerasyon sisteminin teknik ve ekonomik uygulanabilirliği.** Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, 109 s, Antakya
- Çengel, Y., Boles, M., 1994. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw Hill, 116-129
- Çürüksulu, M., 2006. **150 MWe kurulu güçteki düşük kaliteli linyitle çalışan bir termik santral için buhar kazanı tasarımı.** Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 150 s, Ankara
- Emgin, O., 1997. **Elektrik üretim işletmelerinde ürün birim maliyetinin hesaplanması ve TEAŞ Yatağan termik santralına uygulanması.** Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 179 s, İzmir
- Heper, Y., 2001. **Buhar santralleri teorisi ve uygulamaları.** Metu Pres, 463 s, Ankara
- İlbaş, M., 2001. **Enerji politikaları, ekonomisi ve yönetimi.** Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempezyomu Panel Kitabı, 1: 1-36, Kayseri
- İşyarlar, B., 2007. **Doğal gaz yakıtlı bir yanma odasında termodinamik hal büyüklüklerinin analizi.** Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 92 s, Ankara
- Kadiroğlu, O., ve Sökmen, C., 1994. **Nükleer enerji ile elektrik üretimi.** Bilim ve teknik dergisi, 319: 15-18.
- Karakaş, K., 2002. **Doğal gaz ile elektrik enerjisi üretimi ve ekonomik analizi.** Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 162 s, Isparta
- Kayabaş, Ç., 1996. **Elektrik üretiminde marjinal enerji maliyetinin ekonomik yüklenme benzetimi ile hesaplanması.** Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 159 s, Ankara
- Oymak, O., 2001. **Akışkan yataklı kazanlar.** Akışkan Yataklı Kazan Teknolojilerine Dayalı Buhar Elektrik Üretimi Paneli Konuşma ve Sunuş Metinleri, 1: 1 – 30

- Özpeker,I., 1991. Kömür Oluşumu Petrografisi ve Sınıflandırılması.(O. Kural) **Kömür, Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri**. Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş.. İstanbul
- Ünalın, S., 2002. **Alternatif enerji kaynakları ders notları**. Erciyes Üniversitesi, 1-66
- Vuono, C., 1989. **Central boiler plants**. Headquarters Department Of The Army., 560 s,
- Woodruff, E. and Lammers, H. 1998. **Steam plant operation**. McGraw-Hill. 795 s, London

TEŞEKKÜR

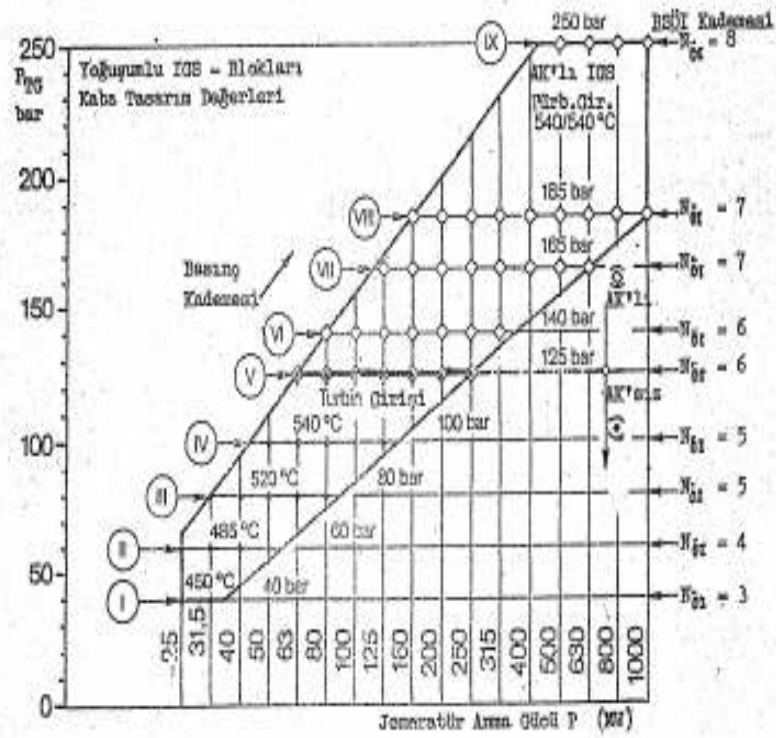
Tez çalıőmamın her aşamasında bŸyŸk bir titizlik, sabır ve Ÿzveriyle bana destek olan, yol gŸsteren ve iyi bir bilimsel çalışma ortamı sağlayan danıőman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk MISTIKOğLU'na sonsuz teőekkŸrlerimi sunarım.

Tez çalıőmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen hayatımın her aşamasında bana destek olan aileme sonsuz teőekkŸrlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Antakya'da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi aynı ilde tamamladım. 1998 yılında girdiğim Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden, 2004 yılında Makine Mühendisi unvanıyla mezun oldum. 2005 yılında İSDEMİR AŞ Enerji Tesisleri Müdürlüğü'nde Gaz İşletme Mühendisi olarak çalışmaya başladım. Halen aynı şirkette görev yapmaktayım.

EK 1



Kısım	Ticariyet Değerleri	İst. - KST Düzeyi $N_{st} = 1$					
		P_1	T_1	T_2	η_{st}	η_{st}	η_{st}
Bazın Kademeli (VI)		65	540	540	0.237	0.763	0.518
		80	540	540	0.255	0.745	0.514
		95	540	540	0.273	0.727	0.511
		110	540	540	0.291	0.709	0.508
		125	540	540	0.309	0.691	0.505
		140	540	540	0.327	0.673	0.502
		155	540	540	0.345	0.655	0.499
		170	540	540	0.363	0.637	0.496
		185	540	540	0.381	0.619	0.493
		200	540	540	0.399	0.601	0.490
Bazın Kademeli (VII)		80	540	540	0.221	0.779	0.526
		95	540	540	0.239	0.761	0.523
		110	540	540	0.257	0.743	0.520
		125	540	540	0.275	0.725	0.517
		140	540	540	0.293	0.707	0.514
		155	540	540	0.311	0.689	0.511
		170	540	540	0.329	0.671	0.508
		185	540	540	0.347	0.653	0.505
		200	540	540	0.365	0.635	0.502
		215	540	540	0.383	0.617	0.499

* Yoğunluğa İlgili Blok

Şekil 1 - İst. Düzeyi Kontrolün Geçirimi Gösteren Yedi Kademeli İst. Düzeyi

