

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOMA TERMİK SANTRALİNİN ENERJİ VE
EKSERJİ ANALİZİ

Şakir DİNÇOL

Haziran, 2016
İZMİR

SOMA TERMİK SANTRALİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Bölümü, Termodinamik Anabilim Dalı**

Şakir DİNÇOL

Haziran, 2016

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ŞAKİR DİNÇOL, tarafından PROF.DR. SERHAN KÜÇÜKA yönetiminde hazırlanan "SOMA TERMİK SANTRALİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Serhan KÜÇÜKA

S. Küçük

Yönetici

.....
Yrd. Doç. Dr. Levent BİLİR

L. Bilir

Jüri Üyesi

.....
Doç. Dr. C. Özgür GÖLPAN

C. Özgür

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçiminde ve çalıőmamın her aőamasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini paylaşan danıőmanın sayın Prof. Dr. Serhan KÜÇÜKA'ya teşekkür ederim.

Tezin hazırlanması sırasında bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim, paylaştıkları fotoğraf ve veriler teze zenginlik katan SEAŞ Genel Müdürlüğü çalıőanlarına teőekkürlerimi ve saygımı arz ederim.

Yaőamım boyunca her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen sevgili ailem ve sevgili eőime teőekkürlerimi sunarım.

Şakir DİNÇOL

SOMA TERMİK SANTRALİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

ÖZ

Ülkemiz linyit rezervlerinin önemli bir kısmı termik santraller vasıtasıyla elektrik üretiminde değerlendirilmektedir. Bu kaynaklarımızın, ucuz ve verimli sistemlerle kullanımı üretilen enerjinin güvenilirliği ve çevreye olan etkisinin azaltılması açısından önemlidir. Yüksek verimi sağlayabilmek için sistemin termodinamik yönden uygun şekilde analiz edilmesi, kayıpların belirlenmesi ve işletme şartlarının hassasiyetle korunması gereklidir.

Bu çalışmada Soma B Termik Santrali güç üretim çevriminin termodinamik analizi yapılmıştır. Çevrimin genel akış diyagramı oluşturulmuş, sistemdeki kazan, türbin, besleme suyu ısıtıcıları gibi ekipmanların giriş ve çıkışlarındaki sıcaklık, basınç ve debiler okunarak ekipmanların mevcut çalışma durumları belirlenmiştir. Bu veriler akış diyagramı üzerine işlenmiş ve EES (Engineering Equation Solver) programının kullanılması ile çevrimin termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Çevrim ekipmanlarındaki kayıplar hesaplanmış ve tüm çevrim, enerji ve ekserji verimliliği yönlerinden incelenmiştir. Sistemin mevcut durumu, tasarım verileri ile karşılaştırılarak ilk duruma göre işletme şartlarında oluşmuş değişiklikler belirlenmiştir. Son olarak, sistemin termodinamik açıdan geliştirilmesi için yapılabilecek işletme değişiklikleri ile ilgili öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Soma Termik Santrali, enerji analizi, ekserji analizi, Rankine çevrimi

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF SOMA THERMAL POWER PLANT

ABSTRACT

Major part of lignite reserves in Turkey is used for electricity generation by thermal power plants. The use of this source with cheap and efficient systems is important for reliability of energy production and in terms of reducing the impact on environment. In order to provide efficiency, the system needs to be analyzed, losses needs to be determined and facility conditions needs to be kept stable thermodynamically.

In this study, thermodynamic analysis of power generation of Soma B Thermal Power Plant cycle was performed. The general diagram flow of the cycle has been drawn, the input and output temperatures, pressures and flow rate values of equipments such as the boiler, turbine and feeding water heaters have been followed and their current work flows have been determined. These data were processed and on the flowchart and thermodynamic analysis of cycle was performed by using a EES (Engineering Equation Solver) program. The losses of cycle equipments were calculated and all of the cycle have been examined by energy and exergy aspects. This current condition of the system, has been compared with its first design conditions and the changes were determined. Finally, the proposals about operational changes were offered in order to develop the system thermodynamically.

Keywords: Soma Thermal Power Plant, energy analysis, exergy analysis, Rankine cycle

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgi.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı.....	2
1.3 Çalışmanın İçeriği.....	3
BÖLÜM İKİ – BUHARLI GÜÇ ÇEVİRİMLERİ.....	4
2.1 Basit Rankine Çevrimi.....	4
2.2 İdeal Ara Isıtmalı Rankine Çevrimi.....	7
2.3 Ara Buhar Almalı Rankine Çevrimi.....	8
2.4 Süperkritik Rankine Çevrimi.....	10
2.5 Termik Santrallerin Termodinamik İncelemeleri.....	11
BÖLÜM ÜÇ – TERMİK SANTRAL GENEL YAPISI VE SOMA TERMİK SANTRALİ.....	18
3.1 Soma Termik Santrali.....	19
3.2 Santral Çalışma Sistemi.....	21
3.3 Termik Santralde Sisteme Girenler.....	26
3.3.1 Su.....	27

3.3.2 Hava	27
3.3.3 Kömür.....	28
3.4 Genel Ekipmanlar	30
3.4.1 Kazan.....	30
3.4.2 Türbin.....	32
3.4.3 Alçak Basınç ve Yüksek Basınç Isıtıcıları	35
3.4.4 Yoğuşturucu.....	37
3.4.5 Soğutma Kuleleri	37
3.4.6 Jeneratör	38
3.4.7 Elektrofiltre.....	40
3.5 Atıklar	41
BÖLÜM DÖRT – TERMODİNAMİK ANALİZ	43
4.1 Santral Çalışma Sistemi	43
4.2 Tasarım ve İşletme Değerleri.....	46
4.3 Hesaplamalar.....	53
4.3.1 Isıtıcılar.....	53
4.3.2 Yoğuşturucu.....	53
4.3.3 Kazan Besleme Tankı.....	54
4.3.4 Kazan.....	54
4.3.5 Pompa.....	54
4.3.6 Türbin Güçleri ve İzentropik Verimleri	55
4.3.7 Sayısal Sonuçlar.....	57
4.3.8 Ekserji Analizi	58
4.4 Değerlendirme.....	60
BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR.....	62
KAYNAKLAR.....	64
EKLER.....	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Basit Rankine buhar çevrimi.....	4
Şekil 2.2 Basit Rankine buhar çevrimine ait T-s diyagramı.....	5
Şekil 2.3 Gerçek durum Rankine buhar çevrimine ait T-s diyagramı.....	6
Şekil 2.4 Ara ısıtmalı Rankine çevrimi.....	7
Şekil 2.5 Ara ısıtmalı Rankine çevrimine ait T-s diyagramı.....	8
Şekil 2.6 Ara buhar almalı Rankine çevrimi.....	9
Şekil 2.7 Ara buhar almalı Rankine çevrimine ait T-s diyagramı.....	10
Şekil 2.8 Süperkritik Rankine çevrimine ait T-s diyagramı.....	11
Şekil 3.1 Enerji değişimi diyagramı.....	18
Şekil 3.2 Soma Termik Santrali görünüm.....	20
Şekil 3.3 Soma Termik Santrali bacaları.....	22
Şekil 3.4 Kömür stok sahası.....	28
Şekil 3.5 Kömür stok makinası.....	29
Şekil 3.6 Kömürün çıkarılması ve yüklenmesi.....	29
Şekil 3.7 Kazan boru donanımı.....	31
Şekil 3.8 Kazan içi yanma.....	32
Şekil 3.9 Buharın türbin kanatlarında izlediği yol.....	33
Şekil 3.10 Alçak basınç ısıtıcısı.....	36
Şekil 3.11 Yüksek basınç ısıtıcısı.....	36
Şekil 3.12 Yoğuşturucu genel görünüşü.....	37
Şekil 3.13 Soğutma kuleleri.....	38
Şekil 3.14 Jeneratör yapısı.....	39
Şekil 3.15 Jeneratör görünüş.....	40
Şekil 3.16 Ayıtlı Kül Barajı.....	42
Şekil 4.1 Santral çalışma sistemi.....	45
Şekil 4.2 Tasarım değerleri kullanılarak yapılan analiz sonucunda EES programı ile çizilen T-s diyagramı.....	50
Şekil 4.3 İşletme değerleri kullanılarak yapılan analiz sonucunda EES programı ile çizilen T-s diyagramı.....	51

Şekil 4.4 Yoğuşturucu karışım diyagramı.....	52
Şekil 4.5 Yüksek basınç türbini giriş çıkış noktaları T-s diyagramı.....	56



TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 2014 Yılı Türkiye kurulu güç ve elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	2
Tablo 3.1 Kazan karakteristiği.....	26
Tablo 3.2 Turbo-Jeneratör karakteristikleri.....	26
Tablo 4.1 Ekipman giriş-çıkış noktaları.....	43
Tablo 4.2 Tasarım değerleri.....	46
Tablo 4.3 İşletme değerleri.....	48
Tablo 4.4 Tasarım ve işletme değerlerine göre ısıtıcı yükleri.....	53
Tablo 4.5 Tasarım ve işletme değerlerine göre çıkan iş ve ısı miktarları.....	57
Tablo 4.6 Tasarım ve işletme değerlerine göre ekserji sonuçları.....	59

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Genel Bilgi

Ülkelerin enerji ihtiyaçları, sanayideki gelişmeler, nüfus artışı, insanların sosyal ve ekonomik seviyelerinin gelişmesi, teknoloji alanındaki gelişmeler ile her geçen gün hızla artmaktadır. Elektrik ile çalışan araç ve gereçler, insan yaşamını her alanda kolaylaştırırken enerji gereksinimini de sürekli artırmaktadır. Elektriğe olan fazla talep, elektriğin üretimi konusunda da farklı arayışlar içine girilmesine neden olmuştur. Kaynakların sınırlılığı, çevre kirliliği gibi dezavantajları olmasından dolayı, elektrik üretiminde kaynakların etkin kullanımı, verimli sistemlerin dizaynı, çevreye en az zarar verecek teknolojinin geliştirilmesi önemlidir.

Günümüzde kömürden elektrik üretimi ülkemizde ve dünyada hala en temel kaynaktır. Soma Santrali, ülkemizde kömüre dayalı elektrik üretiminde önde gelen işletmelerdendir.

Ülkemiz zengin linyit kaynaklarına sahiptir. Fakat bu kaynaklar düşük kalorili olduğu için ısınma amaçlı kullanılamamaktadır. Kaynakların kullanılmasında en uygun yol termik santrallerde enerji üreterek uygun şekilde değerlendirilmesidir.

Türkiye'nin enerji politikasının ana öğelerinden bazıları (Yıldız, 2009);

- Kaynak çeşitliliğine ve yerli, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına önem verilmesi,
- Dışa bağımlılığın en alt düzeye indirilmesi,
- Çevre üzerindeki etkilerin en aza indirilmesi,
- Enerjinin verimli üretilmesi ve kullanılması,
- Kamu yararının ve tüketici haklarının gözetilmesi,
- Serbest piyasa uygulamaları içinde kamu ve özel kesim imkanlarının harekete geçirilmesi olarak ifade edilmiştir.

Ülkemizde elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1 2014 Yılı Türkiye kurulu güç ve elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (EÜAŞ 2014 Yıllık Rapor)

2014 Yılı Sonu Kaynaklara Göre Dağılımı				
Kaynaklar	Kurulu Güç		Üretim	
	MW	%	MW	%
Hidrolik	23.643,10	34,01	40.644,70	16,13
Doğal Gaz+LNG	22.292,10	32,07	120.699,60	47,9
Linyit+Taş Kömürü	8.573,40	12,33	40.222,50	15,96
İthal Kömür	6.062,60	8,72	35.086,00	13,93
Rüzgar	3.629,70	5,22	8.520,10	3,38
Çok Yakıtlar	3.595,80	5,17		
Sıvı Yakıtlar	989,80	1,42	2.975,90	1,18
Jeotermal	404,90	0,58	2.364,00	0,94
Yenilenebilir+Atık	288,10	0,41	1.432,60	0,57
Güneş	40,20	0,06	17,40	0,01
Toplam	69.519,70	100	251.962,80	100

Tablo incelendiğinde elektrik üretiminin, büyük oranda ithal kaynaklara bağlı olduğu görülür.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada ülkemizdeki önemli santrallerden Soma B Termik Santrali’nin termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Soma B Termik Santrali, ilk ünitesi 1981 yılında işletmeye alınmış ve toplamda 6 adet elektrik üretim ünitesinden oluşan, ülkemizin en önemli elektrik üretim santrallerindendir. 2014 yılsonu verilerine göre yaklaşık 5,5 milyar kWh üretim ile Türkiye elektrik üretiminin %2,20’sini karşılamaktadır. Santral yaklaşık 35 yıldır işletilmekte olup, sistemin genel yapısında büyük oranda bir değişiklik olmamıştır.

Çalışmada, sistemin bugünkü işletme durumunun tasarım durumu ile karşılaştırması planlanmıştır. Bu amaçla çevrimin termodinamik analizi yapılmış ve enerji-ekserji kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelenmiş ve sistemin durumu görülmüştür.

1.3 Çalışmanın İçeriği

Çalışmanın ikinci kısmında buharlı çevrim santrallerinin genel yapısı ve mevcut literatür çalışmaları verilmiştir. Üçüncü bölümde ise termik santraller hakkında genel bilgiler verildikten sonra Soma Termik Santrali tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde çevrimin genel akış şeması çıkarılmış ve belirli noktalardaki kurulum ve günümüz değerleri verilmiştir. Akış şeması ve değerler yardımıyla çevrimin termodinamik analizi yapılmış, enerji ve ekserji kayıpları belirlenmiştir. Beşinci bölümde analiz sonuçları değerlendirilmiş ve tavsiyelerde bulunulmuştur.

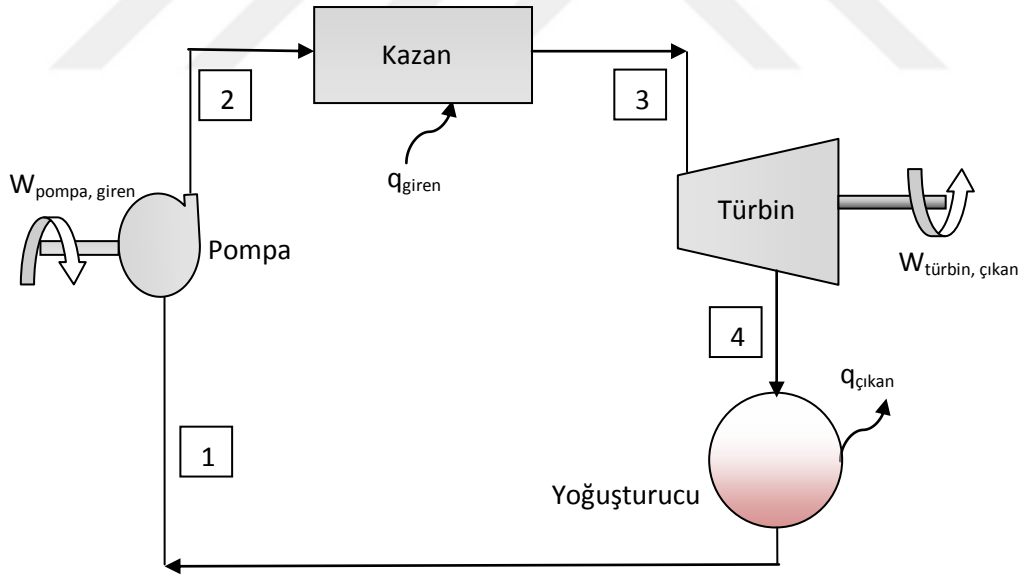
BÖLÜM İKİ

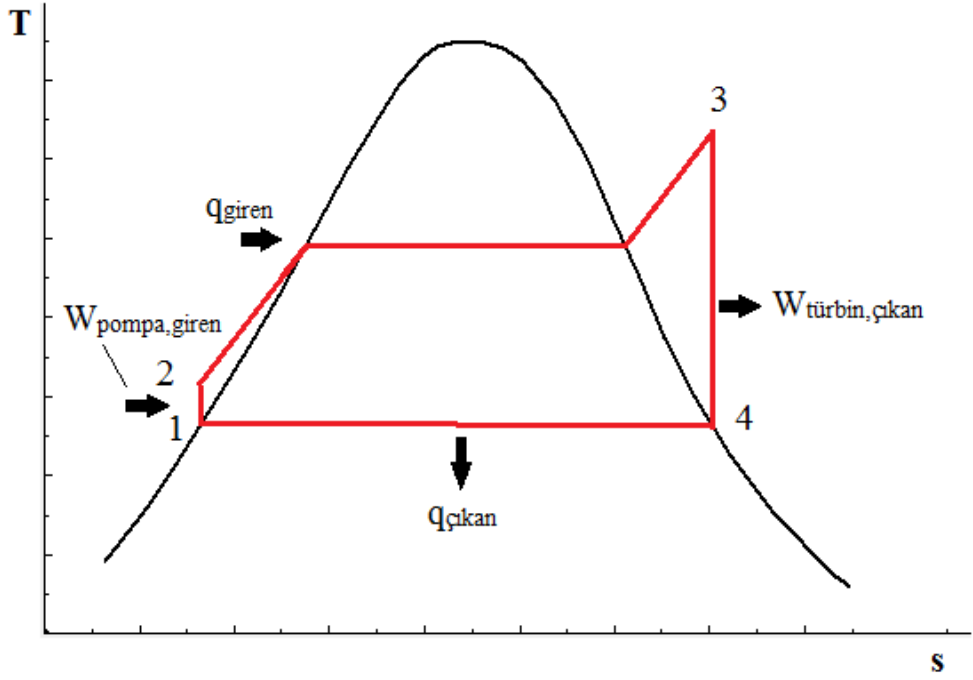
BUHARLI GÜÇ ÇEVİMLERİ

Kömürden elektrik üretiminde buharlı güç çevrimleri yaygın olarak kullanılır. Bu bölümde basit, ara buhar almalı, yeniden ısıtılmalı Rankine çevrimlerinin termodinamik gösterimleri verilmiş ve kömürlü güç santrallerinin termodinamik analizi ile ilgili literatür tanıtılmıştır.

2.1 Basit Rankine Çevrimi

Rankine buhar çevrimi, buhardan güç elde etmede kullanılan en temel çevrimdir. Bu basit sistem, kazandan sağlanan buharın buhar türbinine verilmesi ve buhar türbininin de elektrik jeneratörünü döndürmesi, türbinden çıkan buharın ise yoğuşturucuda yoğuşarak tekrar kazana su olarak beslenmesi ile devam etmesi şeklindedir (Şekil 2.1).





Şekil 2.2 İdeal Rankine buhar çevrimine ait T-s diyagramı

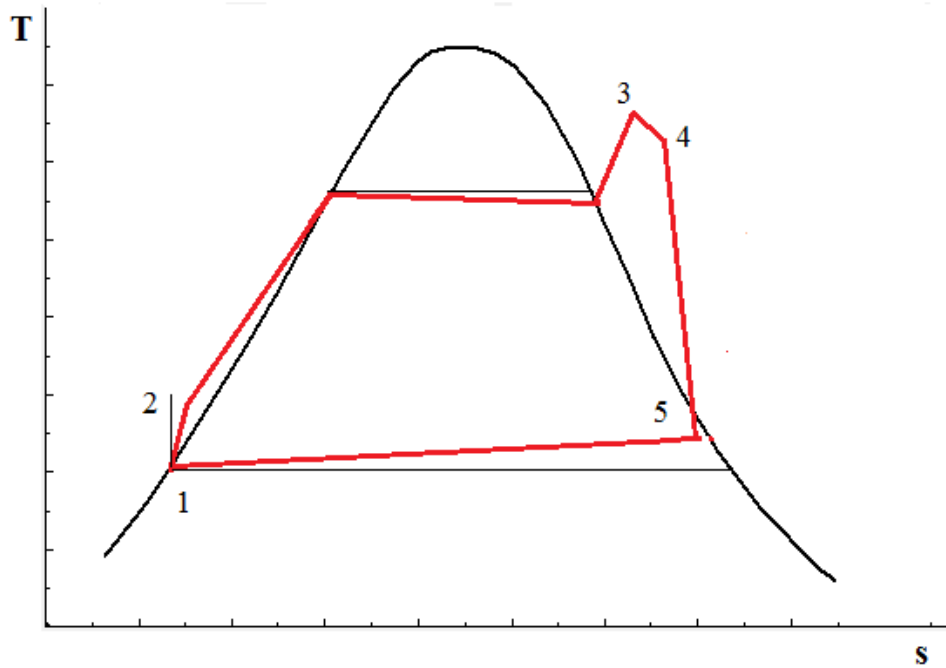
İdeal Rankine çevriminde içten tersinmezliğin olmadığı dört hal değişimi vardır;

- 1-2 Pompayla izentropik sıkıştırma
- 2-3 Kazanda sisteme sabit basınçta ısı geçişi
- 3-4 Türbinde izentropik genişleme
- 4-1 Yoğuşturucuda sabit basınçta ısı atılması

Su, pompaya doymuş sıvı olarak girer ve izentropik hal değişimiyle kazan basıncına sıkıştırılır. Su sıcaklığı izentropik sıkıştırma işlemi sırasında suyun özgül hacminin, azalmasından dolayı bir miktar artar. Su kazana sıkıştırılmış sıvı olarak girer ve kızgın buhar olarak çıkar. Kızgın buhar türbinde izentropik olarak genişler ve bir mili döndürerek iş yapar. Mil, elektrik üretimi için jeneratöre bağlanmıştır. Bu hal değişimi sırasında buharın basıncı ve sıcaklığı azalarak 4 durumuna ulaşır. Buhar türbinden çıktıktan sonra yoğuşturucuya girer. Yoğuşturucuya giren buhar doymuş sıvı buhar karışımı halindedir. Su, yoğuşturucudan doymuş sıvı halinde çıkar ve

pompaya girerek çevrimi tamamlar. T-s diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alanın içten tersinir hal değişimleri için ısı geçişini gösterir. 2-3 eğrisi altında kalan alan suya kazanda verilen ısıyı, 4-1 eğrisi altında kalan alan da yoğuşturucuda çevreye verilen ısıyı göstermektedir. İkisi arasındaki fark çevrimin net işi veya net ısı alışverişidir (Şekil 2.2).

Gerçek durumda ise pompa ve türbin izentropik değildir. Ayrıca kazan, boru hatları ve yoğuşturucuda basınç düşümleri olabilmektedir. Boru hatları ve ekipmanlardaki tersinmezlik ve basınç kayıplarının gösterildiği çevrimin T-s diyagramı Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

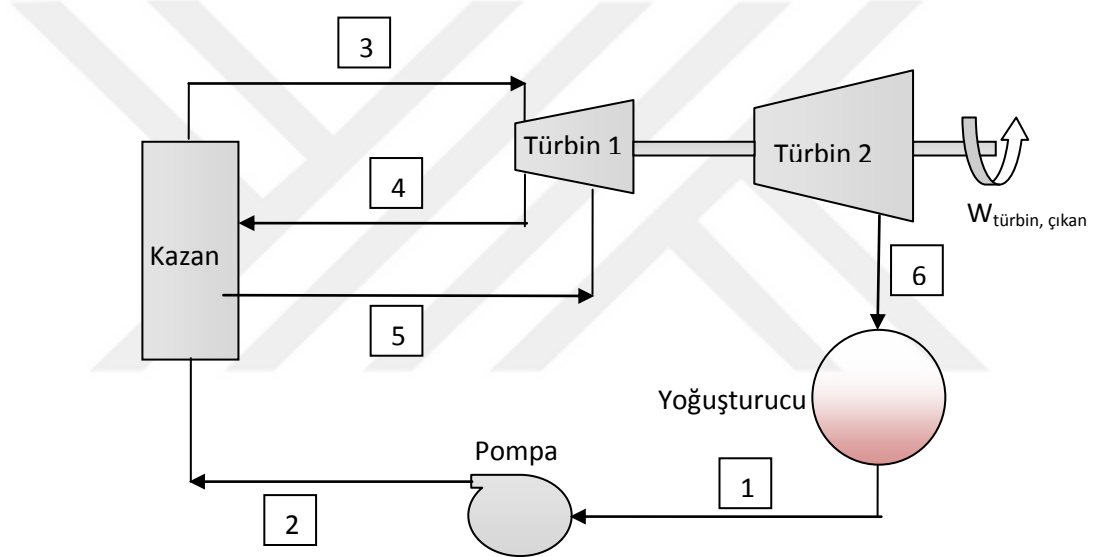


Şekil 2.3 Gerçek durum Rankine buhar çevrimine ait T-s diyagramı

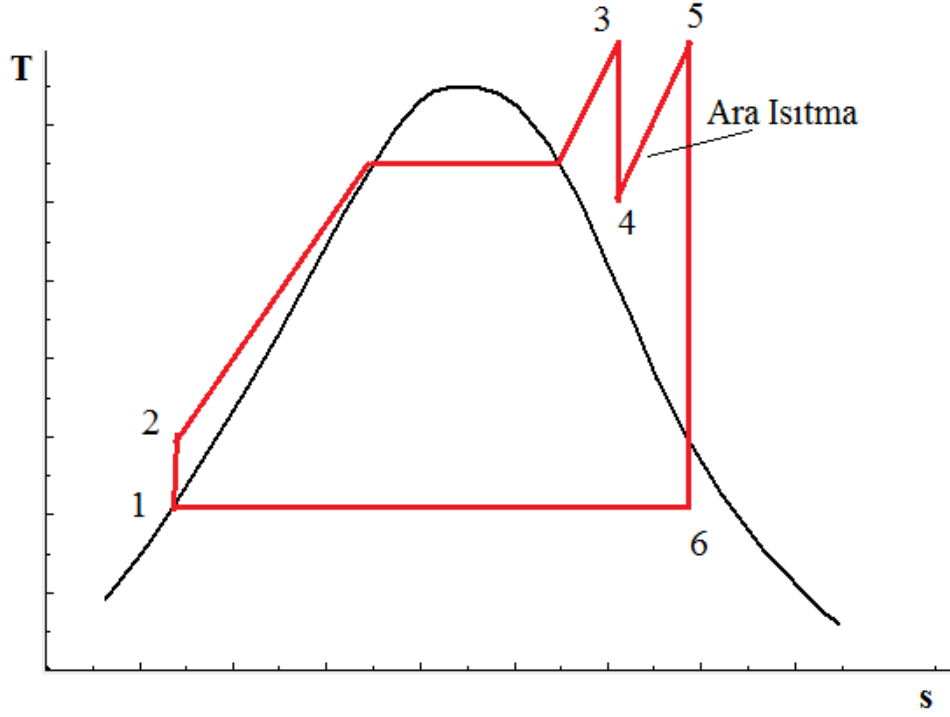
Sıkıştırılmış sıvı bölgesi 1-2 arasında pompa kayıpları mevcuttur. 3 noktasındaki basınç değeri, kazandaki basınç kaybından dolayı 2 noktasındaki basınç değerinden küçüktür. 3-4 arasında ise kazandan çıkıp türbine giren buharda basınç ve ısı kaybı vardır. 4-5 arasında türbinde buharın genişlemesi ile entropi artar. 5-1 arasında ise yoğuşturucudaki basınç kayıplarını ifade etmektedir.

2.2 İdeal Ara Isıtmalı Rankine Çevrimi

Kazan basıncı yükseldiğinde Rankine çevriminin ısıl verimi yükselir. Buna karşılık türbin çıkışında kuruluk derecesi azalır. Bunu engellemek için Rankine çevrimine ara ısıtma işlemi eklenebilir. Buhar türbinde bir ara basınca kadar genişledikten sonra yeniden kazana gönderilerek ısıtılmaktadır. Buharın ikinci giriş sıcaklığı genelde birinci kademeye giriş sıcaklığıyla aynıdır. Sonrasında buhar türbinin ikinci kademesinde yoğuşturucu basıncına kadar genişlemektedir.



Şekil 2.4 Ara ısıtmalı Rankine çevrimi



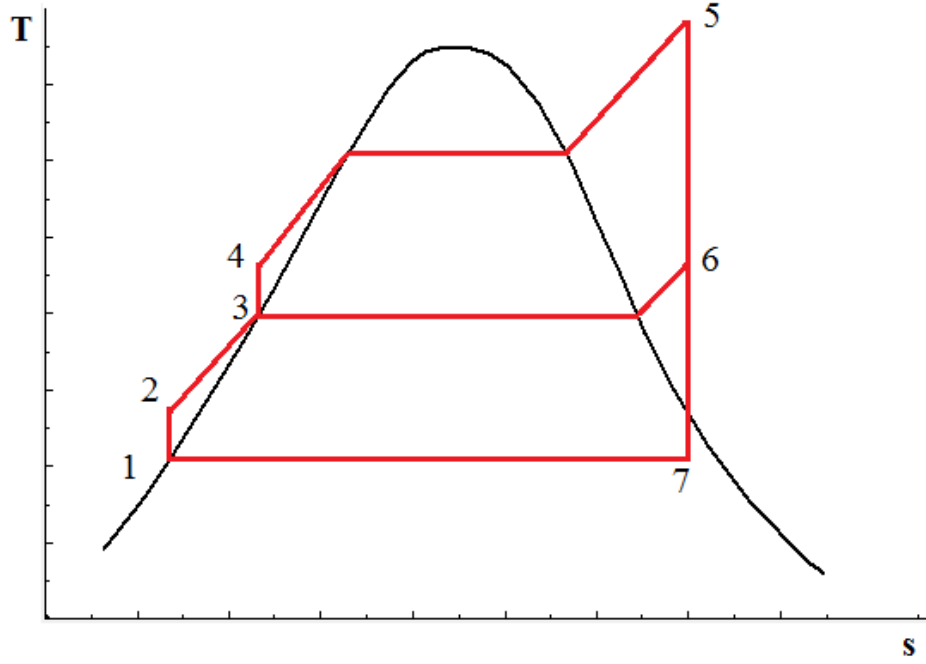
Şekil 2.5 Ara ısıtmalı Rankine çevrimine ait T-s diyagramı

Bu şekilde bir ara kademe uygulanması çevrimin verimini yüzde 4-5 arasında artırmaktadır. Şekil 2.5’de T-s diyagramında bu durum görülmektedir.

T-s diyagramında eğri altında kalan alan \dot{W}_{net} ’i verir. Eğer sisteme tekrar ısıtma işlemi uygulanırsa eğri altında kalan alan artar ve elde edilen net iş (\dot{W}_{net}) artar.

2.3 Ara Buhar Almalı Rankine Çevrimi

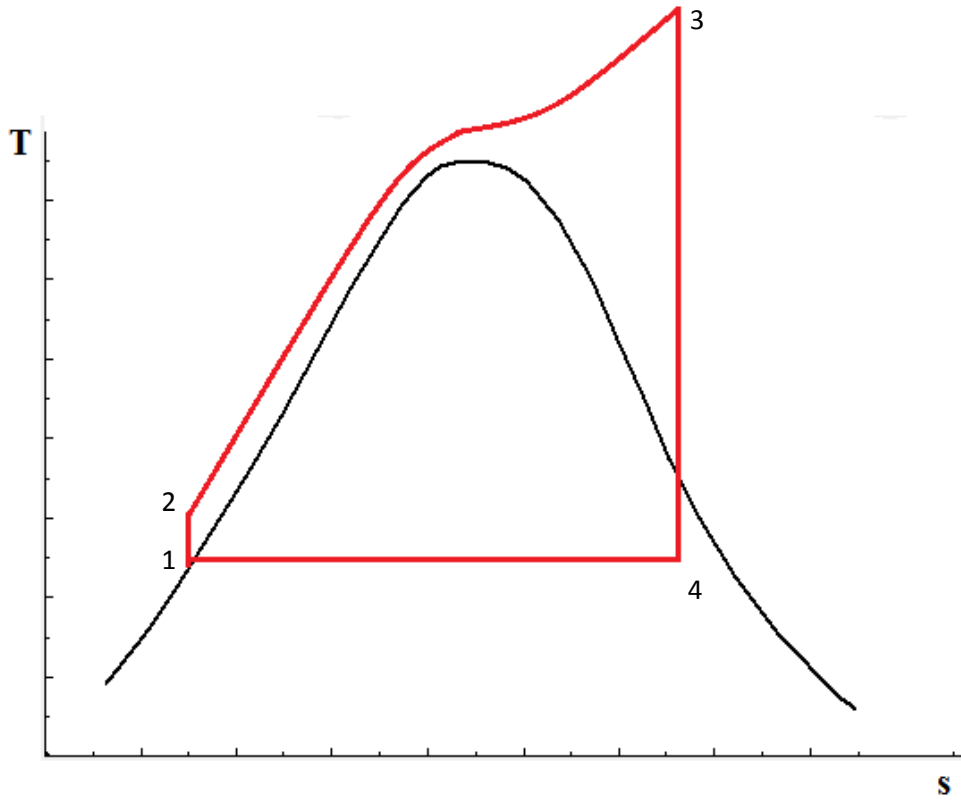
Buhar çevrimi termodinamik verimini artırmak için türbine giren buharın bir kısmı çekilerek, besleme suyunun ön ısıtılması sağlanır ve kazana gönderilir. Türbin içerisinde genişlemekte olan buharın bir bölümü genişlemesini tamamlamadan türbinin ara kademelerinden alınır ve besleme suyunun ısıtılmasında kullanılır. Isıtma işlemi besleme suyu ısıtıcılarında gerçekleşir. Geriye kalan buhar türbinde yoğunlaştırıcı basıncına kadar genişler (Şekil 2.6). Besleme suyu ısıtılmasında buharın su ile karıştığı açık tip ve ısıtma buharı ile suyun karışmadığı kapalı tip ısıtıcılar



Şekil 2.7 Ara buhar almali Rankine çevrimine ait T-s diyagramı

2.4 Süperkritik Rankine Çevrimi

Elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıtların kısıtlı olması termik santrallerde daha az kaynak kullanımı ile daha fazla üretim yapmayı zorunlu kılmıştır. Sistemden daha fazla elektrik üretimi, kazan buhar basıncının yükseltilmesi, yoğuşurucu basıncının düşürülmesi, ara ısıtma ve ara buhar alma ile sağlanabilir. Verimi artırmak için kullanılan diğer bir yöntem ise, kazan basınç ve sıcaklığının suyun kritik noktasının (22,1 MPa, 374°C) üzerinde olmasıdır. Bu şekilde kazana gönderilen besleme suyu yaş buhar fazına geçmeden doğrudan kızgın buhar fazına dönüşmektedir (Şekil 2.8). Bu sayede çevrim verimi artmaktadır. Kritik nokta üzerindeki çalışmadan dolayı bu çevrime süperkritik çevrim denilmektedir. Çevrimde daha az kaynak kullanılarak daha fazla iş yapılmış olur. Böylece hem ekonomik yönden katkı sağlanırken, çevreye de daha az atık bırakılmış olur (Çengel, 2013)



Şekil 2.8 Süperkritik Rankine çevrimine ait T-s diyagramı

2.5 Termik Santrallerin Termodinamik İncelemeleri

Termik santrallerin termodinamik analizine ilişkin pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmında mevcut santrallerin termodinamik ve termoekonomik analizleri yapılmıştır. İncelemelerin bir kısmı doğal gaz santralleri, bir kısmı kömür santrallerine ait olup, çeşitli sistemlerin incelenmesi tezin gelişimi açısından yararlı olacaktır.

Dinçer ve Al-Muslim (2001), çalışmalarında tekrar kızdırmalı Rankine buhar çevrimli bir termik santralin birinci ve ikinci yasa ile bir tablo hesaplama tekniği kullanarak termodinamik analizini yapmışlardır. Sermaye sahipleri garanti performans beklenmektedir. Bu da yüksek doğruluklu termodinamik hesaplamalarla planlama ve uygun tasarımın yanında hata sayısının azaltılmasını gerektirir. Bu bağlamda iki temel araç vardır: Enerji ve ekserji analizi. Suudi Arabistan'daki Ghazlan Santralinde yapılan incelemede kazan sıcaklığı, kazan basıncı gibi yaklaşık

120 farklı parametre ile yüksek basınç türbini giriş sıcaklığının 400-600°C arasında 10°C aralıklarla ve her bir sıcaklık için basınç 10-15 MPa arasında 1er MPa'lık aralıklarla değişmesiyle elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın temel amacı, tekrar kızdırmalı bir Rankine çevrimi buhar santralinin enerji ve ekserji analizini yapmak, sistemin enerji ve ekserji verimliliği araştırmak ve mevcut fiili verilerle hesaplamaları karşılaştırmaktır. Farklı basınç ve sıcaklıklardaki kazanın enerji ve ekserji verimleri, optimum çalışma koşullarının incelemesi yapılmıştır. Hesaplanan enerji ve ekserji verimliliği gerçek veri ve literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında iyi bir uyum çıkmıştır.

Ünver ve Kılıç (2005), yaptıkları çalışmada Bursa/Ovaakça Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali parametrelerinin değişimi, yük durumu ve değişen çevre koşullarına göre termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarını kullanarak santrali incelemiştir. Çevre koşullarındaki değişimin sistemin performansını farklı yük durumlarında hangi oranlarda etkilediği çalışan bir santralden alınan veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Çevre sıcaklığındaki artışın sistemin genel verimini olumsuz olarak etkilediği ve özgül yakıt sarfiyatını arttırdığı; özgül yakıt sarfiyatının ise artan yük durumuyla azaldığı görülmüştür. Bir bloktaki en fazla ekserji kaybı sırasıyla buhar kazanı, buhar türbini, gaz türbini, yoğuşturucuda meydana gelmiştir. Sonuç olarak çevre koşullarının santral performansında önemli bir etkiye sahip olduğundan verimi azaltacak konularda gerekli tedbirlerin alınması tavsiye edilmiştir.

Şen (2006), yaptığı çalışmada termik santrallerde verimi artırma yolları üzerinde dururken bunun için akışkan yataklı kazan kullanımı üzerinde durmuştur. Akışkan yatak kazana sahip bir santralde termodinamiğin ikinci kanununa göre analiz yapmıştır. Sistemdeki her bir ekipmanda faydalı güç, tersinir güç, tersinmezlik miktarları tespit edilmiş, sistem genel verimi hesaplanmıştır. Ülkemizin sahip olduğu geniş linyit rezervlerinin, enerji açığı olan ülkemizin enerji piyasalarında sahip olduğu yelpazeyi genişletmesi bakımından çok önemli olduğundan daha verimli, çevreci, verimli olan yöntemlerle enerjiye çevrilmesinin önemine değinilmiş ve akışkan yatak teknolojisine sahip santrallerin yaygın şekilde kullanılması ve geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Dinçer ve arkadaşları (2007), yaptıkları çalışmada farklı tasarıma sahip enerji santrallerinde (buhar-gaz çevrim santrali, kojenerasyon santral, jeotermal santrali) elde edilen termodinamik analizleri, enerji ekserji verimlerini incelemişlerdir. Ekserji analizinin santraller için sahip olduğu önem vurgulanmıştır. Tasarımdaki ve sonuçlardaki farklılıklar dikkate alınmıştır. Sayısal örneklerle yapılan hesaplamalarda farklı dizaynlara ait verim ve kayıplar gibi konularda fikir vermesi açısından sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuçların analiz, tasarım, optimizasyon ve santrallerdeki iyileştirmeler için mühendis ve araştırmacılara yardımcı olacağı tahmin edilmektedir.

Aljundi (2009), çalışmasında Ürdün’de Al-Hussein Santrali’nde, termodinamiğin birinci ve ikinci yasası ile enerji-ekserji analizini gerçekleştirmiştir. Amaç ayrı ayrı sistem bileşenlerini analiz etmek ve en büyük enerji ve ekserji kaybına sahip ekipmanları belirlemektir. Değişen referans çevre koşullarının etkisi verilmiştir. Sistemin ve ekipmanların performans hesaplaması için enerji dönüşüm adımlarında farklı noktalarda kütle ve enerji dengesi gözetilerek ekserji incelemesi yapılmıştır. Belirlenen noktaların termodinamik özellikleri belirlenmiş, hesaplamalar yapılmış ve kayıplar bulunmuştur. Verim hesabı, sadece özgül ısı girişine göre değil, düşük yakıt ısısı, kazan kayıpları, ısı kaybı, yanma bozukluğu da göz önüne alınarak yapılmıştır. Sistem termal verimi %26, ekserji verimi ise %25 olarak hesaplanmıştır. Ekserji kaybının en çok kazanda sonrasında sırasıyla türbin, yoğuşturucu, pompada olduğu tespit edilmiştir. Kazanın en önemli tersinmezlik kaynağı olduğu, bunun da girişteki fazla hava sürtünmesi ve sıcaklığından dolayı yanma odasında ekserji kaybına yol açtığı belirtilmiştir. Yanmadaki verimsizliğin, yanma havasının ön ısıtmasının azaltılması ve hava-yakıt oranının azaltılması ile giderilebileceği tahmin edilmiştir. Her bir ekipman için ekserji kaybı yüzdesi ve ekserji verimi referans çevre sıcaklığı ile değişmiş ama ana sonucun aynı kaldığı görülmüştür.

Kocaekiz (2010), çalışmasında Yatağan Termik Santrali’nin termodinamiğin birinci ve ikinci yasa yönünden verim analizini yapmıştır. Enerji santralinin verim analizi yapılırken farklı çevre koşulları ve yükler için değerlendirilmiştir. Performans

parametreleri ve değişimleri incelenmiştir. Her ünite de elde edilen güç, tersinir güç, ekserji ve sistemin genel verimleri hesaplanmıştır. Santralde üretilen ve tüketilen enerji miktarları, bu üretim için gerekli yakılması gereken kömür ve fueloil miktarları, kömür alt ısı değeri incelenmiştir. Tüm parametrelerin yıllık bazda aylara göre değişimi incelenmiştir. Santraldeki çalışma şartlarındaki değerler kullanılarak, kazan verimi, boru kayıpları, boru verimi, türbin verimi incelenmiş, bunların neticesinde santral termik verimi hesaplanmıştır. Elde edilen tüm verimler aylık olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. İncelemeler sonucunda aylar itibariyle elektrik üretimindeki dalgalanmalar, kömürün ısı değerlerine bağlı olarak değişebildiği, sadece kömür ısı değerine bağlı olmadığı, başka sebeplerin de etkili olduğu görülmüştür. Detaylı olarak üretim ve tüketim miktarları, buhar üretim ve tüketim miktarları, yakıt tüketim oranları, tesisin toplam verimi elektrik üretimini etkileyen nedenlerin olduğu incelenmiştir. Santral bünyesinde soğutma kulelerindeki ortaya çıkan ısı enerjisinin Yatağan'da konutlarda ısıtma amaçlı kullanılabileceği belirtilmiştir.

Regulagadda ve arkadaşları (2010), yaptıkları çalışmada sistemin termodinamik analizini yapmışlardır. Santralden maksimum verim elde etmek için uygun parametreleri bulabilmek adına farklı çalışma şartları, çevre etkisi ve ekserji kayıplarını incelemişlerdir. Kayıpların ve ekserji tüketiminin ana kaynaklarını tespit etmişlerdir. Sistemin kütle, enerji, entropi, ekserji dengesi gözetilmiştir. Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiş olup sabit durum kabul edilmiştir. Değerler gerçek çalışma durumundan alınmıştır. Ekserji için yanma olayı ve reaksiyonları da incelenmiş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Buhar debisindeki değişimin türbin gücü çıkışını değiştirdiği görülmüştür. Kayıpların ve ekserji tüketiminin ekipmanlara göre dağılımı belirlenmiştir. Daha küçük yoğuşturucu basınçlarında, buhar sıcaklığı ve basıncı arttığında da sistem verimi artmaktadır. Sistemin enerji verimi %30,12, ekserji verimi ise %25,38 bulunmuştur. En fazla enerji tüketiminin kazanda olduğu ve bu yüzden sistemin performansını artırmak için kazanda iyileştirmeler yapılması gerektiği görülmüştür. Performans artırımı için türbin kanatlarının ve kazan borularının dizaynı ile ısı kayıplarının azalacağı

öngörülmüştür. Çevreye en az etkiye sebep olması için yapılabileceklerden bahsedilmiştir.

Rahim ve Gündüz (2013), yaptıkları çalışmada tasarlanan bir çevrim sistemine termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları uygulanarak sistemdeki kayıpların belirlemiştir. Tasarlanan ve analiz edilen sistemde 38 MW'lık bir adet gaz türbini ve 20 MW'lık bir buhar türbini bulunmaktadır. Isıl-güç üretimi gerçekleşen sistemler temelde, elektrik üretiminde kullanılan gaz türbini, buhar türbini ve gaz motorları gibi ısı makinalarının atık ısısından yararlanmayı amaçlamaktadır. Böylece yakıt enerjisi daha etkin kullanılır, fosil yakıtlardan tasarruf edilir, atmosfere daha az karbon dioksit atarak azaltmaktır. Sistemdeki kayıpların yüzdesel dağılımı ve miktarı tespit edilmiştir.

Coşkun ve arkadaşları (2013), yaptıkları çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren Çayırhan Termik Santralinin enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Santralin her bir ünitesinin giriş ve çıkış noktalarının termodinamik özellikleri EES programı yardımıyla belirlenmiş, elde edilen termodinamik özellikler yardımıyla termik santrale termodinamiğin birinci ve ikinci yasası ışığında enerji ve ekserji analizleri uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda santralin verimleri ve kayıplar tespit edilmiştir. Termik santralde en fazla ekserji kayıpları sırasıyla; kazan, türbin grupları, yoğuşturucu, ısıtıcı grup ve pompa gruplarında meydana gelmektedir. En fazla verime sahip ekipmanlar da türbin grubu, ısıtıcı grubu, pompa grubu ve kazan besleme pompası olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve düzeltme yapılabilecek ekipmanlar belirlenerek çözüm önerileri sunulmuştur.

Wu ve arkadaşları (2014), yaptıkları çalışmada Çin'de 600 MW'lık bir kömür santralinde ekipman ve proses tabanlı analiz ile büyük ölçekli kömür santralinde ekserji tüketim ve dağıtım profilini ve enerji tasarrufu konularını araştırmışlardır. Her bir bileşenin eksikleri belirlenerek ekserji performansları karşılaştırılmıştır. Proses tabanlı analizde, ana procesteki hata ve eksiklerin büyüklüğünü bulmayı amaçlamışlardır. Her bir ekipmanın ekserjetik performansı hesaplanmış, böylece sistemin kayıpları hakkında bilgi sahibi olmuşlardır. Her bir ekipman için ekserji

kaybı hesaplanmış, ekserji verimi ve ekserji kayıp oranı bulunmuştur. Santralin ekserji verimi %43,93 olarak hesaplanmıştır. Proses bazlı analizde en fazla ekserji tüketimi sırasıyla özellikle baca gazı ile akışkan arası ısı transferi, yanma, baca gazı ve soğutma suyu kaybından olan emisyon, yüksek basınç, alçak basınç türbinleri ve jeneratördeki mekanik kayıplar, kütle transferinde olmaktadır. Kazanda ısıtıcılar, ön hava ısıtıcısı, yüksek ve alçak basınç türbinleri verimsizliğin ana nedenlerindedir. Ayrıca enerji korunumunda, buharı taşımada yüksek kaliteli boruların önemli olduğu, gelişmiş malzeme ve üretim teknikleri ile santrallerin verimlerinin artırılacağı görülmüştür.

Çınar ve Çakır (2015), yaptıkları çalışmada Zonguldak'ta 2x600 MW'lık kurulu güce sahip, ithal kömür yakıtlı, süperkritik çevrime sahip Eren Enerji Termik Santrali'ni incelemiştir. Çevrim ve elemanlarının, kütle ve enerji eşitliklerini göz önüne alarak termodinamik incelemesini yapmışlardır. Enerji ve ekserji verimleri hesaplanmış, ekserji yıkımının yüksek olduğu ekipmanlar tespit edilmiş ve çözüm önerileri ortaya konmuştur. Kazan çıkışında buhar, 242 bar basınç ve 565°C sıcaklıktadır. Analiz sonuçlarında çevrim enerji verimi %41,12, ekserji verimi ise %38,46 olarak bulunmuştur. Kazan ısı verimi %86,79 olmasına rağmen en fazla ekserji tahribinin %88,72 oran ile kazanda meydana geldiği görülmüştür. Kazandaki tersinmezliklerin en önemli kaynağı da yanma olayında düzensizliklerin çok olduğu enerji türlerinin dönüşümü, alevle akışkan arasındaki sıcaklık farkının büyüklüğü, kazan borularının iç ve dış yüzeylerinde ısı iletimine engel olan tabaka oluşumu, aşırı ya da eksik hava fazlalık miktarı olduğu ortaya konmuştur. Kazandan sonraki en önemli tersinmezlik kaynağı alçak basınç türbinidir. Kazan değerleri yanında alçak basınç türbini değerleri oldukça küçüktür. Bu yüzden türbinde yapılabilecek iyileştirmelerin maliyeti verim artışı ile sağlanacak katkıdan daha fazla olacaktır. Yapılabilecek iyileştirmeler, alevle akışkan arasındaki sıcaklık farkı azaltılarak türbin giriş sıcaklığının artırılması, ısı kaybının fazla olduğu noktalar tespit edilerek gerekli izolasyonların yapılması, alçak basınç buhar türbininden alınan ara buharın optimizasyonu yapılarak sistem verimi artırılması olabilir. Alçak basınç türbini gibi diğer ekipmanlarda yapılabilecek iyileştirmeler, ekipman verimini artırmakla birlikte sistem veriminde önemli bir değişiklik sağlamayacak ve ek maliyet oluşturacaktır.

Sonuçta sistemdeki tüm tersinmezliklerin yok edilmesi ile tam verim sağlanmasının imkansız olduğu anlaşılmıştır.

Zhou ve arkadaşları (2016), yaptıkları çalışmada ara ısıtmalı yöntem ile prosesin ortalama sıcaklığının artırılması neticesinde meydana gelecek verim artışını incelemişlerdir. Dünya elektrik üretiminde kömürün önemini vurgulanmışlar ve buhar çevrim sistemleri üzerinde yapılacak dizayn değişiklikleri ile verim artışının mümkün olabileceğini düşünmüşlerdir. Bazı santrallerden alınan veriler ile termal verimlerinin %45 üzerine çıktığı görülmüştür. Çift tekrar kızdırmalı süperkritik çevrimin parametrik analiz ve proses optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Amaç sistemin termal performansını geliştirmektir. Sistemde bir adet yüksek, 2 adet orta ve 1 adet alçak basınç türbini vardır. İki kez tekrar kızdırma işlemi uygulanan sistemde, kazan çıkışında buhar 30 MPa, 600°C durumundadır. Sistemin farklı durumlara vereceği tepkiler incelenmiştir. 8 adet ve 10 adet besleme suyu ısıtıcısı olan durumlarda P_1/P_0 (1. tekrar kızdırma basıncının, kazan çıkış basıncına oranı) ve P_2/P_1 (2. Tekrar kızdırma basıncının, 1. Tekrar kızdırma basıncına oranı) değerleri için en uygun oranlarla maksimum verim elde edilmeye çalışılmıştır. 8 adet ısıtıcı olan durumda güç üretim verimi %46,89 ile $P_1/P_0 = 0,4$ ve $P_2/P_1=0,3$ durumunda maksimumdur. 10 adet ısıtıcı olan durumda ise güç üretim verimi %47,24 ile $P_1/P_0=0,5$ ve $P_2/P_1=0,3$ durumunda maksimumdur. İki kez uygulanan tekrar kızdırma ile elektrik üretim maliyeti 49,55 \$/MWh'tan 49,07 \$/MWh'e düşmüştür. Yapılabilecek dizayn değişiklikleri ile %0,49'luk verim artışı sağlamışlardır.

BÖLÜM ÜÇ

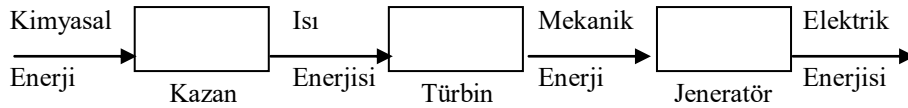
TERMİK SANTRAL GENEL YAPISI VE SOMA TERMİK SANTRALI

Termik santral, buhar gücüyle çalışan güç santralidir. Isıtılan su, buhar haline gelir ve jeneratöre bağlı buhar türbinini çevirir. Sahip olduğu enerjiyi türbine veren buhar, yoğuşturucuda yoğuşturularak tekrar suya dönüştürülür. Termik santrallerin arasındaki fark kullanılan yakıt tipidir. Bu tesisler ısı enerjisini elektrik enerjisine çevirdiği için “Enerji Dönüşüm Santrali” olarak da isimlendirilebilir. Santrallerin avantajları olduğu gibi atmosfere salınan zararlı gazların varlığı da dezavantajlarındandır. CO₂ emisyonunun büyük kısmını oluşturan fosil yakıtlı termik santrallerin zararını azaltmak için daha çevreci, verimli yöntemler üzerinde çalışılmalıdır (https://tr.wikipedia.org/wiki/Termik_santral,2015).

Santralin yer seçiminde şu hususlar dikkate alınır:

- Santralin ihtiyacı olan su kaynağının yakınlığı,
- Elektrik tüketim merkezine yakınlığı,
- Deprem fay hattı üzerinde olmaması,
- Ulaşım kolaylığı,
- Rüzgar yönü,
- Kömür yatakları ile kül ve cüruf atma sahasına yakınlığı.

Termik santralde kömürün kazanda yakılması sonucu kimyasal enerji ısı enerjisine, yüksek ısı enerjisine sahip buharın türbini döndürmesiyle mekanik enerjiye dönüştürülür. Son aşamada da jeneratörle mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Enerji değişimi diyagramı

Kömür, doğalgaz nükleer, jeotermal, güneş ve çöp santrallerinin tamamı, termik santraldir. Doğalgaz santrallerinde gaz türbininden çıkan ısı kombine çevrimli bir

tesiste toplam verimliliği artıracak şekilde buhar oluşturmada kullanılabilir. Kömür, fueloil ve doğalgaz santralleri gibi fosil yakıtlı güç santralleri olarak adlandırılırlar. Sıklıkla kojenerasyon tesisi de denilen kombine ısı ve güç santralleri hem ısı hem de elektrik enerjisi üretirler. Buhar ve sıcak su uzun mesafelere borularla taşındığında enerji kayıpları olduğundan, enerji aktarımı yalnızca endüstriyel tesis, yakın binaların ısıtılması gibi kısa mesafelerde verimlidir.

Tüm ısı makineleri termodinamik kurallara bağlı olduğundan verimlilik değerleri limitlidir. Enerjinin geri kalanı tesisi ısı olarak terk eder. Atık ısı yoğunlaştırıcıdan geçirildikten sonra soğutma suyu kullanılarak ya da soğutma kuleleri ile atılır. Atık ısının ısıtma amaçlı kullanıldığı tesislere kojenerasyon tesisi denilir. Carnot verimlilik kuralına göre buharın ısıyı yükselttilerek verimlilik artırılabilir.

3.1 Soma Termik Santrali

Soma Termik Santrali, Manisa ili Soma ilçesinde faaliyet göstermektedir. İşletme, Soma ve civarında çıkartılan düşük kalorili kömürlerin yakılarak elektrik enerjisi üretilmesiyle Batı Anadolu'nun elektrik ihtiyacını en kısa mesafeden karşılamak ve yörenin sosyo-ekonomik kalkınmasını sağlamak amacıyla kurulmuştur. İlk olarak Soma A Termik Santrali kurulmuş, sonrasında Soma B Termik Santrali'nin yapımına başlanmıştır. Soma A Termik Santrali 1957 yılında 2x22MW kurulu güç ile üretime başlamıştır. Soma B Termik Santrali ise her biri 165 MW olmak üzere 6 adet üniteden oluşmaktadır. 1. ünite 1981, 2. ünite 1982, 3. ünite 1985, 4. ünite 1986, 5-6 üniteler ise 1992 yılında işletmeye alınmıştır. Her bir ünite 1 adet buhar kazanı, 1 adet buhar türbini, 1 adet buhar türbini jeneratörü, 1 adet yoğunlaştırıcı, 1 adet soğutma kulesinden oluşmaktadır.

Bu tezde Soma Termik Santrali olarak bahsedilen ve analizi yapılan sistem Soma B Termik Santrali'dir. Şekil 3.2'de santrale ait bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.2 Soma Termik Santrali görünüm

Ocak 2015 itibariyle ELİ'nin (Ege Linyit İşletmeleri) rezervleri 218.686.495 ton açık işletme, 540.494.700 ton yer altı olmak üzere toplam 759.181.195 tondur (ELİ 2014 Faaliyet Raporu). Yakıt ihtiyacının tamamı Soma linyit havzasındaki düşük kalorili kömürden sağlanmaktadır. 1-4 ünitelerde kullanılan kömürün kalorisi 2400 kcal/kg, %32 kül ve %21 nem ihtiva eder. 5-6 ünitelerde kullanılan kömürün kalorisi ise 1550 kcal/kg, %52 kül ve %18,8 nem ihtiva eder. Santral işletmesinde yılda yaklaşık 8.000.000 ton kömür yakılmaktadır. Yakılan kömürden yılda yaklaşık 3.600.000 ton kül çıkmaktadır. Çıkan külün büyük çoğunluğu su ile karıştırılarak hidrolik sistemle Ayıtlı Kül Barajı'na sevk edilmekte, bir kısmı da çimento karışımında kullanılmak üzere çimento fabrikalarına satılmaktadır (SEAŞ, 2015c).

Kazan 12mx12m kare şeklinde olup 80m yüksekliğindedir. Santralde her bir grubun kendi kazanı vardır ve toplamda 6 adettir. 1-4 ünitelerin her birinde 200.000 m, 5-6 ünitelerin her birinde 240.000 m boru donanımı bulunmaktadır. Toplamda 1-6 ünitelerde 1.280.000 m boru donanımı mevcuttur. Kazanın en altında kazanla birleşik

şekilde cüruf çıkarıcı adı verilen yapı mevcuttur. Cüruf çıkarıcının görevi yanma sonucu oluşan cürufun dışarıya atılmasını sağlamaktır.

Santralin yıllık üretim kapasitesi 8.672.400.000 kWh'tır. Son yıllardaki ortalamalar dikkate alındığında ülkemizdeki toplam elektrik üretimindeki payı %2,22'dir. Santral iç tüketim yüzdesi yaklaşık olarak %12-15'tir (SEAŞ, 2015d).

Sistemin saatteki 3750 tonluk su ihtiyacı 120.963.000 metreküplük Sevişler Barajı'ndan karşılanmaktadır.

3.2 Santral Çalışma Sistemi

ELİ Müessese Müdürlüğü tarafından santralin kömür hazırlama tesislerinde 0-30 mm ebadında hazırlanarak stok sahasına serilmektedir. Kömür stok sahası santralin 1 aylık kömür ihtiyacını karşılayacak kapasitededir. Kırıcı eleklerden ve stok sahasından alınan 2400 kcal/kg kömür 1-2-3-4.gruplara ait bunkerlere her biri 800 ton/saat kapasiteli biri yedek iki bantla taşınır. 5-6. gruplara ait stok sahasından 1550 kcal/kg kömür bunkerlere her biri 800 ton/saat kapasiteli biri yedek iki bantla taşınır. (SEAŞ, 2015c)

Kazanın temel dengesi için 1-2-3-4.grup kömür bunkerleri her biri 537 m³ olarak 4 ayrı köşeye yerleştirilmiştir. Her kazanda 6 adet 37 ton/saat öğütme kapasiteli değirmenler bulunmaktadır. 5-6.gruplara ait kömür bunkerleri her biri 450 m³ 6 adet kazanın sağına ve soluna yerleştirilmiştir her kazanda 6 adet 65 ton/saat öğütme kapasiteli değirmenler bulunmaktadır. Değirmenler fan tipi, ön çekiçlidir.

Yanma sonucu meydana gelen küller gazlarla birlikte bacaya giderken elektrostatik kül tutucularla %99 oranında tutulmaktadır. Baca yükseklikleri Şekil 3.3'te de görüldüğü gibi 1. ve 2. gruplar için 1 adet 157 m, 3. ve 4. gruplar için 1 adet 157 m, 5. ve 6. gruplar için 1 adet 275 m. olup, baca gazı bileşenleri meteorolojik ve coğrafi şartlar etkisi ile çevreye herhangi bir zarar vermeyecek sınır değerlerin altına düşürülür.



Şekil 3.3 Soma Termik Santrali bacaları

Tutulan küller ve cüruflar su ile karıştırılarak hidrolik kül nakil sistemi ile kül barajına atılır.

Santral için gerekli olan katma ve soğutma suyu 13 km uzaklıktaki Sevişler Barajı'ndan temin edilmektedir. Su tasfiye tesislerinde, yumuşak su ve saf su olarak arıtılarak sisteme dahil edilir.

Kömürün yanması sonucu kazandaki suyun sıcaklığı 540 °C ve 13900 kPa basınçlı kızgın buhar haline dönüşür, 1 kazan saatte 525 ton buhar üretir. Üretilen bu basınçlı buhar türbine verilerek türbin rotorunu çevirir türbine bağlı jeneratörden elektrik elde edilir. jeneratör çıkışı 15.000 volt olarak üretilen elektrik, ana transformatörde 380.000 volta yükseltilerek şalt tesisleri vasıtası ile ulusal elektrik sistemine verilmektedir. Ayrıca santralin iç ihtiyaçları için 6.300 voltluk dağıtım merkezleriyle irtibatlıdır.

Kazan basınçlı sistemi ekonomizer, buharlaştırıcı, kızdırıcı, tekrar kızdırıcı, yardımcılar ve bağlantı elemanlarından oluşur. Kazanı basınçtan korumak için emniyet valfleri vardır. Dom, kızdırıcı, tekrar kızdırıcıların emniyetleri vardır.

Kazan yakıcıdan resirkülasyon akışlı, basınçlı fuel-oil yakıcılarla ateşlenir. Elektrikli kıvılcım üniteli propan yakıcı fuel-oili ateşlemek için düşünülmüştür. Basınçlı kanallardan baca gazları kanal arkasında yerleştirilmiş iki adet dönerli hava ısıtıcısına götürür. Baca gazındaki tozlar elektrofiltrelerde çökteldikten sonra baca gazları iki cebri çekme fanları bacaya basılır. Baca gazlarının sadece az bir kısmı değirmenlerden sonra kömür tozu kurutmak fakat öncelikle kömür kurutmak üzere değirmenler yoluyla yanma odasına geri gönderilir. Kazan aynı zamanda cebri çekme fanlarının basma tarafından baca gazlarını yanma odasına geri gönderen iki adet baca gazı resirkülasyon fanına sahiptir.

Yüksek basınç ısıtıcıları, türbinden alınan ara buhar ile daha kazana girmeden suyun sıcaklığını artırarak, sistem daha verimli çalışır. Isıtıcılar içindeki borulardan besleme suyu geçer. Yüksek basınç ısıtıcıları gerekli buharı yüksek ve orta basınç türbininden ara buhar şeklinde alırlar.

Ekonomizer kazandan yanma sonucu çıkan baca gazının çıktığı kısma yerleştirilmiştir. Bu sayede baca gazının sahip olduğu ısı ekonomizer borularından geçen suyun sıcaklığını artırır. Böylece termik verim artırılır. Buradan sonra su-buhar karışımı doma dökülür.

Dom su ile buharın ayrıştığı yerdir. Su ekran boruları olarak isimlendirilen yanma odası kısmındaki kazan duvarlarındaki borulardan geçerek buharlaştırılır ve doma geri döner. Domun iç kısmı silindir şeklindedir. Dom su buhar dengesini sağlar. Domdan ekran borularına bağlanan dom düşü borularındaki su yoğunluğu ile ekran borularındaki su-buhar karışımı yoğunluğu arasındaki fark doğal sirkülasyona neden olur.

Domda ayrılan su ve buhardan su ekran borularına geri döner. Buhar ise içinde kalan su zerreciklerinden ayrılmak için bir dizi buhar ayırıcı ve kurutuculardan geçer. Kurutulan buhar sonra da kızdırıcı borulardan geçer.

Buhar çevriminde başlangıç basıncı artırılıp yoğuşturucu basıncı sabit tutulursa entalpi düşüş miktarı artar. Fakat basınçla aynı anda sıcaklık artırılmazsa ıslak buhar bölgesine girilmiş olur. Buharın ıslaklık derecesi buhar basıncı artırılması ile gerekli limitlerin altında tutulabilirse de ekonomik olmaz. Bu nedenle türbin tek gövde yerine yüksek, orta, alçak basınç kademelerinden oluşur. Taze buhar önce yüksek basınç kademesinden geçip, sınır eğrisi yakınlarına kadar genişler. Daha sonra ara kızdırıcıda başlangıç sıcaklığına kadar kızdırılır. Buhar orta ve alçak basınç kademelerinden geçerek yoğuşturucu basıncına kadar genişler. Böylece ıslaklık derecesi istenen limitler içinde tutulmuş olup ısı düşüş miktarı artırılmış olur.

Kazan yardımcı elemanları kömür besleme nozulları, ateşleme tabancaları, kurum üfleme denilen yanma sonu oluşan cürufun boru ve duvarlarda birikenlerini temizleyen teçhizat, su kesicileri, fırın içini gözlemek için kazan duvarlarında bulunan kapaklardır.

Kazanda yanma sonucu oluşan cüruf kazan altında bulunan cüruf çıkarıcı sistemi ile yapılır. Sistem kızaklı zincirli üzerine düşeni alıp kaydırarak dışarı vermek için çalışır.

Besleme suyunu kazan besleme tankına, buradan da kazana gönderen kazan besleme pompaları vasıtası ile su, yaklaşık 160 °C sıcaklıkta ısıtıcılardan geçirilerek, 235 °C sıcaklığa kadar yükseltilerek kazana gönderilir. Enerji üretimi gibi sürekliliği ve devamlılığı gerektiren bir proste yakıtı kazana taşımak ve yakmak çok önemlidir. Kömürün yanması ile kazanda açığa çıkan bu enerji kazanın içerisindeki borularda dolaşan suya verilir ve su buhar fazına geçer. Saatte yaklaşık 500 ton buhar üreten kazanda kızdırıcı boru paketlerinde 540 °C sıcaklığa çıkarılan buhar fazındaki suya ısı enerjisi verilmeye devam edilir.

Enerji yüklü bu kızgın buhar, buhar türbini rotoruna verilerek rotoru harekete geçirir ve döndürmeye başlar böylece buhardaki ısı enerjisi hareket enerjisine dönüştürülmüş olur. Bu hareket enerjisi de bir şaftla türbin rotoruna bağlı halde bulunan genaratör rotorunu aynı hızla çevirerek genaratörden elektrik enerjisine dönüşür. Böylece çevrimin amacı gerçekleşmiş ve elektrik enerjisi üretilmiş olur.

Türbinde işini bitiren buharın sıcaklığı ve basıncı 3254 kPa basınca, 344,4°C sıcaklığa düşer. Bu buhar tekrar kazana gönderilir kazanda istenilen 2928 kPa basınca ve 540 °C sıcaklığa ulaşan buhar tekrar türbine gönderilir. İş görmüş buhar yoğuşturucuya dökülür.

Buharın yoğuşması soğutma suyu yardımı ile yapılır. Yoğuşturucuda buharın sıcaklığını üzerine alan soğutma suyu soğutma kulelerinde soğutulup tekrar yoğuşturucudan geçirilerek kapalı devre olarak su dolaşımı devam eder.

Ana blok dışında 6 ünite için şu yardımcı tesisler mevcuttur.

- Kömür alma, hazırlama ve stoklama tesisleri
- Ham su depolama, temiz ve pis su tasfiye tesisleri
- İlk ısıtma, ateşleme için akaryakıt stoklama ve pompa tesisleri
- Atölye ve garaj
- Malzeme ve yedek malzeme ambarı, idari bina

Santral dışında şu tesisler vardır.

- Sevişler barajı
- Ayıtlı kül barajı
- Yırca kül barajı

Kazan ve turbo-jeneratör karakteristikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 ile verilmiştir;

Tablo 3.1 Kazan karakteristiği (SEAŞ, 2015c)

Kazan	
İmalatçı	Tilmace CSSK
Tip	Tekrar kızdırıcılı, kule tipi
Nominal Buhar Kapasitesi	525 ton/saat
Kızgın Buhar Basıncı	13925 kPa
Kızgın Buhar Sıcaklığı	540°C
Tekrar Kızdırılmış Buhar Basıncı	2928,3 kPa
Tekrar Kızdırılmış Buhar Sıcaklığı	540°C

Tablo 3.2 Turbo-Jeneratör karakteristikleri (SEAŞ, 2015a)

Turbo-Jeneratör	
İmalatçı	Skoda PLZEN
Türbin Tipi	Üç kademeli, yoğuşturuculu
Türbin Gücü	165 MW
Türbin Buhar Sıcaklığı	535°C
Türbin Buhar Basıncı	13337 kPa
Jeneratör Tipi	Hidrojen soğutmalı, statik ikazlı
Jeneratör Nominal Gücü	194,12 MVA
Jeneratör Çıkış Gerilimi	15 KV
Jeneratör Güç Faktörü	0,85
Jeneratör Devir Sayısı	3000 d/dk

3.3 Termik Santralde Sisteme Girenler

Santrallerde elektrik üretimi için gerekli olan girdiler şunlardır;

- Su
- Hava
- Kömür

3.3.1 Su

Termik santralde kullanılan sular;

- Yumuşak Su, ham su içindeki yabancı maddelerin çökertilmesi, kimyasallar yardımıyla bazı kimyasalların ayrıştırılması sonucu oluşan genel olarak magnezyum ve kalsiyum bakımından fakir olan geçici sertliği alınmış sudur. Soğutma suyu ve saf su üretiminde kullanılır.
- Saf Su, iyon değiştirici reçinelerden geçirilerek elde edilen sudur. Bu reçineler katyon ve anyon tutucu olmak üzere iki türdür. Mix-bed kolonları ise anyon ve katyon değiştirici reçinelerin bir arada bulunduğu kolondur. Bu kolonda anyon ve katyon değiştirici reçinelerin bulunduğu kolonlardan kaçan iyonlar tutulur. Belli bir süre sonra kirlenerek suyu arıtamaz hale gelen reçineler kimyasallarla tekrar aktif hale getirilir. Bu işleme rejenerasyon denir. Katyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonunda % 2-4 derişimde sülfürik asit, anyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonunda ise % 4 derişiminde sodyum hidroksit çözeltisi kullanılır.

3.3.2 Hava

Yanma odasında yanma işlemi ve kömür tozu taşınması için hava kanalları vasıtasıyla iki taze hava fanıyla alınır. Taze hava ön hava ısıtıcısında 10 dereceye kadar ısıtılır. Buradan luvo denilen ve eşanjör görevi gören dönerli hava ısıtıcısından geçerek ısısı daha da yükseltilir. Bir yarısından baca gazı olarak adlandırılan yanma sonucu oluşan ve bacadan atmosfere atılacak sıcak gaz geçer ve luvo peteklerini ısıtır, diğer yarısından ise taze hava geçer ve baca gazının ısıttığı peteklerin sıcaklığını alır ve sıcaklığı artar. Taze hava luvodan sonra kömür yakıcıları, yardımcı yakıt yakıcıları(yağ yakıcı), değirmen girişinde baca gazı kanalı, son yanma ızgaraları gibi birimlerden geçer.

Yanma sonucu oluşan baca gazı olarak adlandırılan içinde yanma ürünleri olan havada baca gazı fanı ile çekilerek elektrofiltreye verilir. Burada gaz içerisindeki yanma artıkları tutulur, hava ise bacadan atmosfere verilir.

3.3.3 Kömür

Madenlerden değişik kalori ve irilikteki kömür bantlar veya kamyonlarla santrallerde kömür sahalarında stoklanır (Şekil 3.4). Kırıcılardan geçirilerek belli büyüklüğe getirilen kömürün içinden yabancı maddeler, metaller alınır.

Santral sahasında stoklama işlemi stoker (stacker) ile yapılır (Şekil 3.5). Bunlar gelen kömürü stoklama ve stoktan alma işlemi yaparlar. Bu işlemleri yaparken kömürü kalori değeri, nem, kükürt içeriği ve tane boyut dağılımındaki dalgalanmayı en aza indirecek şekilde homojen kömür beslemesi için harmanlayıp verirler.



Şekil 3.4 Kömür stok sahası



Şekil 3.5 Kömür stok makinası

Kömürün maden sahasında, çıkarılması ve kamyonlara yüklenmesi Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 Kömürün çıkarılması ve yüklenmesi

Kömür stok sahasından bantlarla kömür bunkerine verilir. Bunkerden de değirmenlere verilir. Değirmenlerde kömür toz haline getirilir. Kömür değirmene girerken kazandan alınan sıcak havayla birleşerek değirmene girer. Bu sayede kömürün nemi alınmış olur. Değirmen çıkışından kazana verilir. Büyük parçalar değirmen çıkışında tekrar parçalanması için değirmene geri gönderilir.

3.4 Genel Ekipmanlar

3.4.1 Kazan

Kazan yakılan yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüştüğü ve bu ısı enerjisinin borular içerisinden geçen akışkana verildiği yere kazan denir. Soma Termik Santrali'ne ait kazan boru donanımına ait bir kesit Şekil 3.7 ile verilmiştir.

Kazanların çok farklı tipleri olmasına karşın günümüzde iki ana tipten bahsedilir;

- Pulverize kömürlü kazanlar
- Akışkan yataklı kazanlar

Anlatılanlar pulverize kömürlü kazanlar içindir. Akışkan yataklı kazanlar için şunlardan bahsedebiliriz;

Akışkan yataklı kazanın bunkerine kömür 10 mm civarında gelir ve alttan nozullarla hava verilen yatak üzerine gönderilir. Yanma kireç beslemesi de yapılan bu yatak üzerinde gerçekleşir.

Kazandaki diğer ekipmanlar;

- Değirmenler (Akışkan yataklı kazanda yok)
- Fanlar (FD Fanları, ID Fanları, Soğuk Gaz Fanları)
- Hava ön ısıtıcıları
- Kurum üfleyiciler
- Cüruf ızgarası



Şekil 3.7 Kazan boru donanımı

Yakıtın hava ile reaksiyonuyla oluşan tepkimeye yanma denir. Yanmayı kolaylaştırmak için kömür değirmenlerde parçalanır ve yüzey alanı artırılır.

Kömür yakıcıları, kazan yanma odasının duvarı üzerine dizilmiştir. Yakıcı ağızları yanma odasının konumunu ayarlamak için aşağı yukarı oynayabilir. Kömür yakıcılarından kömür havayla birlikte kazan içine püskürtülür.

Yağ yakıcıları, yardımcı yakıcı olarak isimlendirilir ve genelde motorin veya fuel-oil kullanılır. Yağ yakıcılar, kazan ateşlendiğinde yanmayı, yanmanın devam ettirilmesini, değişik yükte çalışmayı, kömür ile ilgili sıkıntı olduğunda kullanılırlar. Yağ yakıcı donmayı engellemek, akışkanlığı artırmak için ısıtılır.

Kazanın ilk ateşlemesinde kazanda yakıcı denilen, fuel-oil, propan ve motorin yakan yakıcılarla kazan ateşlenir ve kazan yanma oda sıcaklığı 400 °C (bu değerler değişebilir) derece sıcaklığa geldiğinde toz haline getirilmiş pulverize kömür kazan

içerisine değirmenler vasıtası ile püskürtülür. Püskürtülen bu kömür yakılmaya başlar ve devam edilir. Normal şartlarda kazan yanma oda sıcaklığı 800 - 1100 °C (bu değerler değişebilir) değerlerine getirilerek, ortalama 1000°C de sabit tutularak ısı enerjisi elde edilmeye devam edilir.

Son yanma ızgaraları yanma odasının cüruf hunisi altında yapılan ve yanma odasından düşen yanmamış cüruf parçalarının yanmasına olanak sağlar.

Elektrofiltre, yanma sonucu baca gazları ile birlikte bacaya doğru sürüklenen külü tutmak için tasarlanmıştır. Elektrofiltre yüzde 99 üzerinde verime sahiptir.



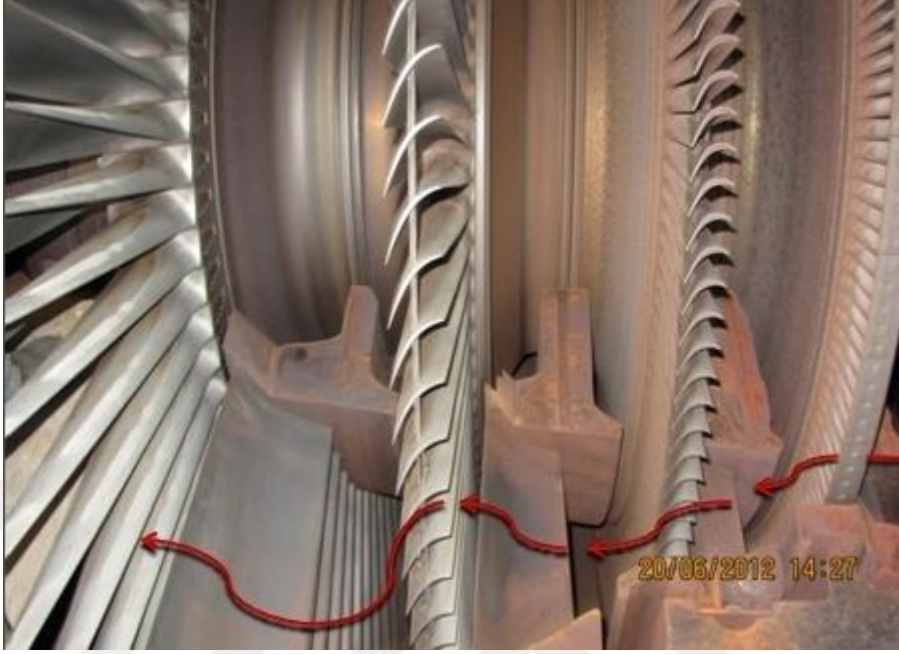
Şekil 3.8 Kazan içi yanma

Kazan içindeki yanma odası Şekil 3.8'te görülmektedir.

3.4.2 Türbin

Türbin, bir akışkanın enerjisini işe çevirmek için kullanılan sistemdir. Türbin bir mil ve üzerinde kanatçıklardan oluşur. Kullanılan akışkana göre türbinin yapısı değişir. Türbin çalışma prensibi, akışkan türbinin kanatçıklarına çarpar ve türbin miline hareket verir, hareket milin çıkışında mekanik işe dönüşür.

(<https://tr.wikipedia.org/wiki/Türbin,2015>). Buharın türbin kanatları arasındaki akışı Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Buharın türbin kanatlarında izlediği yol

Bir buhar türbini, genel olarak yatay ekseni etrafında dönebilen bir rotor, bu rotor üzerine monte edilmiş ve rotorla beraber dönen hareketli kanatlar, türbin gövdesi, bu gövde içinde bulunan iç gövde, sabit kanat taşıyıcıları ve sabit kanatlardan meydana gelir. Rotor, her iki tarafından radyal yataklarla yataklanmıştır. Aksinel yatak, rotoru aksinel yönde sabitleştirir. Buharın türbinden dışarı kaçmasının söz konusu olduğu yerler labirentlerle donatılmıştır.

Kazandan gelen taze buhar gövde içerisine girerek türbinin tüm kanat basamaklarına akar. Buhar, türbinin içerisinde ilerlerken iş meydana getirir ve hacmi genişler. Bu nedenle basamaklar ilerledikçe türbinin sabit ve hareketli kanatlarının boyları daha uzun dizayn edilir.

Buhar, sahip olduğu enerjisini türbin kanatları yardımıyla rotora verdikten sonra iş görmüş çürük buhar yoğunlaştırıcıya dökülür. Çeşitli basınç basamaklarından alınan

ara buhar, borular ile gövdeden ayrılarak besleme suyu ısıtıcılarına gönderilir. Bu ara buharlarla kazana giden besleme suyu ısıtılır.

Türbin çıkış tarafında bulunan jeneratörün rotoru, türbin rotoruna kaplinle bağlanmıştır.

Buhar kazanında üretilen yüksek sıcaklık ve yüksek basınca sahip kızgın buhar, buhar türbinine gönderilir. Türbinin kanatlarına çarparak türbini döndüren kızgın buharın ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşür. Türbindeki bu dönme hareketiyle, türbin şaftına bağlı durumdaki jeneratör de döner ve jeneratörde mekanik enerjinin, elektrik enerjisine dönüşümü sağlanır. Buhar türbini çıkışında enerjisinin bir kısmı alınmış durumdaki buhar, su soğutmalı yoğuşturucuda yoğuşturularak su fazına dönüştürülür. Oluşan yoğuşum tekrar kazana gönderilerek çevrimin devam etmesi sağlanır.

Türbin elemanları;

- Dış kasa
- İç kasa
- Rotor
- Kanatlar (Sabit ve hareketli kanatlar)

Çalışma prensibine göre türbinler;

- Aksiyon türbinleri
- Reaksiyon türbinleri (<https://tr.wikipedia.org/wiki/Türbin,2015>)

Aksiyon türbinlerinde basınç ve sıcaklık düşüşü, başka bir deyişle ısı düşüşü sadece sabit kanatlarda yapılırken, reaksiyon türbinlerinde hem sabit, hem de seyyar yani hareketli kanatlar yapılır.

Türbin devri 3000 d/dk'dır. Türbinde devir, hız ve yük kontrol sistemleri tam otomatik olup türbin ayar sistemi türbin miline bağlı olan ana yağ pompasının temin ettiği yağla hidrolik olarak sağlanmaktadır. Türbini aşırı hızlara karşı koruyan ve üniteyi devre dışı bırakan aşırı hız trip pimleri mevcuttur.

Türbin iç ve dış gövdeleri döküm malzemedir. Rotorlar özel olarak üretilmişlerdir. Rotorlar birbirlerine kaplin ile bağlıdır.

Degazör kazan besleme tankı üzerindedir. Isıman buharı ve içindeki gazların ayrıştırıldığı ve atmosfere atıldığı yerdir.

3.4.3 Alçak Basınç ve Yüksek Basınç Isıtıcıları

Sistem verimini artırmak elde edilen ısı enerjisinden daha fazla yararlanmak için ısıtıcılar kullanılır. Her bir grupta 4 adet alçak basınç, 2 adet yüksek basınç olmak üzere toplam 6 adet ısıtıcı bulunmaktadır.

Alçak basınç 1, 2, 3 ısıtıcılarının 380 m², alçak basınç 4 ısıtıcısının 410 m² ısıtma yüzeyi bulunmaktadır. Yüksek basınç ısıtıcılarının ise 520 m² ısıtma yüzeyi bulunmaktadır. 2 numaralı yüksek basınç ısıtıcısının ara buharı yüksek basınç türbininden, 1 numaralının ise orta basınç türbininden alınmaktadır. Alçak basınç 1, 2, 3 numaralı ısıtıcıların ara buharı alçak basınç türbininden, 4 numaralının ise orta basıncın çıkış kademesinden alınmaktadır.

Isıtıcı boru demetlerinden geçen besleme suyu sıcaklığı, türbin ara buhar kademelerinden alınan buharın boru demetleri üzerinden geçerken ısıtması ile artırılır. Isıtıcılara ait görüntüler Şekil 3.10 ve Şekil 3.11 ile verilmiştir.



Şekil 3.10 Alçak basınç ısıtıcısı



Şekil 3.11 Yüksek basınç ısıtıcısı

3.4.4 Yoğuşturucu

Türbinden çıkan, buhar enerjisi diğer bir deyişle basınç ve sıcaklığı azalmış buhar, yoğuşturucu denilen bölümde soğutulup su haline dönüştürüldükten sonra, tekrar kullanılmak üzere kazana geri gönderilir. Yoğuşturucu içinde 15000 adet boru, 12000 metrekare ısı transfer yüzeyi bulunur. Yoğuşturucuda soğutma işini sağlayabilmek için deniz, göl veya ırmaklarda bulunan su kullanılır. Su kaynaklarından uzak bölgelerde ise soğutma kuleleri kullanılır. Soğutma kulelerine gelen su yağmurlama usulü ile soğutulup ve yeniden sisteme verilecek sıcaklığa düşürülerek soğutulur ve su sisteme geri gönderilir. Bu işlem kapalı çevrim şeklinde sürekli devam etmektedir. Yoğuşturucunun dış görünüşü Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.12 Yoğuşturucu genel görünüşü

3.4.5 Soğutma Kuleleri

Sistemde cebri sirkülasyonlu (fanlı) soğutma kuleleri bulunmaktadır. Su-buhar çevriminde kullanılan suyun sıcaklığını yoğuşturucuda düşürmek için kullanılan su

soğutma kulelerinde soğutulur ve tekrar yoğuşturucuya soğutma işlemini yapması için geri gönderilir.

Her bir grup için 1 adet olmak üzere 6 adet cebri çekişli soğutma kulesi mevcuttur. 23500 m³/saat kapasiteye sahip, 352,66 m³/saat su kaybı vardır. Her bir bölümde bir adet olmak üzere 11 bölümde toplamda 11 adet fan dan oluşmaktadır. Hava şartlarına göre değişmekle birlikte giriş su sıcaklığı 40°C, çıkış su sıcaklığı 30°C'dir (SEAS, 2015b). Soğutma kuleleri Şekil 3.13'te görülmektedir.



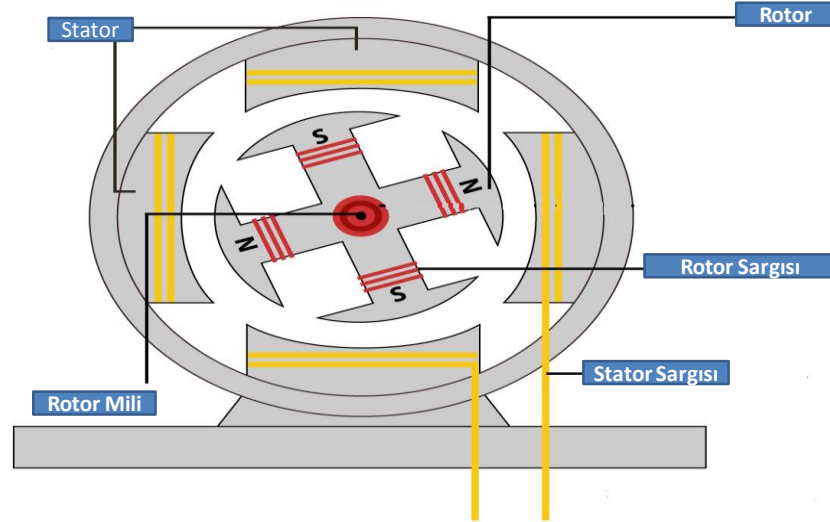
Şekil 3.13 Soğutma kuleleri

3.4.6 Jeneratör

Buhar türbini ile bağlı olarak dizayn edilmiştir. Jeneratör genel yapısı Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Jeneratör kısımları;

- Stator
- Rotor

- Gaz soğutucuları
- Rulmanlı yatak ve fırça tertibatı
- Şalt sızdırmazlık elemanları
- Temel plakaları
- Jeneratör ve ikazlayıcı ısı kontrol sistemi
- Jeneratör hidrojenli soğutma sistemi
- Jeneratör statorunu suyla soğutma sistemi
- Jeneratör ikaz sistemi



Şekil 3.14 Jeneratör yapısı

Jeneratörler, stator ve rotor adı verilen iki ana bölümden oluşurlar. Stator gövdesi genellikle kaynaklı tiptendir. Gövde içerisine 0,5 mm kalınlığındaki saçların üst üste konulması ile oluşturulan saç paketleri yerleştirilir. Bu saç paketlerinde açılmış oluklara ise stator sargıları döşenir ve mika ya da benzeri yalıtkanlarla birbirlerinden ayrılır. Jeneratör rotoruna indüktörde denebilir. Rotorda oluşturulan manyetik alanın stator içinde döndürülmesiyle stator sargılarında voltaj indüklenmiş olur (Başaran, 2012,s.11).

Jeneratörlerin boylarının uzun, çaplarının küçük seçilmesinin nedeni devirleri yüksek olmasından dolayı (3000 d/dk), rotor üzerinde oluşan büyük merkezkaç kuvvetleri rotorların maksimum çaplarını sınırlar.

Jeneratörün de ilk olarak indüklenmesi için ilk indüklemeyi veren bir ikaz jeneratörü bulunmaktadır.



Şekil 3.15 Jeneratör görünüş

Jeneratörden çıktıktan sonra ana transformatörde gerilimi yükseltileen enerji genel olarak ayırıcı, kesici, bara, transformatör ve yardımcı teçhizattan oluşan elektrik dağıtmak için kullanılan şalt sahasına verilir.

3.4.7 Elektrofiltre

Kazanda yakılan kömür %45-50 oranında kül içermektedir. Yanma olayı sonucu oluşan uçucu külün çevreye zarar vermemesi için elektrofiltrelerde tutulması gerekmektedir.

Sistemde her bir ünite için iki adet elektrostatik elektrofiltre bulunmaktadır. Bunlar zıt elektrik yüklerinin birbirini çekmesi ilkesine göre çalışır ve %99 kül tutma oranına sahiptir.

Sistemin çalışabilmesi için elektrotlarda doğru akıma ihtiyaç vardır. Toz yoğunluğuna göre de gerilim ayarlanabilmelidir. Baca gazı fanının yanma sonucu oluşan külleri çekmesiyle gelen gaz elektrofiltre içinden geçerken yükleyici ve toplayıcı elektrotlar arasında yüksek doğru akım gerilimi ile iyonize olurlar ve (-) yükle yüklenirler. (+) yüklü toplama elektrotları negatif yüklü iyonları çeker ve üzerinde toplar. Silkeleme sistemi ile de + yüklü olan toplama elektrodu üzerinde toplanan küller elektrofiltre altında bulunan bunkere düşürülür. Yükleme ve toplama elektrotları elektrofiltre içinde sıra ile birbirlerine paralel olacak şekilde düşey olarak yerleştirilmişlerdir. Yükleme elektrotları 2,5 mm kalınlığındadır. Toplama elektrotları ise orta karbonlu çelik plakalardan yapılmıştır.

3.5 Atıklar

Yanma olayı sonucu çıkan kül cüruf karışımı kül stok sahasında toplanır. Elektrofiltre altından kazan altından vb. yerlerden kül-cüruf alınır. Su ile karıştırılıp kül stok sahasına gönderilir. Baca gazları ise elektrofiltre ile zararlı partiküller tutularak bacadan atmosfere verilir.



Şekil 3.16 Ayıtlı Kül Barajı

Uçucu Küller

- Kazan baca kanalı luvo öncesi bunkerden
- Dönerli hava ısıtıcısı (luvo) bunkerinden
- Elektrofiltre bunkerinden alınmaktadır.

Cüruf ise cüruf teknesinden paletler ile çıkartılarak hidrolik sisteme oradan kül barajına sevk edilmektedir. Atıkların baraja dökülüşü Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

BÖLÜM DÖRT

TERMODİNAMİK ANALİZ

Bu bölümde Soma Termik Santrali buhar çevriminin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Tasarım ve işletme değerleri ile yapılan analiz sonucunda karşılaştırma yapılmış ve sistemin durumu görülmüştür.

4.1 Santral Çalışma Sistemi

Gerekli hesaplama ve analizleri yapabilmek için sisteminin akış şeması çıkartılmıştır. Analizi yapılacak ekipmanlar belirlenmiş, ekipmanların giriş ve çıkış hatları numaralandırılmıştır.

Şekil üzerindeki noktaların açıklaması Tablo 4.1 ile aşağıda verilmiştir.

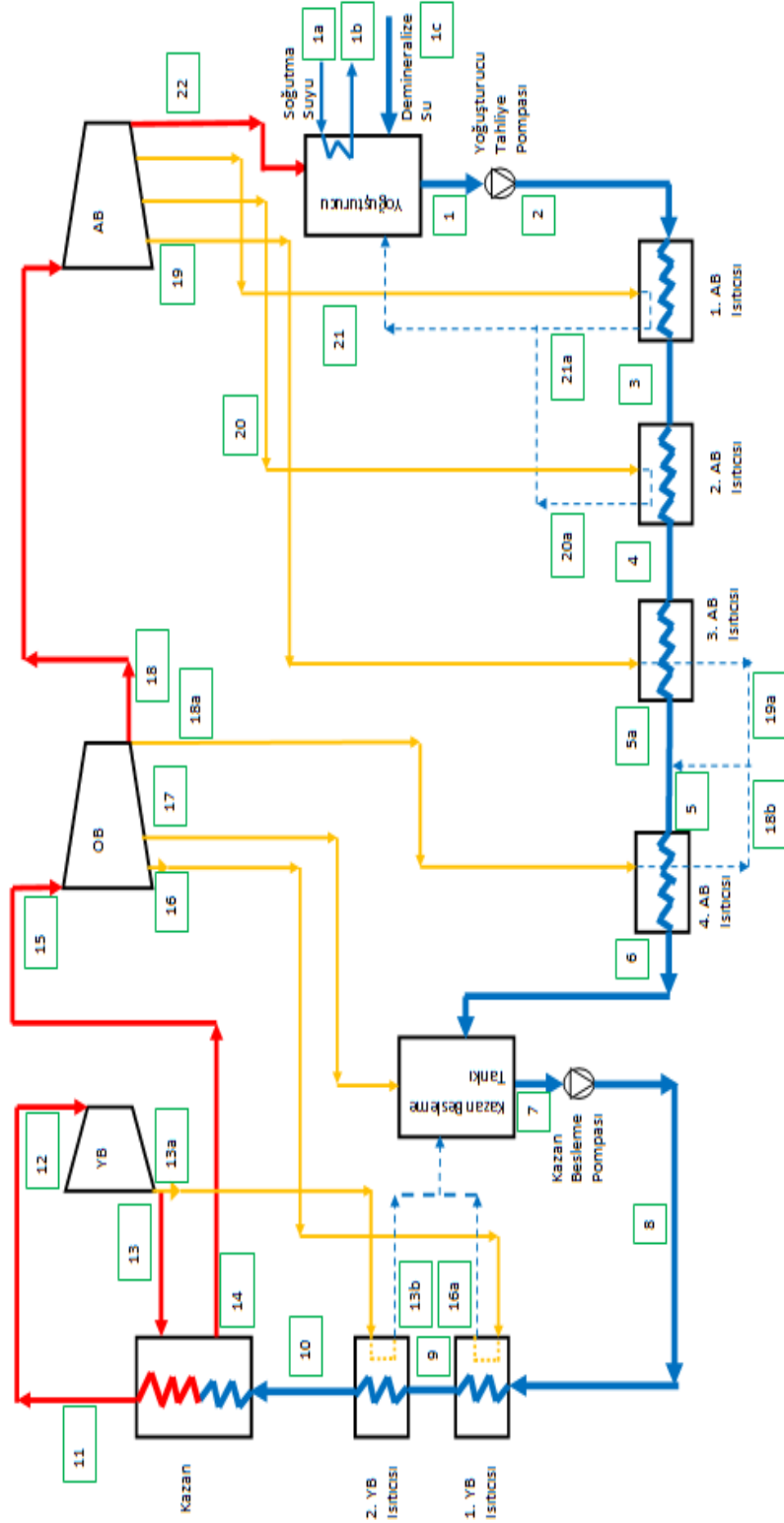
Tablo 4.1 Ekipman giriş-çıkış noktaları

1 Noktası	Yoğuşturucu çıkışı, tahliye pompası girişi
2 Noktası	Yoğuşturucu tahliye pompası çıkışı, 1. AB ısıtıcısı girişi
3 Noktası	1. AB ısıtıcısı çıkışı, 2. AB ısıtıcısı girişi
4 Noktası	2. AB ısıtıcısı çıkışı, 3. AB ısıtıcısı girişi
5 Noktası	4. AB ısıtıcısı girişi, karışım sonrası
6 Noktası	4. AB ısıtıcısı çıkışı, kazan besleme tankı girişi
7 Noktası	Kazan besleme tankı çıkışı, kazan besleme pompası girişi
8 Noktası	Kazan besleme pompası çıkışı, 1. YB ısıtıcısı girişi
9 Noktası	1. YB ısıtıcısı çıkışı, 2. YB ısıtıcısı girişi
10 Noktası	2. YB ısıtıcısı çıkışı, kazan girişi
11 Noktası	Kazan çıkışı
12 Noktası	YB türbin girişi
13 Noktası	YB türbin çıkışı, kazan tekrar girişi
14 Noktası	Kazan çıkışı
15 Noktası	OB türbin girişi
16 Noktası	OB türbin çıkışı, 1. YB ısıtıcısı girişi ara buharı

Tablo 4.1 Ekipman giriş-çıkış noktaları (devamı)

17 Noktası	OB türbin çıkışı, kazan besleme tankı girişi ara buharı
18 Noktası	OB türbin çıkışı, AB türbin girişi
19 Noktası	AB türbin çıkışı, 3. AB ısıtıcısı girişi ara buharı
20 Noktası	AB türbin çıkışı, 2. AB ısıtıcısı girişi ara buharı
21 Noktası	AB türbin çıkışı, 1. AB ısıtıcısı girişi ara buharı
22 Noktası	AB türbin çıkışı, yoğuşturucu girişi
1a Noktası	Soğutma kulesi çıkışı, yoğuşturucu girişi
1b Noktası	Yoğuşturucu çıkışı, soğutma kulesi girişi
1c Noktası	Yoğuşturucu demineralize suyu girişi
5a Noktası	3. AB ısıtıcısı çıkışı, karışım öncesi
13a Noktası	YB türbin çıkışı, 2. YB ısıtıcısı girişi ara buharı
13b Noktası	13a numaralı ara buhar hattının 2.YB ısıtıcısından doymuş sıvı olarak çıkışı
16a Noktası	16 numaralı ara buhar hattının 1.YB ısıtıcısından doymuş sıvı olarak çıkışı
18a Noktası	OB türbin çıkışı, 4. AB ısıtıcısı girişi ara buharı
18b Noktası	18a numaralı ara buhar hattının 4.AB ısıtıcısından doymuş sıvı olarak çıkışı
19a Noktası	19 numaralı ara buhar hattının 3.AB ısıtıcısından doymuş sıvı olarak çıkışı
20a Noktası	20 numaralı ara buhar hattının 2.AB ısıtıcısından doymuş sıvı olarak çıkışı
21a Noktası	21 numaralı ara buhar hattının 1.AB ısıtıcısından doymuş sıvı olarak çıkışı

Santrale ait akış diyagramı sadeleştirilmiş haliyle Şekil 4.1 ile verilmiştir.



Şekil 4.1 Santral çalışma sistemi

4.2 Tasarım ve İşletme Değerleri

Santralde bulunan her bir ekipman için giriş çıkış hatları belirlendikten sonra bu hatların tasarım şartlarında ve günümüz işletme şartlarında sahip olduğu debi, sıcaklık, basınç değerleri tespit edilmiştir. Bu veriler kullanılarak hatların entalpi ve entropi değerleri bulunmuştur. Değerler Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 ile verilmiştir.

Yoğuşturucu ve kazan besleme tankı çıkışı doymuş sıvıdır. Besleme suyu ısıtıcılarından yoğuşturucuya dönüşlerde de doymuş sıvı alınmıştır.

Tasarım değerleri tesis akım şemasından, işletme değerleri ise yerinde okunarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.2 Tasarım değerleri

Tasarım Değerleri					
Noktalar	Sıcaklık (T)	Basınç (P)	Debi (m)	Entalpi (h)	Entropi (s)
	°C	kPa	kg/s	kJ/kg	kJ/(kg.K)
1	39,4	8,16 (x=0)	109,3	165	0,5643
2	39,4	2200	108,987	166,9	0,5634
3	58,45	2200	108,987	246,5	0,8105
4	79,6	2200	108,987	335	1,069
5a	102,6	2200	108,987	431,6	1,335
5	102,8	2200	119,843	432,4	1,337
6	123,2	2200	119,843	518,8	1,56
7	159,5	610 (x=0)	143,85	673,5	1,938
8	163	17100	143,85	698,3	1,953
9	186,3	17100	143,85	799	2,178
10	234	17100	143,85	1012	2,619
11	540	13925	143,123	3433	6,533

Tablo 4.2 Tasarım değerleri (devamı)

Tasarım Değerleri					
Noktalar	Sıcaklık (T)	Basınç (P)	Debi (m)	Entalpi (h)	Entropi (s)
	°C	kPa	kg/s	kJ/kg	kJ/(kg.K)
12	535	13337	143,123	3427	6,542
13	344,4	3254,4	123,944	3096	6,676
13a	344,4	3035	14,276	3101	6,714
14	540	2928,3	123,944	3547	7,359
15	535	2928,3	123,944	3536	7,345
16	420,9	1329,8	4,76	3304	7,393
17	336,23	689,1	6,86	3135	7,433
18	225,6	251,9	110,895	2919	7,502
18a	225,1	233,7	4,294	2919	7,536
19	161,16	126,5	4,274	2796	7,553
20	92,3	54,7	2,853	2666	7,61
21	62,35	22,2	3,438	2542,6	7,661
22	41,89	8,16 (x=0,9415)	98,668	2436,3	7,774
1a	30	- (x=0)	6527,78	-	-
1b	38	-	6527,78	-	-
1c	24	- (x=0)	3,13	100,6	0,3529
13b	-	3035 (x=0)	14,276	1011	2,651
16a	-	1329,8 (x=0)	4,76	819,6	2,261
18b	-	233,7 (x=0)	4,294	526,1	1,584
19a	-	126,5 (x=0)	4,274	445,8	1,378
20a	-	54,7 (x=0)	2,853	350	1,118
21a	-	22,2 (x=0)	3,438	261	0,8606

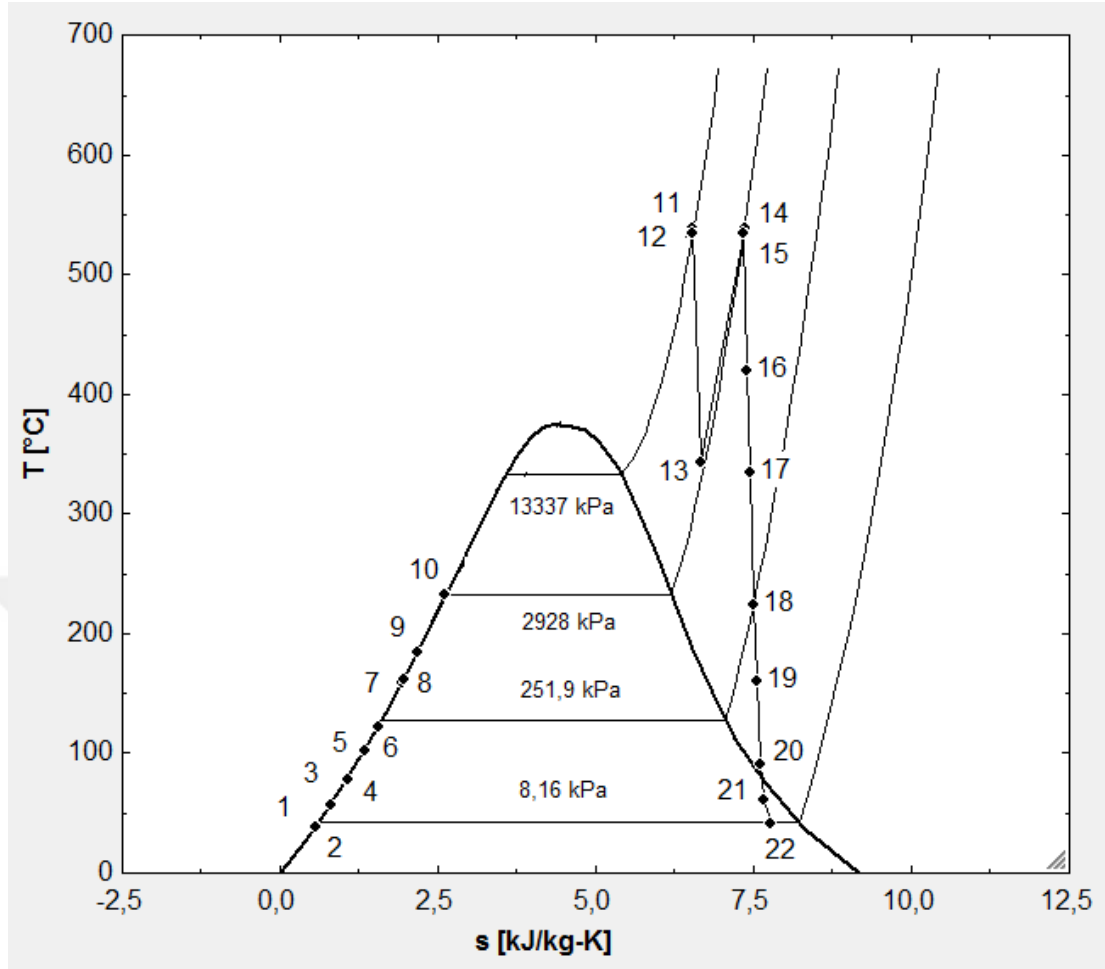
Tablo 4.3 İşletme değerleri

İşletme Değerleri					
Noktalar	Sıcaklık (T)	Basınç (P)	Debi (m)	Entalpi (h)	Entropi (s)
	°C	kPa	kg/s	kJ/kg	kJ/(kg.K)
1	48	12,34 (x=0)	124	201	0,6778
2	48	2000	124	202,7	0,6769
3	58	2000	124	244,5	0,805
4	79	2000	124	332,3	1,062
5a	102	2000	124	428,9	1,328
5	98	2000	132,2	412,1	1,283
6	121	2000	132,2	509,3	1,537
7	160	617,7 (x=0)	155,2	675,7	1,943
8	160	17500	136	685,7	1,923
9	180	17500	136	771,9	2,118
10	230	17500	136	993,5	2,582
11	540	13700	136	3436	6,542
12	535	13600	136	3424	6,53
13	340	3000	124	3091	6,704
13a	340	3000	12	3091	6,704
14	540	3000	124	3547	7,347
15	535	3000	124	3535	7,334
16	400	1250	4,5	3260	7,357
17	300	600	6,5	3061	7,372
18	200	160	109	2872	7,612
18a	200	160	4	2872	7,612
19	140	100	4,2	2756	7,565
20	120	50	4,2	2721	7,796
21	80	30	2,6	2646	7,828
22	50	12,34 (x=0,9862)	98	2558	7,972

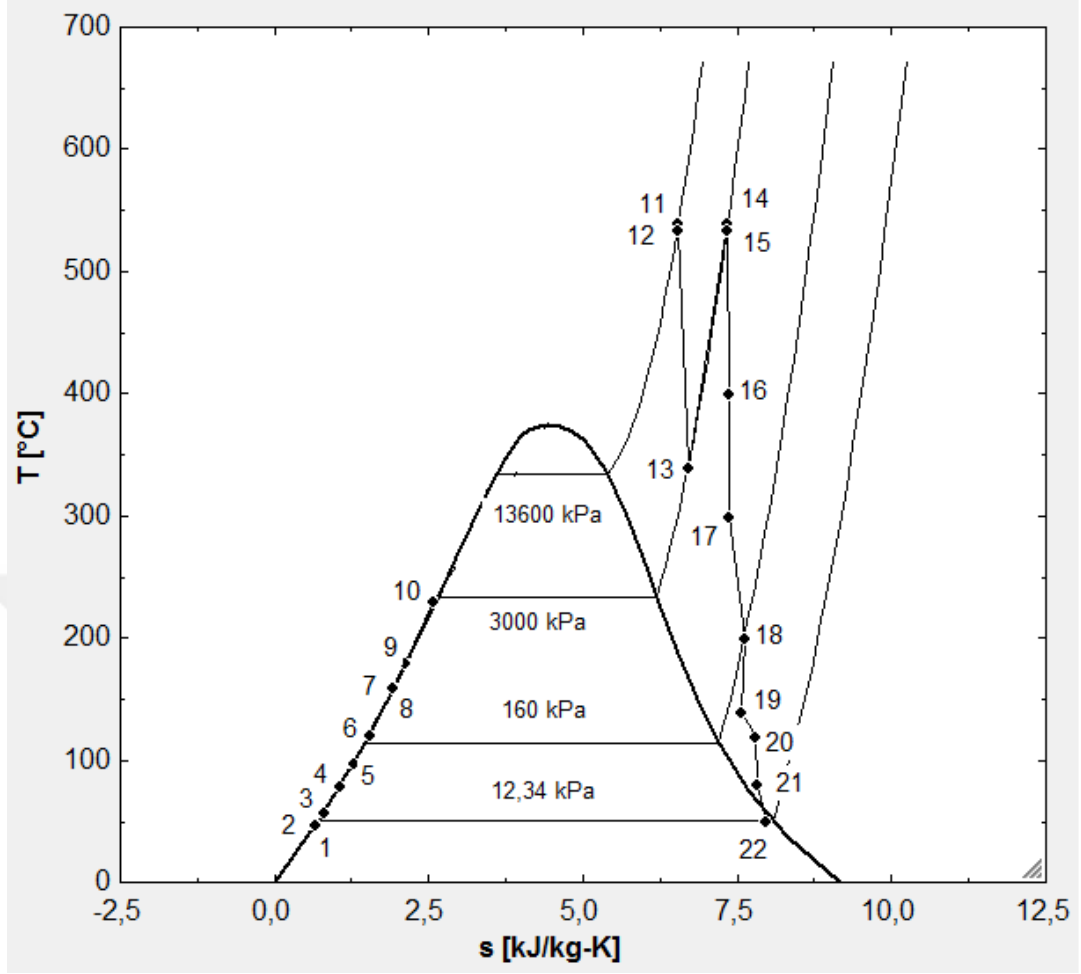
Tablo 4.3 İşletme değerleri (devamı)

İşletme Değerleri					
Noktalar	Sıcaklık (T)	Basınç (P)	Debi (m)	Entalpi (h)	Entropi (s)
	°C	kPa	kg/s	kJ/kg	kJ/(kg.K)
1a	29	- (x=0)	6111,1	-	-
1b	38	-	6111,1	-	-
1c	24	- (x=0)	19,2	100,6	0,3529
13b	-	3000 (x=0)	12	1008	2,645
16a	-	1250 (x=0)	4,5	806,9	2,234
18b	-	160 (x=0)	4	475,4	1,455
19a	-	100 (x=0)	4,2	417,5	1,303
20a	-	50 (x=0)	4,2	340,5	1,091
21a	-	30 (x=0)	2,6	289,3	0,9441

Tasarım ve işletme değerlerine göre EES programı yardımı ile çizilen T-s diyagramları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile verilmiştir.

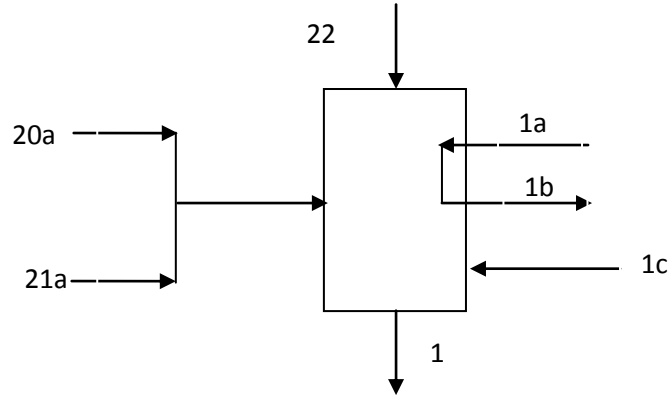


Şekil 4.2 Tasarım değerleri kullanılarak yapılan analiz sonucunda EES programı ile çizilen T-s diyagramı



Şekil 4.3 İşletme değerleri kullanılarak yapılan analiz sonucunda EES programı ile çizilen T-s diyagramı

- AB türbinden gelen kullanılmış buhar ve su ısıtıcılarında yoğuşan su hatları yoğuşturucuda birleşmekte ve soğutucu su yardımıyla doymuş su haline dönmektedir. Ayrıca çevrimde eksilen su miktarının tamamlanması için demineralize su takviyesi yapılmaktadır. Yoğuşturucu giriş ve çıkış hatları Şekil 4.4'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Yoğuşturucu karışım diyagramı

$$\dot{Q}_{Soğutma\ Suyu} = \dot{m}_{1a} \times c_{p_{su}} \times (T_{1b} - T_{1a}) \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} (\dot{m}_{22} \times h_{22}) + (\dot{m}_{20a} \times h_{20a}) + (\dot{m}_{21a} \times h_{21a}) + (\dot{m}_{1c} \times h_{1c}) - (\dot{m}_1 \times h_1) \\ = \dot{Q}_{yoğuşturucu} \end{aligned} \quad (4.2)$$

$c_{p_{su}}$ değeri 4,18 kJ/kg.K olarak alınmıştır.

Tasarım verileri kullanılarak soğutma suyunun yoğuşturucudan uzaklaştırdığı ısı (4.1) eşitliği ile 218289 kW, yoğuşturucudan uzaklaştırılması gereken ısı yükü ise (4.2) eşitliği ile 224569 kW olarak hesaplanır. İki değer arasındaki fark yaklaşık %3'tür. Bu durum yapılan kabul ve hesaplamaların, kabul edilebilir olduğunu gösterir.

İşletme durumunda, alçak basınç türbin çıkışı (22 noktası) kuruluk derecesi ölçülememiştir. Bu nedenle, bu noktadaki entalpi değeri yoğuşturucu enerji dengesinden (4.2) eşitliği ile $h_{22} = 2558$ kJ/kg bulunmuştur. Bu değerle birlikte 22 noktasındaki basınç değeri ($P_{22} = P_{yoğuşturucu} = 12,34$ kPa) alındığında kuruluk derecesi $x_{22} = 0,9862$ olarak bulunur.

4.3 Hesaplamalar

4.3.1 Isıtıcılar

Yüksek ve alçak basınç ısıtıcıları, türbinden alınan ara buhar ile çevrim suyunu ön ısıtma amaçlı kullanılır. İncelenen sistemde ısıtma tarafında birden fazla buhar hattı veya başka bir ısıtıcıdan gelen yoğuşma suyu dönüş hattı olabilmesine rağmen, sadelik ve anlaşılabilirlik açısından sadece ısıtıcıya gelen ana buhar ve dönüş hattı gösterilmiştir. Isıtıcıların kapasitesi, kazan besleme suyunun entalpi artışından hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{\text{ısıtıcı}} = \dot{m}_{\text{su}} \times (h_{\text{çıkan}} - h_{\text{giren}}) \quad (4.3)$$

(4.3) eşitliği kullanılarak ısıtıcıların yükleri hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Tablo 4.4 ile verilmiştir.

Tablo 4.4 Tasarım ve işletme değerlerine göre ısıtıcı yükleri

Isıtıcı Yükleri		
Ekipman	Tasarım Değerleri (kW)	İşletme Değerleri (kW)
1. AB Isıtıcısı	8672	5180
2. AB Isıtıcısı	9640	10891
3. AB Isıtıcısı	10532	11982
4. AB Isıtıcısı	10347	12853
1. YB Isıtıcısı	14488	11718
2. YB Isıtıcısı	30585	30140

4.3.2 Yoğuşturucu

Tasarım ve işletme durumlarındaki yoğuşturucu ısı yükleri, (4.1) eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

4.3.3 Kazan Besleme Tankı

Besleme suyu, kazana verilmeden önce kazan besleme tankında (KBT), alçak basınç ısıtıcılarından gelen ısınmış su, yüksek basınç ısıtıcılarından gelen yoğuşum suyu ile birlikte orta basınç türbininden gelen ara buhar ile karıştırılıp istenilen sıcaklığa getirilir. KBT üzerinde ayrıca degazör adı verilen buhar içindeki O₂, N₂ gibi çözünmüş gazlar ayrılarak, dışarı atılmaktadır.

Kazan besleme tankı ısıl dengesinde, kazan besleme tankı su giriş çıkış durumları bilinmektedir. Verilerin doğruluğunu kontrol etmek amacı ile, ısıtma amaçlı olarak verilmesi gereken buhar miktarı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmış ve Tablo 4.3 de verilen veri değeri ile karşılaştırılmıştır.

$$\dot{m}_{17} \times h_{17} = \dot{m}_7 \times h_7 - \dot{m}_6 \times h_6 - \dot{m}_{13b} \times h_{13b} - \dot{m}_{16a} \times h_{16a} \quad (4.4)$$

Burada buhar miktarı, işletme durumunda 7,12 kg/s olarak hesaplanmıştır. Bu değer Tablo 4.3'te verilen buhar miktarı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

4.3.4 Kazan

Kazan yükü, ana buhar hattı ve tekrar kızdırıcı yüklerinin toplamıdır.

$$\dot{Q}_{Kazan} = \dot{m}_{10} \times (h_{11} - h_{10}) + \dot{m}_{13} \times (h_{14} - h_{13}) \quad (4.5)$$

4.3.5 Pompa

Sistemde 1 adet yoğuşturucu tahliye ve 1 adet kazan besleme olmak üzere 2 adet pompa bulunmaktadır. Pompalar ile ilgili bilgi bulunamadığı için pompa verimi (η_{Pompa}) 0,70 alınmıştır. Suyun hacimsel debisi $v_{su}=0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$ kabul edilmiştir. Pompa güçleri (4.5) ve (4.6) eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

$$\dot{W}_{Pompa, YTP} = \frac{\dot{m}_1 \times v_1 \times (P_2 - P_1)}{\eta_{Pompa}} \quad (4.6)$$

$$\dot{W}_{Pompa, KBP} = \frac{\dot{m}_7 \times v_7 \times (P_8 - P_7)}{\eta_{Pompa}} \quad (4.7)$$

Toplam pompa gücü, yoğuşturucu tahliye pompası gücü ile kazan besleme pompası gücünün toplamına eşittir.

$$\dot{W}_{Pompa} = \dot{W}_{Pompa, YTP} + \dot{W}_{Pompa, KBP} \quad (4.8)$$

4.3.6 Türbin Güçleri ve İzentropik Verimleri

Türbin güçleri, türbinlere giren ve çıkan buharların, sahip oldukları enerji farklarından hesaplanır. Yüksek basınç, orta basınç ve alçak basınç türbin güçleri (4.8), (4.9), (4.10) eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

$$\dot{W}_{YB} = \dot{m}_{12} \times (h_{12} - h_{13}) \quad (4.9)$$

$$\dot{W}_{OB} = (\dot{m}_{15} \times h_{15}) - (\dot{m}_{16} \times h_{16}) - (\dot{m}_{17} \times h_{17}) - (\dot{m}_{18} \times h_{18}) - (\dot{m}_{18a} \times h_{18a}) \quad (4.10)$$

$$\dot{W}_{AB} = (\dot{m}_{18} \times h_{18}) - (\dot{m}_{19} \times h_{19}) - (\dot{m}_{20} \times h_{20}) - (\dot{m}_{21} \times h_{21}) - (\dot{m}_{22} \times h_{22}) \quad (4.11)$$

Toplam türbin gücü, yüksek basınç, orta basınç ve alçak basınç türbin güçlerinin toplamına eşittir.

$$\dot{W}_{Türbin} = \dot{W}_{YB} + \dot{W}_{OB} + \dot{W}_{AB} \quad (4.12)$$

Çevrimden elde edilen net güç, türbin ve pompa güçlerinin farkıdır.

$$\dot{W}_{Net} = \dot{W}_{Türbin} - \dot{W}_{Pompa} \quad (4.13)$$

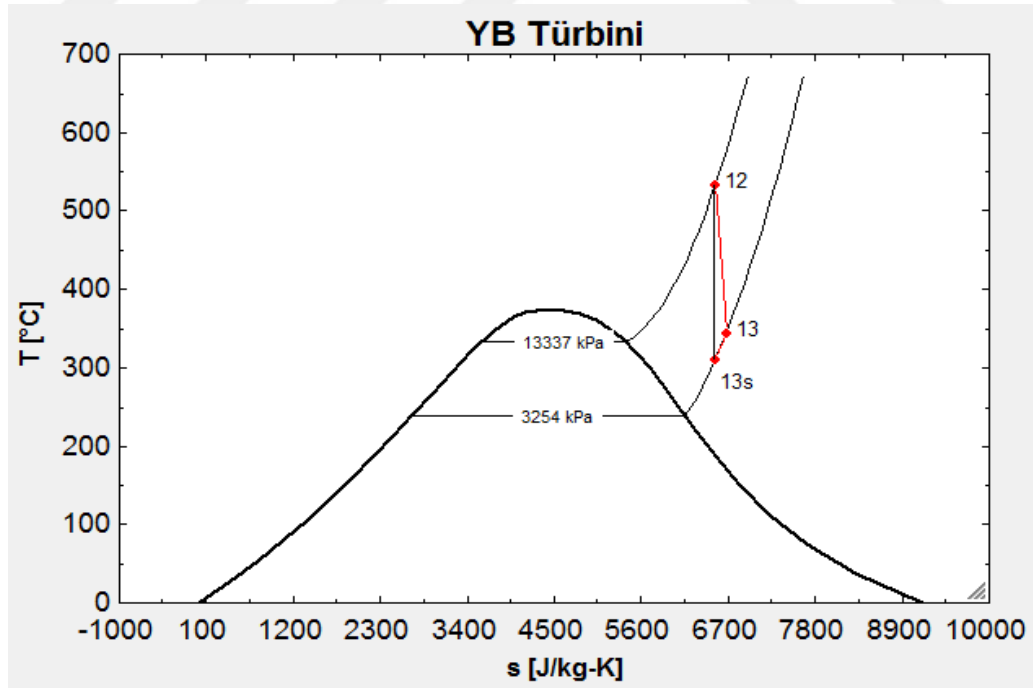
Çevrim verimi ise net gücün, kazan yüküne oranıdır.

$$\eta_{Çevrim} = \frac{W_{net}}{Q_{Kazan}} \quad (4.14)$$

Türbin izentropik verimleri, türbin giriş ve çıkışı arasındaki entropi değişiminden hesaplanır.

YB türbini için, türbin giriş ve çıkışındaki entropi (s) değerleri ($s_{12}=s_{13s}$) eşit kabul edilip, h_{13s} , P_{13} ve s_{13s} cinsinden bulunur ve verim şu şekilde tanımlanır;

$$\eta_{YB} = \frac{h_{12} - h_{13}}{h_{12} - h_{13s}} \quad (4.15)$$



Şekil 4.5 Yüksek basınç türbini giriş çıkış noktaları T-s diyagramı

Şekil 4.5 türbin giriş çıkış noktalarını T-s diyagramı üzerinde görmek için örnek olarak verilmiştir.

OB türbini için, türbin girişi ve çıkışındaki entropi (s) değerleri ($s_{15}=s_{18s}$) eşit kabul edilip, h_{18s} , P_{18} ve s_{18s} cinsinden bulunur ve verim şu şekilde tanımlanır;

$$\eta_{OB} = \frac{h_{15}-h_{18}}{h_{15}-h_{18s}} \quad (4.16)$$

AB türbini için, türbin girişi ve çıkışındaki entropi (s) değerleri ($s_{18}=s_{22s}$) eşit kabul edilip, h_{22s} , P_{22} ve s_{22s} cinsinden bulunur ve verim şu şekilde tanımlanır;

$$\eta_{AB} = \frac{h_{18}-h_{22}}{h_{18}-h_{22s}} \quad (4.17)$$

4.3.7 Sayısal Sonuçlar

Yukarıda verilen eşitlikler ile elde edilen sonuçlar kolaylık sağlaması açısından bir arada olacak şekilde Tablo 4.5 ile verilmiştir.

Tablo 4.5 Tasarım ve işletme değerlerine göre çıkan iş ve ısı miktarları

	Tasarım Değerleri (kW)	İşletme Değerleri (kW)	Fark (%)
$\dot{Q}_{\text{Ana Buhar}}$	348377	332174	-4,65
$\dot{Q}_{\text{Tekerar Kızdırıcı}}$	55990	56496	+0,9
$\dot{Q}_{\text{Kazan,Toplam}}$	404367	388670	-3,88
$\dot{Q}_{\text{Soğutma Suyu}}$	218289	229900	+5,31
\dot{W}_{YB}	47381	45243	-4,5
\dot{W}_{OB}	64762	79286	+22,4
\dot{W}_{AB}	55059	32452	-41,1
$\dot{W}_{\text{Türbin}}$	167202	156981	-6,11
$\dot{W}_{\text{Pompa,YTP}}$	344,7	356,1	+3,3
$\dot{W}_{\text{Pompa,KBP}}$	3732	4125	+10,5

Tablo 4.5 Tasarım ve işletme değerlerine göre çıkan iş ve ısı miktarları (devamı)

	Tasarım Değerleri (kW)	İşletme Değerleri (kW)	Fark (%)
\dot{W}_{Pompa}	4077	4481	+9,9
\dot{W}_{Net}	163125	152500	-6,5
η_{YB}	%80,49	%76,45	-
η_{OB}	%89,12	%84,36	-
η_{AB}	%84,95	%72,92	-
$\eta_{Çevrim}$	%40,34	%39,24	-

4.3.8 Ekserji Analizi

Çalışmada kazan, yoğuşturucu, türbinler ve buhar hattının ekserji değişimleri hesaplanmış ve ekserji kayıpları değerlendirilmiştir.

Ekserji hesabında referans çevre sıcaklığı olarak tasarım durumundaki soğutma suyu geliş sıcaklığı olarak verilen 30°C (303 K) alınmıştır. Akışkanın bir ekipmana giriş ve çıkışı arasındaki ekserji değişimi;

$$\dot{E}_x = \dot{m} \times [(h_{çıkan} - h_{giren}) - T_0 \times (s_{çıkan} - s_{giren})] \quad (4.18)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Çevre ile ısı alışverişi olmayan bir ekipmandaki ekserji yıkımı ise akışkanın ekserjisindeki azalma ile iş arasındaki farka eşittir.

$$\dot{E}_{x,yıkım} = -\dot{E}_x - \dot{W} \quad (4.19)$$

Ekserji verimi veya 2. yasa verimi farklı şekillerde tanımlanabilir, burada çevrimin genel ekserji verimi, çevrimden elde edilen net işin kazanda buhara verilen ekserjiye oranı olarak tanımlanmıştır.

$$\eta_2 = \eta_{ex,\text{Çevrim}} = \frac{W_{Net}}{\dot{E}_{x,Kazan}} \quad (4.20)$$

Türbinlerin ekserji verimi için aşağıdaki tanım kullanılmıştır;

$$\eta_{ex,Türbin} = \frac{W_{Türbin}}{-\dot{E}_{x,Türbin}} \quad (4.21)$$

Buna göre kazan, yoğuşturucu, türbinler ve diğer kısımların ekserji değişimleri Tablo 4.6 ile verilmiştir.

Tablo 4.6 Tasarım ve işletme değerlerine göre ekserji sonuçları

Ekipman	Tasarım Değerleri			İşletme Değerleri		
	Ekserji Değişimi (kW)	İş (kW)	Ekserji Kaybı (kW)	Ekserji Değişimi (kW)	İş (kW)	Ekserji Kaybı (kW)
Kazan	208098	-	-	201260	-	-
11-12 Hattı	-1411	-	1411	-1185	-	1185
YB Türbini	-53171	47381	5790	-52379	45243	7136
OB Türbini	-76862	64762	12100	-88927	79286	9641
AB Türbini	-59730	55059	4671	-43503	32452	11051
Yoğuşturucu	-8640	-	8640	-14445	-	14445
Diğer (Isıtıcılar, diğer hatlar vb.)	-8284	-	8284	-821	-	821
YB Türbini Ekserji Verimi	%89,11			%86,38		
OB Türbini Ekserji Verimi	%84,26			%89,16		
AB Türbini Ekserji Verimi	%92,18			%74,60		
Çevrim Genel Ekserji Verimi	% 78,39			% 75,77		

4.4 Değerlendirme

Tasarım ve işletme durumlarının karşılaştırılması,

Tasarım durumunda besleme suyu, kazana 143,85 kg/s debi ile 17100 kPa, 234°C durumunda gelmekte, kazanı 13925 kPa, 540°C kızgın buhar olarak terk etmektedir. YB türbin çıkışından tekrar kızdırma için buhar 123,9 kg/s debi ile 3254 kPa, 344,4°C gelmekte ve kazanı 2928,3 kPa, 540°C durumunda terk etmektedir. Ana buhar hattı ısı yükü 348377 kW, tekrar kızdırma yükü 55990 kW olmak üzere kazan toplam ısı yükü 404367 kW'tır.

İşletme durumunda ise besleme suyu 136 kg/s debi ile 17500 kPa, 230°C durumunda gelmekte, kazanı 13700kPa, 540°C kızgın buhar olarak terk etmektedir. Buhar tekrar kızdırma için 124 kg/s debi ile 3000 kPa, 340°C durumunda kazana giriş yapmakta ve 3000 kPa, 540°C kızgın buhar olarak kazanı terk etmektedir. Ana buhar hattı ısı yükü 332174 kW, tekrar kızdırma yükü 56496 kW olmak üzere toplam ısı yükü 388670 kW'tır.

Kazan besleme suyu debisi tasarım debisinden yaklaşık %5 daha düşük olup, bunun bir sonucu olarak ana buhar hattı ısı yükü yaklaşık %4.7 azalmıştır. Tekrar kızdırıcı hattı kütle sel debi ve ısı yükünde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

Kazana gelen su basıncı ile üretilen buhar basıncı arasında tasarım durumunda 3175 kPa fark olduğu görölmektedir. İşletme durumunda ise su kazana daha yüksek basınçta gönderilmekte olup, basınç düşümü 3800 kPa'dır. Kazan besleme suyu debisinin azalmasına rağmen giriş basıncının artması pompaların gereğinden fazla basınç sağladığını düşündürmektedir. Kazan giriş basıncının kontrol edilmesi, kazan içindeki olası su kayıplarının artışını da engelleyecektir.

Diğer yandan kazandan çıkan buhar YB türbinine tasarım durumunda 13337 kPa, 535°C durumunda girmekte iken, işletme şartlarında türbin girişi 13600 kPa, 535°C'dir. Kazan çıkışı ve türbin girişi arasındaki basınç düşümü tasarım durumunda

588 kPa iken işletme durumunda bu değer 100 kPa olmaktadır. Bu farkın kısmen okuma hatalarından kaynaklandığı düşünülebilir.

İyi bir işletme durumunda, kazan besleme suyu giriş basıncı düşürülerek, kazan çıkış ve türbin giriş basınçları arasındaki farkın azaltılması önerilir. Bu durum pompaların enerji tüketimi ve ekserji kaybını azaltacaktır.

YB türbini giriş basıncı tasarım değerinden biraz daha yüksektir. Türbin giriş çıkış sıcaklıkları tasarım değerlerine yakındır. Ancak buhar debisinin azalmasından dolayı türbinden elde edilen güç yaklaşık olarak %4,5 azalmıştır.

OB türbini giriş basıncı tasarım değerinden fazla olup, çıkış basıncı daha düşüktür. Çıkış basıncının ve sıcaklığının tasarım değerinden düşük olması, bu buhardan daha çok iş elde edildiğini göstermektedir. Türbin verimi tasarım değerinde %89 iken işletme şartlarında %84'e düşmüştür. Buna karşılık türbin gücü yaklaşık %22 artmıştır.

AB türbini son kademe kanatları, kanatlar üzerinde oluşan ıslak buhar erozyonundan dolayı kesilerek iptal edilmiştir. Bu durum buhar akışına olan direnci düşürmüştür, bu da alçak basınç türbin girişinde basıncın düşük olmasına yol açmıştır. Tasarım değerlerine göre giriş sıcaklık ve basıncının düşük olması, çıkış sıcaklığının da yüksek olması ve son kademeleri kesilmiş olduğu için verim düşmesi olmuştur. Türbin gücü %41 azalmıştır.

Sonuç olarak tasarım değerlerine göre, işletme durumunda kazandan buhara aktarılan ısı miktarının %3,88, elde edilen net işin ise %6,5 daha düşük olduğu görülmüştür. Çevrim genel verimi ise %1,1'lik azalma ile %39,24 olarak hesaplanmıştır. Genel ekserji verimi, tasarım durumunda %78,39 iken, işletme durumunda %75,77 olarak belirlenmiştir. Genel enerji ve ekserji verimleri çok fazla değişmemesine rağmen, elde edilen net işin işletme şartlarına bağlı olarak azaldığı görülmektedir.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Soma Termik Santrali su-buhar çevrimi çıkarılmış, her bir ekipmanın giriş ve çıkış noktalarındaki sıcaklık, basınç, debileri tasarım ve günümüz işletme şartlarında ayrı ayrı tespit edilmiştir. Bu veriler kullanılarak sistemin termodinamik analizi yapılmıştır.

Santralin ilk gününden başlayıp günümüz işletme şartlarına kadar genel olarak sonuçlar incelenirse yüksek basınç ve alçak basınç türbinlerinden elde edilen gücün azaldığı, orta basınç türbininden elde edilen gücün ise arttığı, toplam türbin gücünün ve türbin izentropik verimlerinin azaldığı görülmüştür. Alçak basınç türbinindeki gücün daha fazla düşmesinin nedeni son kademe kanatlarının kesilmiş olmasıdır. Bu nedenle alçak basınç türbinindeki basınç düşümü ve elde edilen iş azalmış, karşı basıncın düşük olmasından dolayı orta basınç türbin gücü de bir miktar artmıştır. Kazandan verilen ısı enerjisi azalmış, yoğunlaştırıcı yükü ise artmıştır. Toplam pompa gücünde yaklaşık %10 artış olmuştur. Santral genel çevrim verimi %40,34'ten %39,24'e düşmüş, ekserji verimi ise %78,39'dan %75,77'ye düşmüştür. Toplam net güç ise yaklaşık %6,5 azalma ile 163125 kW'tan, 152500 kW'a düşmüştür.

Sistemde tam otomatik kontrol sistemine geçilemediği için alınan değerlerin bazılarında okuma hataları olabileceğinden analizler sonucunda hatalar görülebilir.

Sistemin kuruluş yılı göz önüne alındığında, o yıllardaki teknoloji ile bugünkü teknolojinin aynı seviyede olmayacağı muhakkaktır. Bu yüzden sistemin çalışmasının kişilere bağlı olmasını engellemek için de tam otomatik kontrol sistemi oluşturulmalı, sistemin daha verimli ve çevreye daha az zararlı çalışması için gerekli işletme şartları oluşturulmalıdır.

Yapılan incelemede, kazan, yoğunlaştırıcı ve besleme suyu ısıtıcılarının işletme değerlerinin tasarım değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Sistemdeki güç azalması, esas olarak alçak basınç türbini son kademelerinin iptal edilmiş olmasından ileri

gelmektedir. Bu durum türbinlerin çıkışlarını etkilemektedir. Tespit edilen diğer bir husus ise, kazan besleme basıncının yüksek değerde olmasıdır. Bu değer yüksek tutulması pompa güçlerinin gereğinden fazla olmasına neden olduğu gibi muhtemel su kayıplarının artmasına da neden olabilir.

Çalışmada yapılan analizlerde kazan ve yanma olayı değerlendirilmemiştir. Yanma ve kazanın durumu hakkında inceleme yapılmadığından, sistem verimini artırmak için bu konuda yapılması gerekenlerden bahsedilmemiştir. Başka bir çalışmada yanma işlemi ve kazan kayıplarının incelenmesi önerilir.

Mevcut grupların haricinde kullanılacak olan kömürün özelliklerine uygun ve yüksek doğruluklu termodinamik hesaplamalarla yapılacak analizler neticesinde yeni bir sistemin inşası yeni teknolojiye sahip olacağından işletmeye ekonomik olarak katkı sağlayacağı gibi ülkemiz enerji açığını da bir nebze olsun gidermiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aljundi, I. H. (2009). Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan. *Applied Thermal Engineering*, 29, 324-328
- Başaran, M. (2012). Termik santrallar. *Enerji Yatırımları Fizibilite Raporu Hazırlanması Semineri*, Ankara.
- Coşkun, A., Geredelioğlu, Ç., Bolattürk, A. ve Gökaslan, M. Y. (2013). Çayırhan Termik Santralinin enerji ve ekserji analizi. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir.
- Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. (2013). *Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik*. (7th ed.). Ankara: Palme Yayıncılık
- Çınar, B. C. ve Çakır, C. (2015). *Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. Termik Santrali'nin enerji ve ekserji analizi*. Bitirme Tezi, Yalova Üniversitesi, Yalova
- Dincer, I. ve Al-Muslim, H. (2001). Thermodynamic analysis of reheat cycle steam power plants. *International Journal of Energy Research*, 25, 727-739
- Elektrik Üretim Genel Müdürlüğü (EÜAŞ), (2014). *2014 yıllık rapor*. 15 Eylül 2015. http://www.euas.gov.tr/Documents/yillik_raporlar/euas_2014_yillik_rapor_.pdf
- Ege Linyit İşletmeleri (ELİ), (2014). *2014 faaliyet raporu*. 15 Eylül 2015. http://www.eli.gov.tr/eli_2014_faaliyet_raporu.pdf
- Kanoglu, M., Dincer, I. ve Rosen, M. A. (2007). Understanding energy and exergy efficiencies for improved energy management in power plants. *Energy Policy*, 35, 3967-3978

Kocaekiz, B. (2010). *Bir termik santralin enerji ve verim analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Rahim, M. A. ve Gündüz, D. (2013). Gaz türbinli bir ısı-güç (kojenerasyon) çevrim santralının enerji ve ekserji analizi: Ankara şartlarında uygulama. *Tubav Bilim Dergisi*, 6(2),19-27

Regulagadda, P., Dincer, I. ve Naterer, G. F. (2010). Exergy analysis of a thermal power plant with measured boiler and turbine losses. *Applied Thermal Engineering*, 30, 970-976

Soma Elektrik Üretim Genel Müdürlüğü (SEAŞ), (2015a). *Türbin işletme eğitim kitabı (Cilt1)*. Manisa.

Soma Elektrik Üretim Genel Müdürlüğü (SEAŞ), (2015b). *Türbin işletme eğitim kitabı (Cilt 2)*. Manisa.

Soma Elektrik Üretim Genel Müdürlüğü (SEAŞ), (2015c). *Kazan işletme eğitim kitabı*. Manisa.

Soma Elektrik Üretim Genel Müdürlüğü (SEAŞ), (2015d). *Elektrik işletme eğitim kitabı*. Manisa.

Şen, I. (2006). *Buhar çevrim santralının termodinamiğin 2. Kanununa göre analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

Termik santral (2015). 9 Eylül 2015. https://tr.wikipedia.org/wiki/Termik_santral

Türbin (2015). 9 Eylül 2015. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Türbin>

Ünver, Ü. ve Kılıç, M. (2005). Çevre sıcaklığının bir kombine çevrim güç santralının performansına etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(1), 49-58

Wu, L., Wang, L., Wang, Y., Hu, X., Dong, C., Yang, Z. ve Yang, Y. (2014). Component and process based exergy evaluation of a 600 MW coal-fired power plant. *Energy Procedia*, 61, 2097-2100

Zhou, L., Xu, G., Zhao, S., Xu, C. ve Yang, Y. (2016). Parametric analysis and process optimization of steam cycle in double reheat ultra-supercritical power plants. *Applied Thermal Engineering*, 99, 652-660

EKLER

Kısaltmalar Listesi

AB	: Alçak basınç
ABT	: Alçak basınç türbini
EES	: Engineering equation solver
ELİ	: Ege Linyit İşletmeleri Müessese Müdürlüğü
EÜAŞ	: Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü
KBP	: Kazan besleme pompası
KBT	: Kazan besleme tankı
OB	: Orta basınç
OBT	: Orta basınç türbini
SEAŞ	: Soma Elektrik Üretim A.Ş Genel Müdürlüğü
YB	: Yüksek basınç
YBT	: Yüksek basınç türbini
YTP	: Yoğuşturucu tahliye pompası

Sembol Listesi

$C_{p,su}$: su ısı kapasitesi (kJ/kg.K)
\dot{E}_x	: ekserji değişimi (kW)
$\dot{E}_{x,yıkım}$: ekserji kaybı (kW)
h	: entalpi (kJ/kg)
\dot{m}	: kütleli debi (kg/s)
P	: basınç (bar)
\dot{Q}	: birim zamandaki ısı alışverişi, ısı yük (kW)
S	: entropi (kJ/kg.K)
T	: sıcaklık (°C)
T_0	: çevre sıcaklığı (K)
v_{su}	: su hacimsel debi (m ³ /kg)
\dot{W}	: birim zamanda yapılan iş (kW)
\dot{W}_{Net}	: çevrimden elde edilen net güç (kW)
X	: kuruluk derecesi
H	: verim
η_2	: ikinci kanun verimi, ekserji verimi (η_{ex})