

# TERMİK SANTRALLER

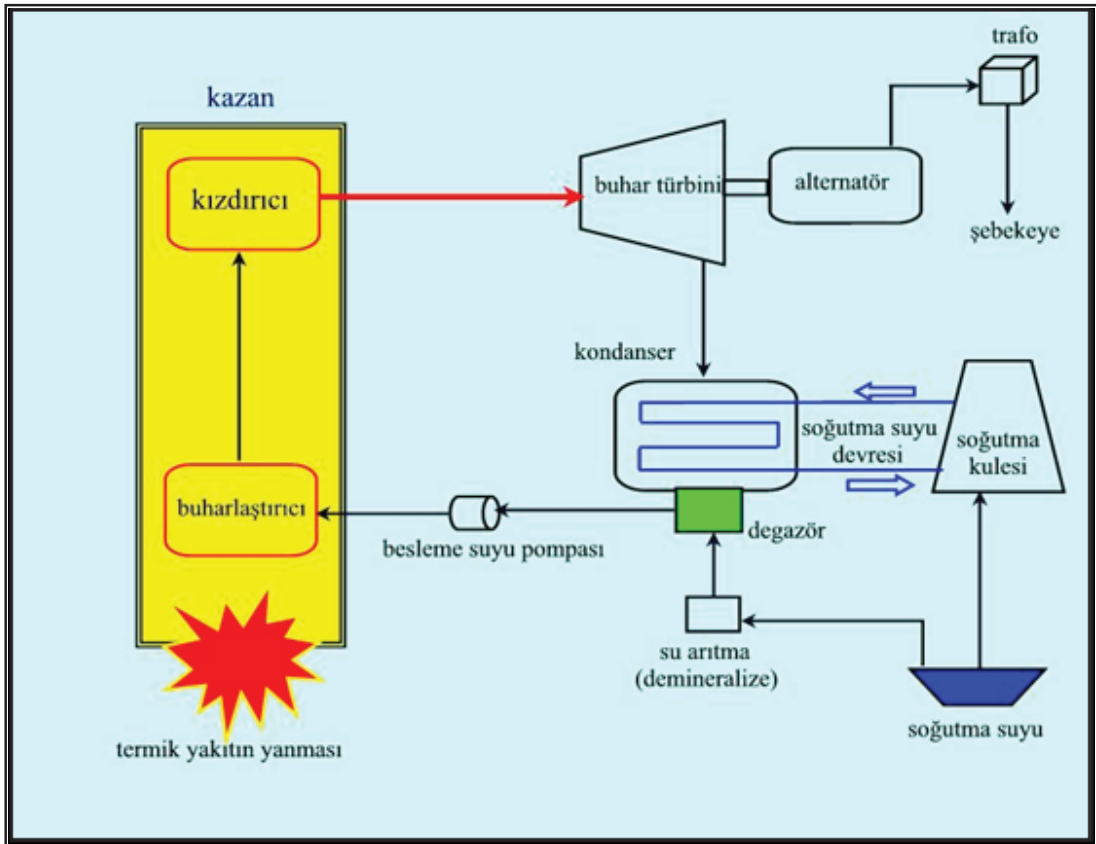
## KONULAR

1. Buhar Santralleri
2. Gaz Türbinli Santraller
3. Dizel Santraller

## GİRİŞ

Katı, sıvı ya da gaz hâlindeki fosil yakıtların kimyasal enerjisinin elektrik enerjisine dönüştüğü elektrik santralleridir. Katı, sıvı, gaz hâlinde bulunan termik kaynağın uygun şartlarda ve uygun ortamda yakılarak yakıtın verdiği ısı enerjisinden ve genleşmeden faydalanılarak mekanik enerji elde edilir. Elde edilen bu mekanik enerjiden de alternatörler yardımı ile elektrik enerjisi üreten santrallere, termik santraller denir.

Termik santrallerde üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti, hidroelektrik santrallerde üretilen elektriğe göre çok daha pahalıdır. Günümüzde kömür, doğal gaz, jeotermal enerji, güneş enerjisi, petrol ürünleri, biogaz, nükleer yakıt gibi termik kaynakları kullanan çok sayıda termik santral vardır.



Şekil 3.1 Bir buhar türbinli termik santralin blok şeması ve bölümler

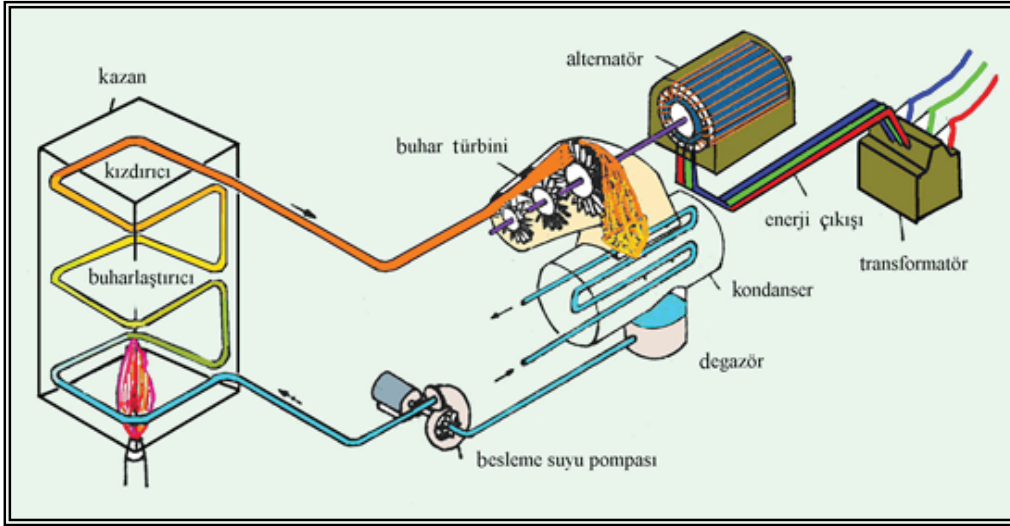
Termik santrallerin, yakıtın ve mekanik enerji üreten makinenin cinsine göre çeşitleri şunlardır:

- Buhar türbinli santraller

- Gaz türbinli santraller
- Dizel Santraller
- Nükleer Santraller

### 3.1. BUHAR SANTRALLERİ

Termik santrallerde buhar kazanlarında yakıt ve hava karışımı uygun şartlarda yakılır. Bu esnada kazanda bulunan sudan, yüksek sıcaklıkta yüksek basınçlı buhar elde edilir. Elde edilen yüksek basınçlı buhar, buhar türbinine gönderilerek mekanik enerji elde edilir. Buhar türbinine akuple olan alternatör de bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Bu prensiple çalışan termik santrallere, buhar türbinli santraller denir.



Şekil 3.2 Bir buhar türbinli termik santralin prensip şeması

Buhar türbinli santrallerde yakıt olarak linyit kömürü, fuel-oil, doğal gaz ve büyük şehirlerin çöp atıkları kullanılır. Termik santraller, üretilen elektrik enerjisinin maliyetini daha fazla artırmamak için kullanılan yakıtın bulunduğu yerin yakınına kurulurlar. Prensip olarak bir buhar türbinli termik santralin çalışmasını yukarıdaki şekle göre şöyledir: Besleme suyu pompasından basılan su kazana gönderilir. Kazanda ısıtılan su ilk önce buharlaşır, sonra kızdırıcılardan geçerek kızdırılır (nemli alınır). Elde edilen kızgın buhar, buhar türbinine gönderilir. Buhar türbininin kanatlarına çarpan buhar, türbini döndürür. Buhar türbinine bağlı alternatör bu dönme şeklindeki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Alternatör çıkışı bir yükseltici trafo ile enerji nakil hatlarına verilir.

Buhar türbininde işi biten çürük buhar, kondanser denilen yoğunlaştırıcılara gelerek tekrar su hâline dönüştürülür ve besleme suyu pompası ile tekrar kazana

girer. Bu işlem bir döngü içerisinde devam ederek termik yolla elektrik enerjisi üretimi gerçekleşmiş olur.

### 3.1.1. Buhar türbinli santrallerin önemi ve ülkemizdeki önemli buhar türbinli santraller

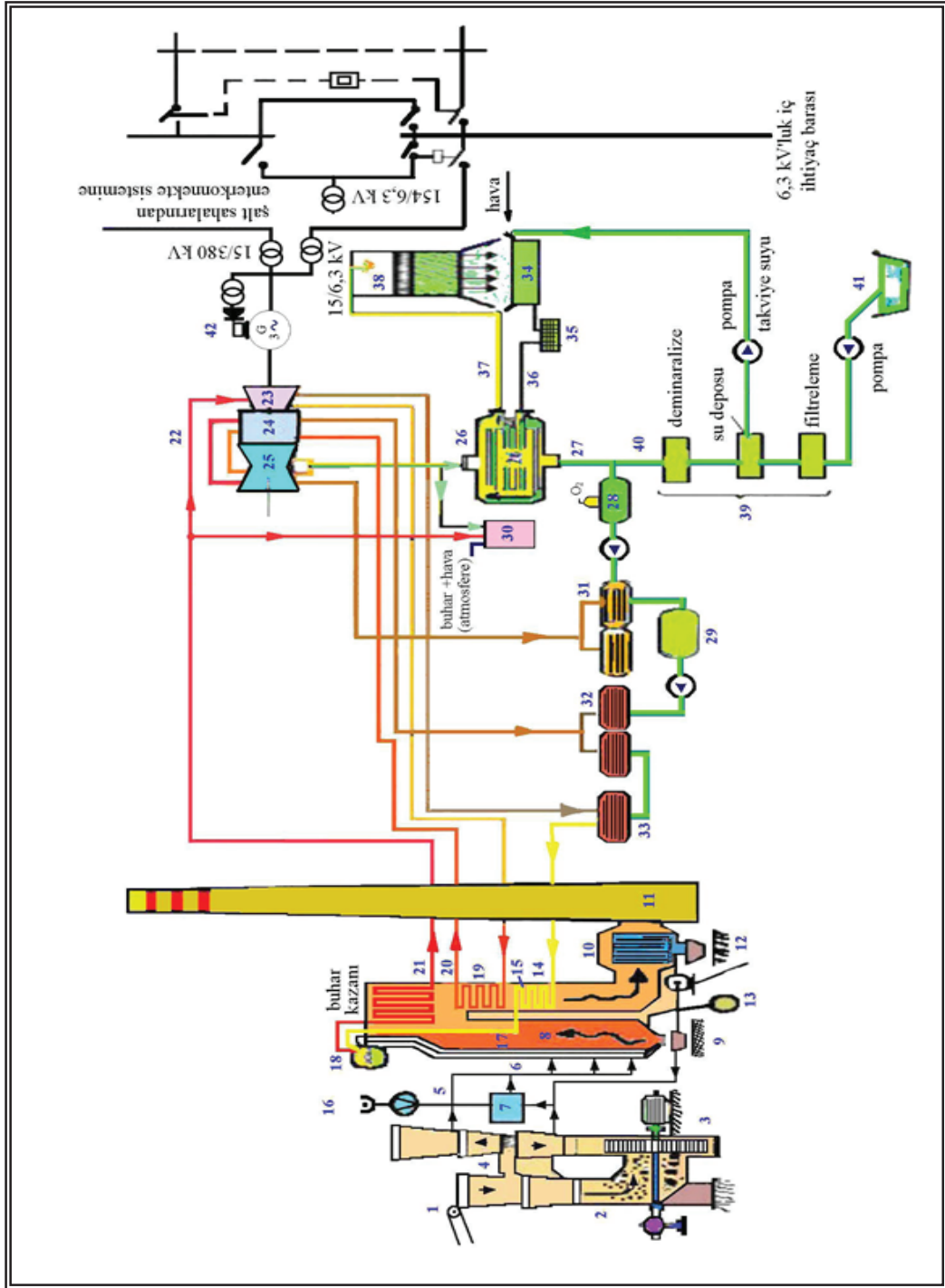
Önemi: Özellikle sonbahar ve kış mevsimlerinde, yani yıllık yağış ortalamasının düşük olduğu dönemlerde, hidroelektrik santrallerde elektrik enerjisi üretimi istenilen seviyelerde gerçekleştirilemez. Bu durumlarda buhar türbinli termik santraller tam kapasiteyle çalıştırılıp elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanmış olur. Çünkü; termik santrallerde yakıt olarak kömür, fuel-oil, doğal gaz vb. yakıtlar kullanıldığı için elektrik üretiminin miktarı ve süresi yakıta bağlıdır. Yani yeterli yakıt temin edildiğinde istenilen seviyelerde sürekli bir elektrik enerjisi üretimi yapılabilir. Her ne kadar asit yağmurlarına ve sera etkisine sebep olsalar da yılın her ayında enerjisi üretiminde önemi büyüktür. Türkiye’de atıl enerji kaynağı olarak bulunan ısı da istenilen niteliklerde ve sürekli enerji üretebilmesi özelliğinden dolayı elektrik şeri düşük kömür, buhar türbinli termik santrallerde değerlendirildiği için de çok önemli bir santral tipidir. Buhar türbinli termik santrallerde filtreler kullanılırsa olumsuz etkileri büyük oranda ortadan kaldırılmış olur ve elektrik üretiminde çok önemli bir kaynak hâline gelir.

### 3.1.2. Buhar türbinli santrallerin bölümleri ve görevleri

Kömürle çalışan termik santraller, kömürde bulunan kimyasal enerjinin, elektrik enerjisine çevrilmesini sağlar. Termik santrallerde genelde düşük kalorili kömür kullanılır. Böylece elektrik enerjisi üretilirken, aynı zamanda düşük kaliteli linyitlerin değerlendirilmesi düşünülmüştür.

Şekil 3.2’de görülen Çayırhan Termik Santrali’nin bölümleri ve görevleri şunlardır:

1. Kömür bantları
2. **Bunker:** Santral binasında kömürün değirmene girmeden bekletildiği yer.
3. **Değirmen:** Bunkerden alınan kömürün öğütülerek toz hâline getirildiği yer.
4. **Elek:** Değirmenden gelen kömürün elendiği yer.
5. Toz kömür kanalları
6. **Yakıcı:** Yanma odasında toz hâline gelen kömürün püskürtme işlemi yaparak yanmasını sağlayan bölüm. Fuel-oil yakıcıları (Lans) ise kazanın ilk ateşlenmesinde kömürü yakabilecek sıcaklığa ulaşması için fuel-oil yakmak için kullanılan bir çeşit brülördür.



Şekil 3.3 Çayırhan Termik Santrali prensip şeması

7. **Luvo:** Yanma için gerekli olan havanın ısıtıldığı yer.
8. **Yanma odası:** Kazan içinde kömürün yakıldığı bölüm.
9. Yanma odasının külü.
10. **Elektro filtre:** Baca gazı içerisinde bulunan kül taneciklerinin elektrostatik tutucular vasıtasıyla baca gazından ayrıştırıldığı yerdir.
11. **Baca:** Kazan içerisinde işi biten ve duman gazının dışa atıldığı yer.
12. Elektro filtreden ayrılan kül parçaları.
13. Kazanı ilk ateşlemek için kullanılan fuel-oil deposu
14. **Ekonomizör girişi:** Kazan giriş suyunun baca gazı ile ısıtıldığı bölüm
15. Ekonomizer çıkış borusu
16. Temiz hava
17. Buharlaştırıcı boru
18. **Dom:** Ekonomizör ve buharlaştırıcı borulardan gelen suyun toplandığı, yarısı buhar yarısı su olan tanktır.
19. **Düşük sıcaklıktaki kızdırıcı:** Kazan içerisindeki suyun ısıtıldığı borulardır.
20. Orta basınç türbinine giden hat
21. **Yüksek sıcaklıktaki kızdırıcı boruları:** Dom'un üst kısmında bulunan 355 °C yakın buharın 535 °C'a yükseltildiği kısımdır.
22. Yüksek basınç türbinine giden buhar çıkış hattı
23. **Yüksek basınç buhar türbini:** Kızgın buharın türbine ilk verildiği bölüm. Ortam sıcaklığında bekleyen türbine 535°C'ta buharı verdiğimizde ilk anda malzeme yapısında şok etkisi yapar. Bu nedenle türbine buhar ilk defa kademe kademe zaman aralıkları ile verilir.
24. **Orta basınç türbini:** Yüksek basınç türbininden sonra ikinci kademe buharın türbine verildiği yerdir.
25. **Alçak basınç türbini:** Orta basınç türbininden çıkan, buharın buhar türbinine verildiği yerdir.
26. **Kondanser:** Alçak basınç türbininde işi bitmiş, çürük buharın toplandığı yer (0,5 Atü).
27. Kazan besleme suyu hattı
28. **Degazör:** Kondanserden gelen yoğunlaşmış buharın su hâline gelerek toplandığı su tankı ve aynı zamanda kazan tasfiye sisteminden gelen saf suyun da depolandığı su tankıdır.

29. **Besleme suyu tankı:** Degazörden gelen suyun ısıtıcı eşanjörlerden geçirilerek toplandığı su tankı.

30. **Buhar enjektörü:** Buhar enjektörünün görevi; kondanserin içindeki havayı alarak kondanserin iç basıncını atmosfer basıncı altında tutmaktır. Buhar enjektöründe akışkan olarak kazandan gelen taze buhar kullanılır. Çıkışında buhar+gaz bulunmaktadır. Kondanserden emdiği hava ile birlikte kullandığı buharı da atmosfere atar. Atmosfer havasının kondanserin içine girmesini engeller.Yani açık hava basıncı ile kondanser arasında tıkaç vazifesini görür.

31. Alçak basınç su ısıtıcısı

32. Orta basınç su ısıtıcısı

33. Yüksek basınç su ısıtıcısı

34. Soğutma kulesi su havuzu

35. **Elek(filtre):** Su havuzundan gelen suyun süzüldüğü yer.

36. Soğuk su hattı

37. Sıcak su hattı

38. **Soğutma kulesi:** Kondanserde alçak basınç türbininden gelen buharı yoğunlaştıran soğuk su, ısı alış verişi sonucu kendisi de ısınır. Isınan bu soğutma suyunun tekrar kullanılması için soğutma kulesinin üst kısmından yağmurlama şeklinde bırakılarak soğuması sağlanır.

39. **Su tasfiye sistemi:** Sarıyar baraj gölünden alınan suyun arıtılarak saf su haline getirildiği üniteler.

40. Kazan besleme ilâve su hattı

41. Sarıyar baraj gölü

42. **Alternatör:** Türbin miline akupple olan ve mekanik enerjiyi, alternatif akım elektrik enerjisine dönüştüren ünitelerdir. Jeneratör ve alternatör aynı anlama gelmektedir

### 3.1.3. Termik santrallerin çalışma prensibi

Kömür uygun şartlarda buhar kazanında yakılarak su buharı elde edilir. Elde edilen ısı enerjisi bir buhar türbini vasıtasıyla kinetik enerji hâline getirilir. Bu enerji vasıtasıyla alternatör çevrilerek elektrik enerjisi üretilir. Bu açıdan bakıldığında santralleri iki grupta düşünebiliriz:

- Buhar üretim tesisleri
- Buhar türbini ve alternatör

Bu arada kömür hazırlama tesisleri, su analiz tesisleri, kül nakil tesisleri ve şalt tesisleri de santraller içerisinde olması gereklidir.

### **3.1.3.1. Buhar üretim tesisleri**

Buhar üretim tesislerinde amaç; sudan buhar elde etmek ve bu buharı (türbin çalıştırma şartlarına getirmek için) kızdırmaktır. Bir buhar kazanındaki işlevi iki kısımda inceleyebiliriz:

#### *Kömür-duman gazları-kül akışı:*

Sisteme kömür, kömür bantları vasıtasıyla (1) gelir. Kömürün büyüklüğü 0.30 mm'dir. Kömür önce bunkerlerde (2) stok edilir.

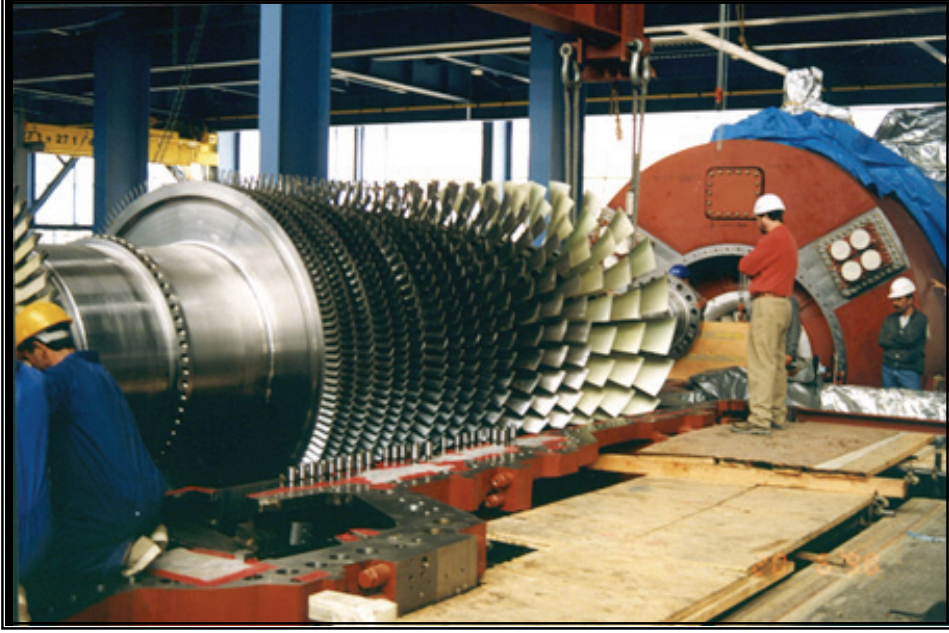
Bunkerlerden alınan kömür, değirmenlerde (3) öğütülerek toz hâline getirilir. Eleklerden (4) geçen toz kömürün iri taneli olanları tekrar değirmene düşerken, ince taneli olanlar toz kömürü kanallarıyla (5) yakıcılara (6) gelir. Toz kömür kazan içerisine yakıcılardan püskürtülürken LUVÖ'da (7) ısıtılmış yakma havası karıştırılarak beraber verilir. Daha önceden kazan içerisinde oluşturulmuş olan alevle karşılaşan kömürler yanmaya başlar.

Kazanın ilk devreye alınmasında motorin ve fuel-oil yakıcıları kullanılır. Sistem belirli şartlara geldikten sonra kazanda kullanılan fuel-oil kademeli olarak kesilir. Yanma odalarında (8) yanan kömür, buharlaştırıcı borular, kızdırıcı borular, tekrar kızdırıcı borular ve ekonomizör boruları arasından geçerek elektro filtreye (10) gelir. Elektro filtrelerde kül, elektrostatik tutucular vasıtasıyla temizlenerek duman gazları bacadan (11) dışarıya atılır.

#### *Su-buhar akışı:*

Su kazana girdikten sonra (14) ekonomizör borularından (15) geçer ve sıcaklığı 355°C'ye yükselerek Dom'a (18) girer. Daha sonra buharlaştırıcı borularda (17) dolaşan su tekrar Dom'a gelir. Bu arada suyun içerisinde buharlaşan kısımlar dom üzerinden alınarak kızdırıcı borulara (19) verilir. Kızdırıcı borulardan çıkan 535 °C'deki buhar, yüksek basınç buhar türbinine (23) girer. Türbinde iş yapan ve sıcaklığı düşen buhar kızdırılarak tekrar kazana gelir. Tekrar kızdırıcılar da kızdırılan buhar 540 °C'de türbine gönderilir. (22)





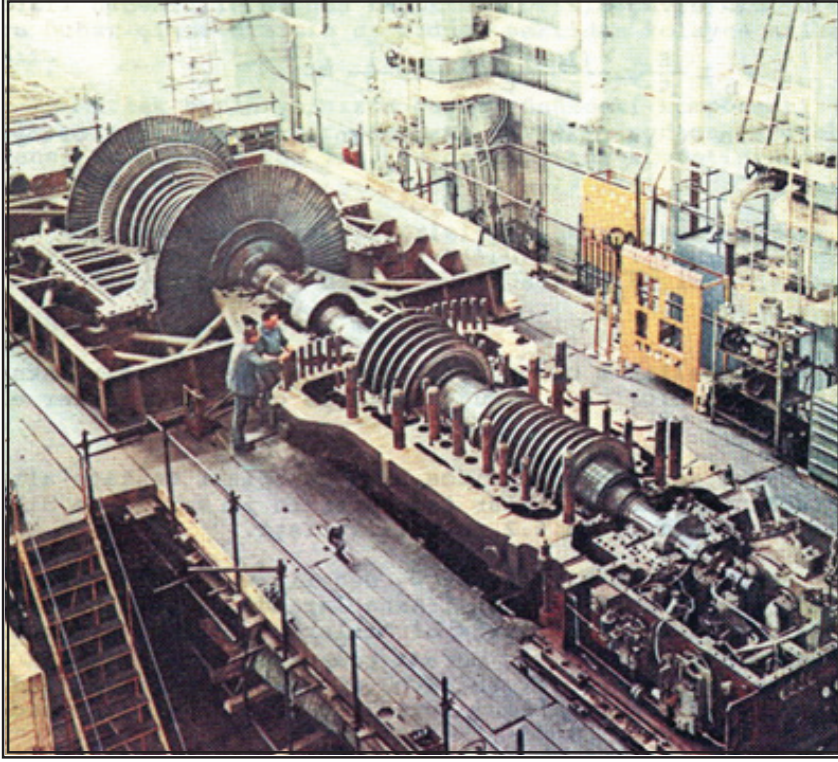
Resim 3.1 Bir buhar türbini ve alternatörün montaj görünüşü

### 3.1.3.2. Buhar türbini ve alternatör

Kazandan gelen buhardaki ısı enerjisi türbinde kinetik enerjiye dönüştürülerek bir dönme hareketi elde edilir. Türbin miline akupl olarak bağlanmış olan alternatör döndürülerek elektrik enerjisi elde edilmiş olur.

Buhar türbini üç ayrı bölümden meydana gelmiştir. Buhar yüksek basınç türbininden (23) girerek iş yapmaya başlar. Enerjisinin bir kısmını harcayan buhar türbininden alınarak (19) kazanda tekrar kızdırılır ve orta basınç türbinine (24) verilir. Daha sonra alçak basınç türbinine (25) giren buhar enerjisini bırakarak kondansere (26) girer. Yani buhar her seferinde tekrar kızdırılmak suretiyle üç defa türbini döndürmek için kullanılır. Kondanserde yoğunlaşan buhar su hâline gelerek degazörde (28) toplanır. Daha sonra ısıtıcıdan geçen su, besleme tankında toplanarak (29) tekrar kazana basılır. Türbin çıkışındaki basıncı, atmosfer basıncının altında tutmak(vakum) gerekmektedir. Kondanserdeki vakum bir buhar enjektörü (30) sayesinde sağlanır. Kondansere giren buharın yoğunlaştırılması ise ayrıca bir soğutma suyu ile sağlanır.

Soğutma suyu pompası, soğutma havuzundan (34) suyu alarak kondansere basar. Kondanserde suyun sıcaklığı artacağından bu suyun soğutulması için ayrıca soğutma kuleleri yapılmıştır. Bu şekilde soğutma kulesinin havuzunda toplanan su sirkülasyon yaptırılarak devamlı olarak kullanılır.



Resim 3.2 500 MW'lık bir turbo alternatörün montaj sırasında çekilmiş resmi

## 3.2. GAZ TÜRBİNLİ SANTRALLER

### 3.2.1. Kuruluş amacı

Elektrik şebekelerinde günün her saatinde yük değişimleri farklılık göstermektedir. 24 saatlik yük değişimlerinde yükün en yüksek olduğu değere; puant yük denir. Bu değerde  $P_{max}$  olarak ifade edilmektedir. Akşam hava kararmaya başladıktan sonra saat 18.00-21.00 arası konutlarda yanan lâmba sayısı, merdiven otomatikleri, mutfak, antre, salon gibi yerlerde yanan lâmba sayısı artmaktadır. Aynı anda sokak lâmbaları da devreye girmektedir. Yükün bu yüksek olduğu zamanda artan enerji ihtiyacını karşılamak için devreye çabuk giren ve çıkabilen santrallere ihtiyaç vardır. Bu da hidrolik santraller fazla olmadığı zamanlarda gaz türbinli santraller tarafından karşılanıyordu. Ancak günümüzde puant yüklerin hidrolik santrallerle karşılanması daha ekonomik olmaktadır.

1940'lardan itibaren gelişmeye başlayan gaz türbini teknolojisi 1970'li yıllarda

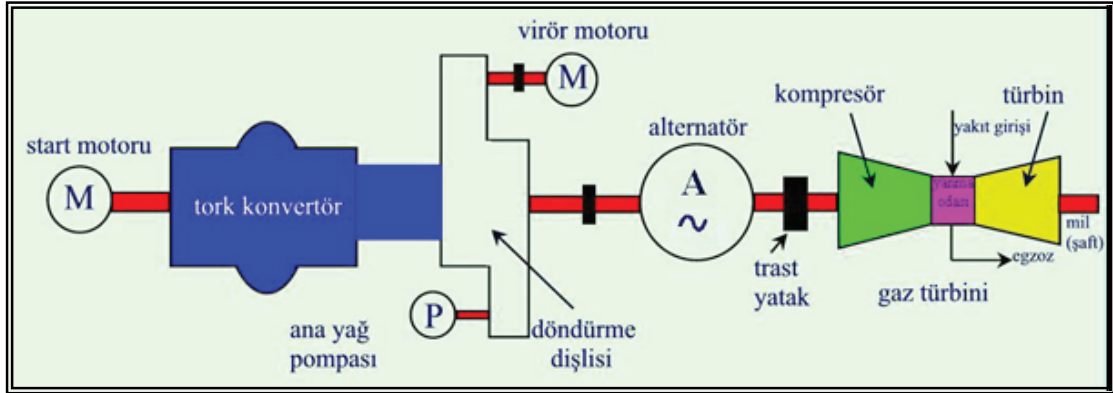
puant güç ihtiyacını karşılamakta kullanılırken, 1970’li yılların sonuna doğru combine çevrim santralleriyle uygulama imkânı bulmuştur. Gaz türbinli santrallerde en çok motorin ve doğal gaz kullanılmaktadır.

### 3.2.2. Gaz türbinli santrallerin bölümleri ve görevleri

Gaz türbinli santrallerde, sıvı ve gaz yakıtlar kullanılır. Bunlardan en uygunu; gaz yakıtlardır. Bu sebeple daha çok gaz yakıtlar kullanılır. Gaz türbinli santrallerde sıvı yakıt veya gaz yakıt kullanımında çalışma sistemi aynıdır.

Gaz türbinli santrallerin çalışma prensibi kısaca şöyledir:

Şekil 3.3’te görülen prensip şemada gaz türbininin döndürülmesi sonucunda elde edilen mekanik enerji alternatör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Türbinde mekanik enerji elde etmek için şu işlemler gerçekleşir. Türbin ilk hareketine bir asenkron motor yardımıyla başlar. İlk hareketi veren bu motora, start motoru denir. Start motoru gaz türbinini döndürmeye başlar.



Şekil 3.4 Gaz türbinli termik santral blok şeması

Gaz türbini artan bir hızla dönmeye başlar. Türbin dönmesi, sistem kendi kendini hızlandırabilecek hız seviyesine ulaşınca kadar start motoru tarafından sağlanır. Bu hıza ulaşıldığında start motoru devreden çıkartılır. Gaz türbini bu hızın biraz altında dönerken yanma odasındaki nozullar ateşlenerek doğal gazı yakar ve hava ile karışarak yanan doğal gazın oluşturduğu basınç ve itme kuvveti türbinin kanatçıklarına çarparak türbinin dönmesini sağlar.

Start motoru devre dışı kaldığında bu işlem devam ettiği için gaz türbini uygun hızda dönmeye devam eder. Gaz türbininin bu dönme hareketi miline akuplre bağlı alternatör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Kısaca anlatılan bu sistemin ayrıntılarına girecek olursak gaz türbinli termik santralin enerji üretimi yapan

kısmını 5 başlık altında inceleyebiliriz.

Gaz türbinli termik santral aşağıdaki ana sistemlerden oluşur.

- Tüm rotor şaft sistemi
- Hava sistemi
- Yağlama yağı sistemi
- Kontrol yağı sistemi
- Yakıt sistemi

Bu sistemlerden başka soğutma suyu sistemi, su arıtma sistemi, şalt sahası elektrik sistemleri, kontrol ve kumanda sistemleri de mevcuttur.

### 3.2.2.1. Tüm rotor şaft (mil) sistemi

Şekil 3.3'te görülen sistem tüm rotor şaft sistemini ve santralin prensip şeklini göstermektedir. Burada gaz türbini alternatöre kompresör şaftı tarafından bağlanmıştır. Bunun sebebi ise gaz turbo jeneratör grubunun soğuk tarafı kompresör tarafı olduğundan, gaz türbininin termal genişmesinin alternatörü etkilemesini önlemektir.

Tüm rotor şaft sisteminin ilk hareket düzeni, bir ilk hareket motoru ile tork konvertörden ibaret olup ilk hareket düzeni, gaz türbini alternatörüne yardımcı dişli ile irtibatlandırılmıştır. Bu ilk hareket düzeni, ünitenin start edilmesi ile tüm rotor şaft sisteminin hız almasını sağlar.



Resim 3.3 701 F tipi gaz türbinli Yokohama santral

Ünitenin devreye alınma işlemi sırasında ünite, kendi kendini hızlandırabilecek hız seviyesine gelince, ilk hareket düzeni devreden çıkar. İlk hareket düzeninin devreden çıkması tork konvertör yağının drene edilmesi ile olur. Rotor döndürme düzeni (virör motoru) yardımcı dişli ile irtibatlandırılmıştır. Mekanik aşırı hız kontrol



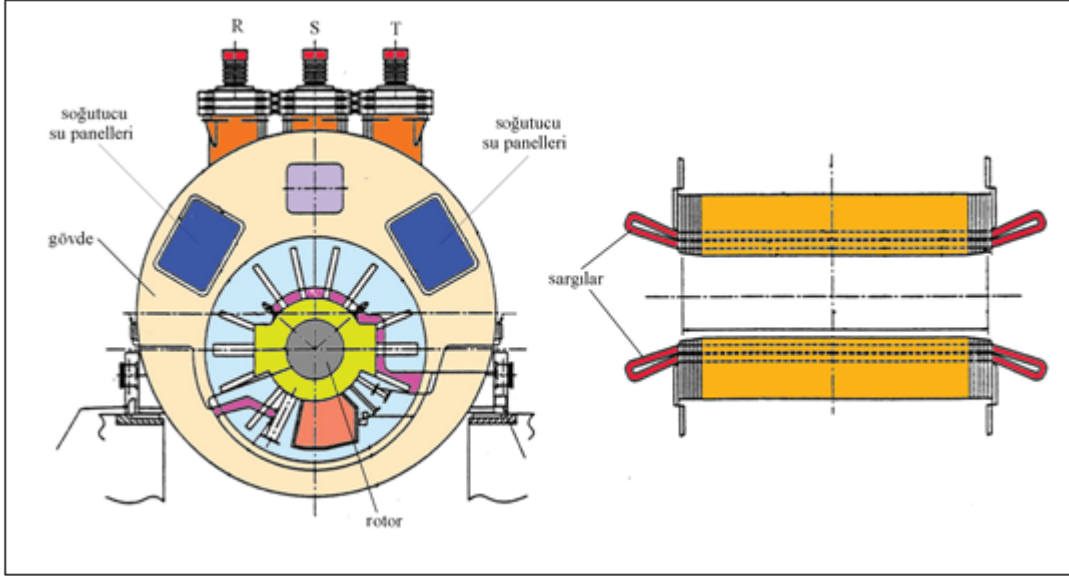
düzeni gaz türbininin egzoz kısmına yerleştirilmiştir. Viror motoru gaz türbinini çalışmadığı zamanlarda dakikada 4 devirle döndürür. Eğer bu işlem yapılmadan sıcak türbin aniden durdurulursa türbinde salma şeklinde bozulmalar meydana gelir.

Ana yağlama yağı pompası yardımcı dişliye bağlanmış olup böylelikle ana yağlama yağı pompasının türbin şaftı tarafından tahrik edilmesi sağlanmıştır. Gaz türbininin normal işletmesi sırasında gerekli yağlama yağı sadece ana yağlama yağı pompası ile sağlanır



Resim 3.4 Gaz türbinli bir termik santralin gaz türbini ve alternatörünün görünüşü

Bu tip gaz türbin ünitelerinde ilk hareket sistemi bir tork konvertör ile alternatif akım tahrik motorundan oluşur. İlk hareket sistemi ile gaz türbininin hızı viror hızından başlayarak hızlandırılır. Start motoru tarafından hızlandırılan türbin anma devrinin %70'ine kadar hızlandırılır. Bu devirden sonra türbin start motoru olmadan gazın kuvveti ile kendi kendini hızlandırabilir.



Şekil 3.5 Gaz türbinli termik santralde kullanılan alternatörün enine kesiti ve sargıların durumu

Tork konvertör bir çeşit hidrolik kavrama olup hidrolik sıvısı olarak yağlama yağı kullanılır. Gerekli yağlama yağı bir tork konvertör yağ pompası ile sağlanır. Gaz türbini-alternatör ünitesini hızlandırmak için elektrik tahrik motoru çalıştırılarak tork konvertör vasıtası ile döndürme torku rotor şaft sistemine aktarılır.

Türbin normal hız seviyesine ulaştıktan sonra gaz türbini, yol verme düzeninden bir yardım almadan kendi kendini hızlandırmaya başlar. Bu hız seviyesinden itibaren yol verme sistemi dönmekte olan şaft sisteminden ayrılır.

Bu sistemde kullanılan alternatör değişik özelliklerde olabilir. Örneğin Bursa kombine çevrim santralının gaz türbin kısmında kullanılan alternatör hidrojen soğutmalı ve 13.8 kV gerilimlidir. Gücü 281 MVA, güç faktörü 0.85, frekansı 50 Hz ve devri 3000 d/dk'dır.

Genellikle termik santrallerde kullanılan alternatörler hidrojen soğutmalı olarak yapılmaktadır. Fakat hidrojen soğutmanın yanında ısısı artan hidrojeni soğutmak için de su kullanılır. Alternatör gövdesine yerleştirilen radyatör şeklindeki panellerden su geçirilerek hidrojenin ısısı düşürülür. Şekil 2.4'te bu paneller gösterilmiştir. Hidrojen alternatör sargılarının etrafında dolaşarak sargıların ısınmasını engeller.

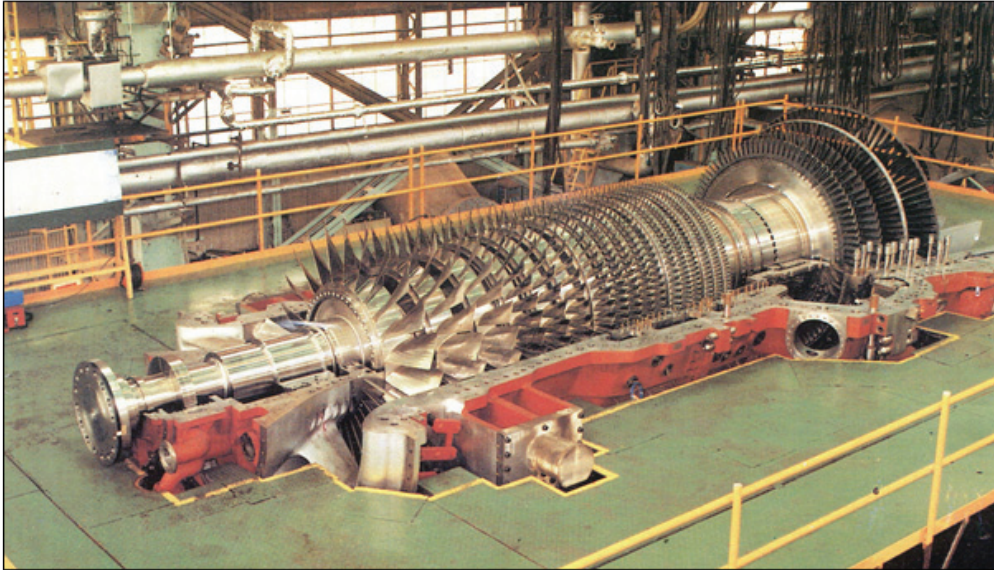
Gaz türbinli santrallerde kullanılan gaz türbinleri 3 bölümden oluşur. Türbinin ilk bölümü 17-20 kademeli kanatçıklardan oluşmuş kompresör kısmıdır. Kompresör kısmı yanma için gerekli basınçta havayı ve soğutma için gerekli havayı temin etmeye yarar. İkinci bölüm yanma odacıklarının bulunduğu yanmanın gerçekleştiği ve kanatçıkların olmadığı kısımdır. Üçüncü kısım ise 3 veya 5 kademeli kanatçıklardan

oluşmuş ve yanma sonucu açığa çıkan sıcak ve basınçlı gazın çarparak dönmeyi sağladığı gaz türbini kısmıdır. İş biten gaz buradan egzozla giderek sistemi terk eder.

### 3.2.2.2. Hava sistemi

Gaz türbininin güvenli işletilmesi için soğutma sistemi en önemli fonksiyonlarından biridir. Soğutma sisteminin fonksiyonu, gaz türbini kanatları gibi doğrudan yanma ürünü sıcak gazlar ile direk temasta olan sıcak parçaların soğutulması için soğutma havası sağlamaktır. Gaz türbininde giderek artırılan türbin giriş sıcaklığına bağlı ve bunun bir sonucu olarak türbinin sıcak kısımlarının soğutulması için metotlar geliştirilmiştir.

Türbin bölümünün soğutma sisteminde rotor soğutma devresi ve dört sabit kanat soğutma devresi bulunmaktadır.



Resim 3.5 701 F tipi bir gaz türbinli santralin kesit görünüşü

Rotor soğutma devresi için soğutma havası olarak kompresörden yanma odasına basılan ve yanma odaları gövdesinden alınan türbin soğutma havası soğutucusunda soğutulan hava kullanılır.

1.kademe sabit kanatları soğutmak için doğrudan kompresör çıkış havası kullanılır. 2. 3. ve 4. türbin kanat ringleri kompresörün yüksek basınç, orta basınç ve alçak basınç anti surge (bleed) sisteminden alınan hava ile soğutulur. Anti surge (bleed) sisteminden alınan hava ile aynı zamanda 2. 3. ve 4. Kademe kanat segmanları, ring segmanları ve türbin kademeleri arasındaki diskler soğutulur. Yol verme sırasında 6. ve 11. kademe kompresör anti surge (emniyet valfi) valfleri açılarak

kompresör surge olayına karşı korunur. Kompresör kanatlarının yıkanması sırasında suyun yataklara girmesinin önlenmesi için 6. kademe bleed hava hattından alınan filtre edilmiş hava ile kompresör ve türbin tarafındaki yataklarda sızdırmazlık sağlanır.

Gaz türbini; hava giriş sistemi, hava giriş filtreleri ve hava giriş kanallarından oluşmaktadır. Fiberglastan mamul filtre elemanları ile atmosfer havasında bulunan toz gibi katı zerrecikleri filtre ederek bu gibi maddelerin kompresöre girmesi önlenir.

Türbin hava giriş sistemi kanalları ise giriş havası susturucuları ve hava kanallarından oluşmaktadır. Hava giriş kanal sisteminde bulunan giriş havası susturucuları vasıtasıyla giriş havası sisteminde kompresör kanatları nedeniyle oluşan yüksek frekanslı gürültü kabul edilebilir seviyelere düşürülür.

Gaz türbinindeki yanma işlemi neticesinde oluşan egzoz gazları, egzoz kanalı vasıtasıyla atık ısı kazanına verilir. Egzoz kanalında bulunan akustik paneller ile egzoz gazının oluşturduğu gürültü seviyesi düşürülür.

Santral kombine çevrim santrali ise egzoz gazı tekrar değerlendirilir. Gaz türbinli santral ise filtre edilerek atmosfere verilir.

Gaz türbini hız alma ve hız düşümü periyotlarında gaz türbini kompresörünü ani basınç yükselmelerinin sebep olacağı hasarlardan (surge) korumak için gaz türbininde iki kompresör bleed (anti surge) sistemi vardır. Bu sistem ile kompresörün 6. ve 11. kademlerinden iki adet kompresör bleed valfi ile hava alınır. Bu iki adet bleed valfi gaz türbini hızına bağlı olarak pnömatik olarak çalışırlar.



Resim 3.6 Bursa kombine çevrim santralinde gaz türbininin yerleştirilişi



### 3.2.2.3. Yağlama yağı sistemi

Yağlama yağı sisteminin fonksiyonu; tüm yataklara, dişlilere, gaz türbinini egzoz tarafı taşıyıcılarına, aşırı hız koruma sistemine, tork konvertöre, istenen basınç ve sıcaklıkta, filtre edilmiş temiz yağlama yağı temin etmektir.

Gaz türbini ve alternatörün emniyetli çalışması, sisteme yeterli yağlama yağı sağlanması şartına bağlıdır. Yağsız çalışma durumu elektriksel kilitleme sistemi ile olanaksız hâle getirilerek koruma sağlanmıştır.

Yol verme işlemi sırasında alternatif akım motor tahrikli ve %100 kapasiteli yardımcı yağlama yağı pompası ile çalışır. Bu yardımcı yağlama pompası ile ilk döndürme (viror) işlemi sırasında sisteme yağlama yağı verilir. Yol verme işlemi başlamadan en az 8 saat önce türbin viore (düşük devirde döndürme işlemi) alınmalıdır. Türbinin yük altında çalışması durumunda, gerekli yağlama yağı, gaz türbini rotoru tarafından tahrik edilen ana yağ pompası ile sağlanır.

### 3.2.4.4. Kontrol yağı besleme sistemi

Kontrol yağı sisteminin amacı yakıt besleme kontrol valflerine temiz, filtre edilmiş istenen basınç ve sıcaklıkta kontrol yağı temin etmektir.

Yol verme işlemi sırasında yol verme süreci başlatıldığı anda, alternatif akım motor tahrikli , %100 kapasiteli ana kontrol yağ pompası otomatik olarak devreye girer. Bu ana kontrol yağ pompası, gaz türbinine yol verilirken, yakıt besleme valflerine kontrol yağı beslemesini sağlamaya başlar.

### 3.2.4.5. Yakıt sistemi

Yakıt sisteminde yakılacak yakıtın temini ve yakılması için iki ayrı ünite mevcuttur:

- Doğal gaz sistemi
- Yakıcılar
- Doğal gaz sistemi

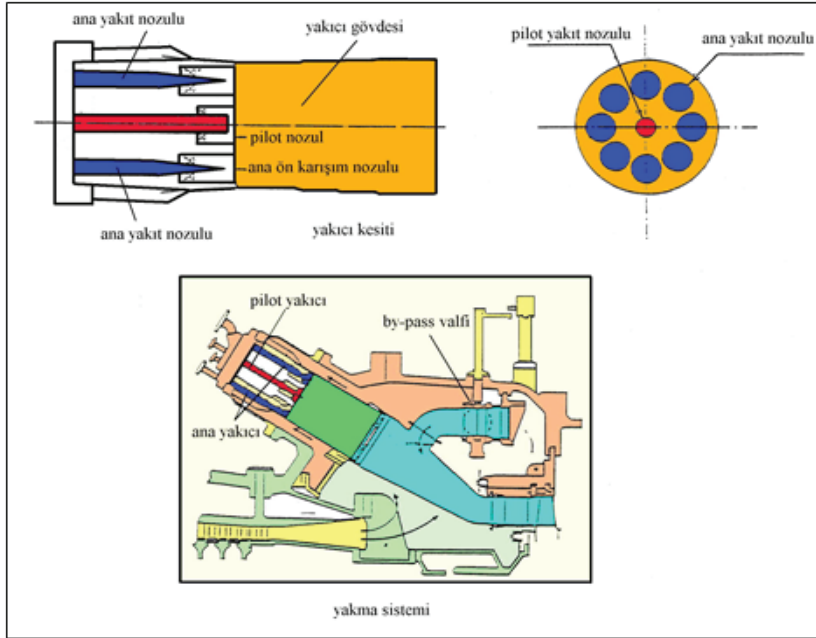
Gaz türbininin tüm işletme şartlarında, doğal gaz temini, doğal gaz sistemi ile sağlanır. Doğal gaz sistemini oluşturan alt sistemler sırasıyla; giriş seperatörü, filtreler ve doğal gaz kompresörleridir.

Sistemde bulunan seperatörler ile katı maddelerin ve sıvı damlacıkların nozzlelara girmesi önlenir. Seperatörler esas olarak girişte doğal gazın nemini alırlar.

Filtreler ise doğal gazın türbine girişinden önce, katı maddeler ve sıvı damlacıklarının türbine girmemesi için nihai bir filtredir.

### Yakıcılar:

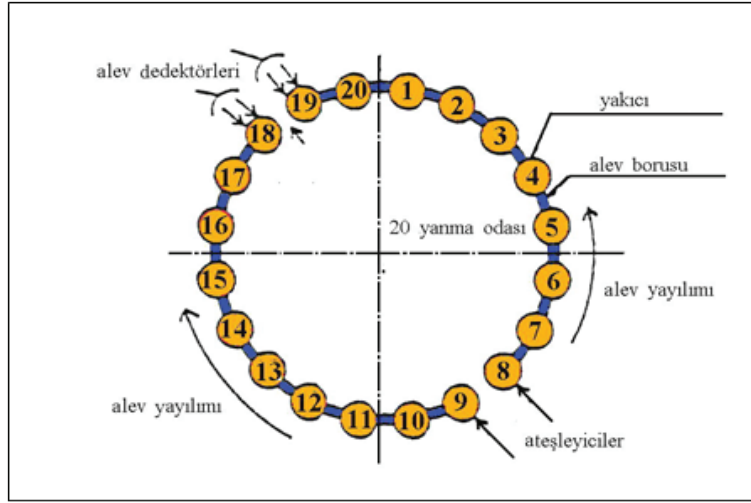
Yakma sistemi 20 adet çevresel yakıcılardan oluşur. Yakıcılar herhangi bir buhar veya su enjeksiyonu gerekmeden düşük azotoksit emisyon seviyesini sağlayacak özelliktedir. Her bir yakıcıda merkezde difüzyon alev sağlayan bir adet pilot nozul ve bu pilot nozulun etrafında 8 adet ana önkarişım (premix) nozul bulunmaktadır. 8 adet nozul bütün şartlarda servistedir. %40 yükün üzerinde top hat denilen diğer nozullar da servise girer



Şekil 3.6 Yakıcılar ve yakma sistemi

Düvgün alev elde edilmesi pilot nozulun yayılan difüzyon alevi ile sağlanır. Bu nedenle pilot alev ateşleme aşamasından yük işletmesine kadar uygulanır. Difüzyon pilot alevine göre daha düşük alev sıcaklığı oluşturması nedeniyle ön karışım ana nozulları vasıtasıyla düşük azotoksit (NOx) yakma sağlanır. Giriş kısmında bulunan by-pass valfi ile ana nozullara giden hava beslemesi ayarlanarak kontrol edilir. Ana nozulların ön karışım modunda, bu sistem ile en uygun yakıt-hava karışım oranı temin edilir.

Ateşleme işleminde önce 8 ve 9 nolu yakıcılardaki ateşleyiciler kıvılcım vermeye başlar ve alev oluşur. Alev borusu ile alev komşu yakıcılarda da oluşturulur ve nihayet bütün yakıcılar ateşlenmiş olur. Tüm yakıcılarda ateşleme işleminin tamamlanıp tamamlanmadığı 18. ve 19. yakıcılarda bulunan alev dedektörleri ile izlenir.



Şekil 3.7 Yanma odaları ve yakıt yayılma mekanizması

### 3.2.3. Gaz türbinli santrallerin günümüzdeki uygulamaları

Günümüzde, enerji gereksinimi hızla artmakta ve buna paralel olarak petrol bazlı yakıtlar, doğal gaz ve kömür rezervleri hızla azalmaktadır. Bu gelişmeler birincil enerji kaynaklarının yüksek verimlilikte kullanımını ve çevre ile barışık sistemlerin seçimini zorunlu kılmaktadır. Bu da doğal olarak yüksek verimli kojenerasyon tekniği çözümlerini gündeme getirmiştir.

Günümüz Türkiye'sinde, özellikle enerjiyi yoğun bir şekilde kullanan sektörler için enerji sorunu çok önemlidir. Bu nedenle bileşik ısı/güç santralleri; tekstil, kâğıt, seramik, çimento, kimya, gıda, toplu ısıtma ve soğutma gibi hem elektrik hem ısıya gereksinimi olan sektörler için oldukça günceldir.

Temel olarak elektrik enerjisi üretim işlemi şu şekildedir: Kullanılan temel yakıtın yanmasıyla, kimyasal enerji meydana gelir. Kimyasal enerji mekanik enerjiye dönüşür. Bu enerji de jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüşür. Yanma ürünü olarak 400 - 500°C sıcaklıktaki egzoz gazından ve sistem soğutmasından elde edilen ısıların, ısı değiştiricilerinden geçirilerek buhar veya sıcak su elde edilmesidir.



Resim 3.7 Bursa kombine çevrim santralinin 1. ünitesinin görünüşü

Büyük güçlü konvansiyonel santrallerin buhar ve sıcak su tüketebilecek birimlere olan uzaklığından ötürü ilk kuşak termik santrallerde sistemin ürettiği ısı atılarak sadece elektrik enerjisi üretilmekteydi ve sistem verimi %30-35 civarındaydı. Fakat son yıllarda atık ısılardan da yararlanılarak gerçekleştirilen *kombine çevrim santralleriyle* sistemlerin verimi % 45-55 dolaylarına çıkmıştır. Dünyadaki en iyi kombine çevrim örneklerinden biri olan Ambarlı Kombine Çevrim Termik Santrali'nde verim % 50 civarındadır. Yine de bu verim artışı nakil hatlarındaki %10 civarındaki kayıplarla oldukça düşmektedir.

Yüksek verimli kojenerasyon tesislerinin gereksinim duyulan her gücü karşılayacak şekilde tasarlanıp, tüketim birimlerinin yakınlarına kurulabilmesi ve böylece iletim kayıplarını en aza indirgeyerek çalışması kojenerasyon seçiminin akılcılığını arttırmaktadır.

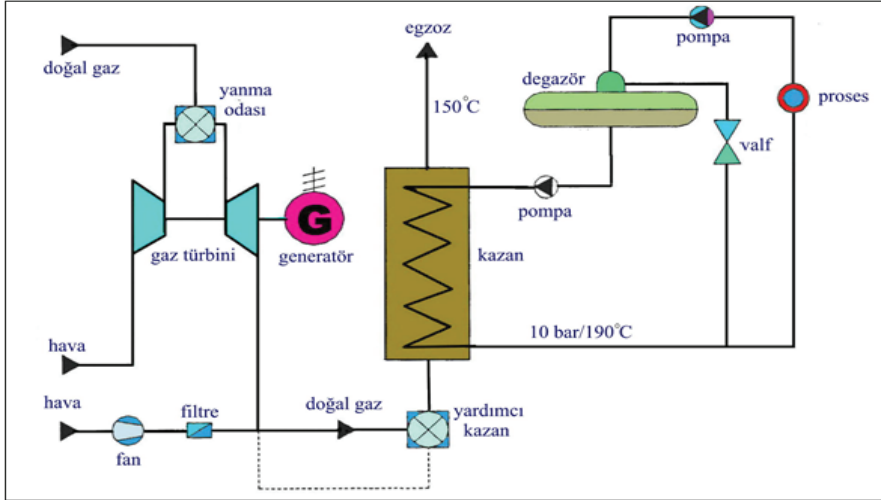
Enerji gereksiniminin karşılanacağı tüketim biriminin özelliklerine göre aşağıda tanıtılacak sistemler kullanılarak bir kojenerasyon santrali tasarlanır. Bu sistemler; genellikle gaz türbinli, gaz ve buhar türbinli kombine) veya gaz motorlu olmaktadır.

- **Gaz türbinli kojenerasyon sistemleri**

Son yıllarda havacılık sanayiindeki teknolojik gelişmelere paralel olarak, gaz türbinleri çok yüksek verimlere ulaşmış ve ekonomikliği hızla artmıştır. Böylece yeni kuşak endüstriyel gaz türbinleri güvenilirliği, yüksek ve bakım

ihtiyacı düşük olduklarından, problemsiz olarak uzun süreli çalışabilmektedirler.

Teknik açıdan değerlendirildiğinde gaz türbinli sistemler; doğal gaz ve hava karışımının ( 12-35 bar ) yanma odasında yanmasıyla oluşan kinetik enerji türbin aracılığıyla jeneratörü döndürür. Jeneratörün dönmesiyle de elektrik enerjisi elde edilir. (Şekil 3.7)



Şekil 3.8 Gaz türbinli basit çevrim kojenerasyon tesisi prensip şeması

- **Gaz ve buhar türbinli kojenerasyon sistemleri**

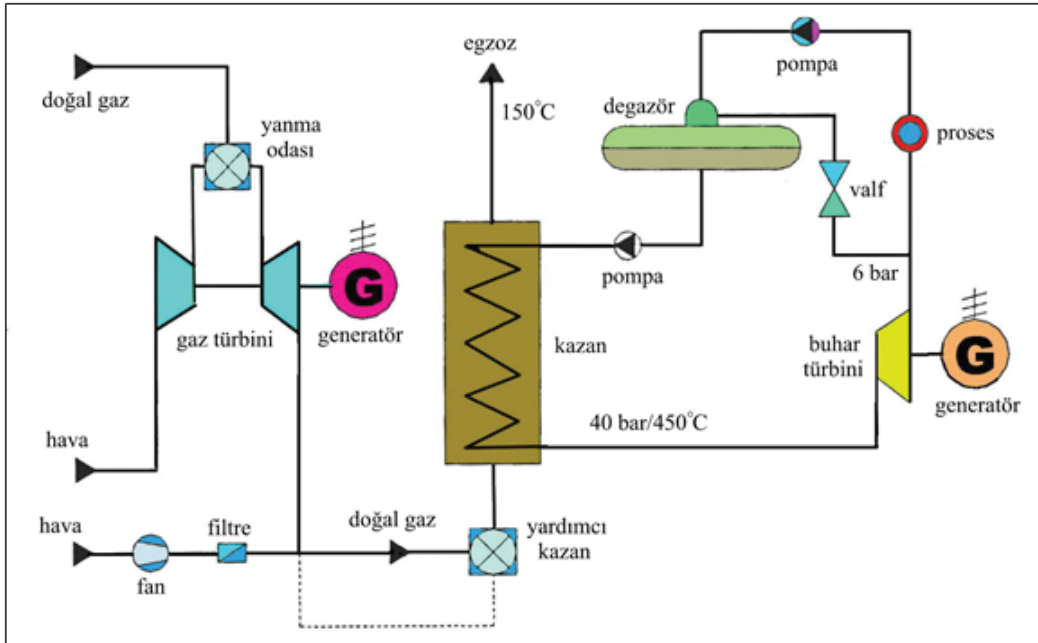
Gaz türbinli sistemlerin egzoz çıkışları 400-500°C sıcaklık dolaylarındadır. Gaz türbini çıkışından doğrudan bir ısı değiştirici (atık ısı kazanı) yardımıyla istenen şartlarda doymuş buhar ve sıcak su elde edilir. Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin oranca yüksek olan ısı çıkışından elde edilen buharın doğrudan işlemde kullanılmasına ihtiyaç duyulmadığında, gaz türbini atık ısı sistemine bağlanan buhar türbini ile kojenerasyon sisteminden daha fazla elektrik üretilebilir. Bu prensiple gerçekleştirilen sistemlere; kombine çevrim santralleri denir. ( Şekil 3.8 ) Bir benzetme yapacak olursak; gaz türbinli bir termik santralin egzoz gazını bir buhar türbinli santralin buharının elde edilmesi için kullanan santral tipine kombine çevrim santrali denir. Yani kombine çevrim santralleri gaz türbinli termik santral ile buhar türbinli termik santralin birleştirilmiş hâli gibidir.

Kombine çevrim santrallerinin diğer termik santrallere göre üstünlükleri şunlardır:

- Kombine çevrim santrallerinde %55'e kadar yüksek verim değeri garanti edilebilmektedir.

- Yüksek verim nedeniyle üretilen birim elektrik enerjisine karşılık karbondioksit oluşumu çok daha düşük olmaktadır.
- Yatırım maliyeti diğer enerji üretim tesislerine göre çok ucuzdur.
- Tesis süresi kısadır.
- Su ihtiyacı düşüktür.
- İşletme ve bakımı kolay ve diğer enerji üretim sistemlerine göre daha ucuzdur.
- İşletme fleksibilitesi (esnekliği) yüksektir.

Türkiye kombine çevrim santrallerinin önemini tam zamanında anlayarak 1980'li yıllarda Trakya ve Ambarlı kombine çevrim santrallerini tesis etmiş ve Hazi- ran 1999'da da Bursa kombine çevrim santralini deneme üretimine almıştır.



Şekil 3.9 Gaz ve buhar türbininden oluşan Kombine Çevrim Santrali prensip şeması

### *Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri:*

Daha düşük sıcaklıkta ve kütlede atık ısı sağladıklarından ve çok çeşitli güçlerde üretilebildiklerinden dolayı, özellikle ısı tüketimi elektrik tüketimine oranla daha düşük olan endüstriyel uygulamalarda, toplu konut, tatil köyleri, büyük oteller gibi sıcak su ve soğutma gereksinimi olan uygulamalarda çok uygun çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Teknik olarak sistemi incelediğimizde aşağıdaki sonuçlara varabiliriz :

Gaz motorlarında, silindir içine yakıt olarak alınmış gaz, Otto çevrimine göre buji ateşlemesi ile yanması gerçekleşir. Burada oluşan genleşme ile pistonlar ve buna bağlı bir jeneratör tahrik edilerek elektrik enerjisi elde edilir ya da istenirse bu dönel hareket bir akışkanı pompalamak amacıyla pompayı tahrik etmek üzere kullanılabilir. Gaz motorunun, kojenerasyon (bileşik ısı güç santralleri ) amaçlı kullanımında, sisteme verilen ısı enerjisi üç unsurdan elde edilir.

Bunlar; gaz motorunun yağlama devresi, yanma sonucu oluşan egzoz gazları ve şarj havası, silindir bloğu (ceket) soğutma suyu devresidir. Birden fazla motor kullanarak üretim kapasitesi artırılabilir. Elde edilen ısı enerjisi, ısı değiştiricilerinden geçirilerek 90°C`de sıcak su (ısıtma amaçlı ) elde edilebildiği gibi egzoz gazı, atık ısı kazanına verilerek istenilen basınçta doymuş buhar elde edilmesi de mümkündür.

Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri, elektrik tüketiminin ısı tüketimine oranla daha yüksek olduğu ya da elektrik ihtiyacının 1 MW'tan daha düşük olduğu durumlarda seçilmesi uygundur. Bu özellikleri ile gaz motorları elektrik ihtiyacının yanı sıra, ısıtma ve soğutma amaçlı ısı enerjisi gereksinimi duyulan, toplu konut bölgeleri, oteller, tatil köyleri, yüzme havuzlu spor kompleksleri, üniversite kampüsleri gibi uygulama alanlarında kullanılırlar.

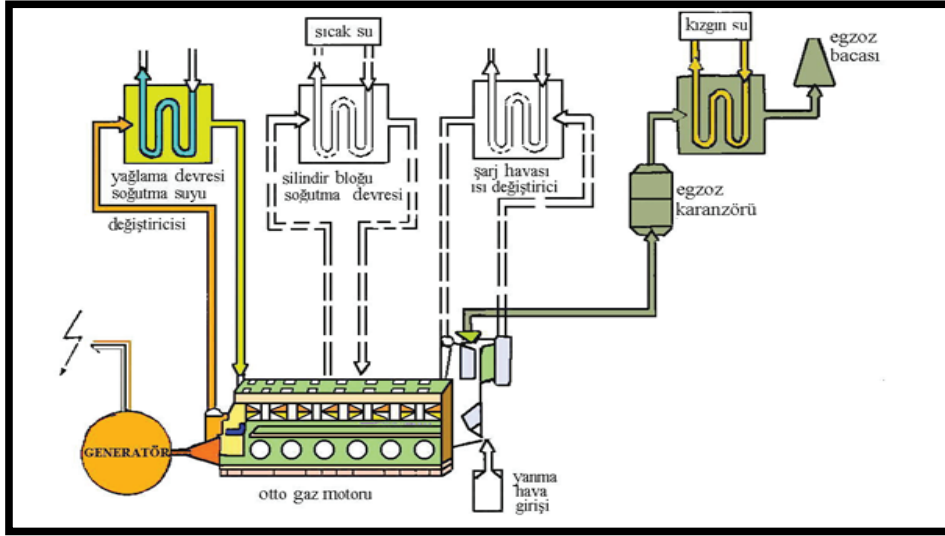
Gaz motorları denilince yakıt olarak ilk önce doğal gaz akla gelmekte fakat sıvı atık arıtma tesislerinden elde edilen metan gazı, katı atıkların çöplüklerde bozulması sırasında açığa çıkan çöplük gazı ve propan gazı ile çalışan gaz motorlarının üretimi ve uygulamaları da başarı ile gerçekleştirilmektedir.

Kojenerasyon sistemlerinde gaz motoru kullanmanın bir başka avantajı da motorun kısa zamanda devreye alınıp, yine kısa zamanda devre dışı bırakılabilme kolaylığıdır. Aynı zamanda, gaz motoru, tesisinin az devre elemanı içermesinden dolayı diğer sistemlere göre daha kısa zaman sürelerinde tesis edilebilmesi ve tesis iç tüketimlerinin az olması da gaz motorunun bir avantajıdır.

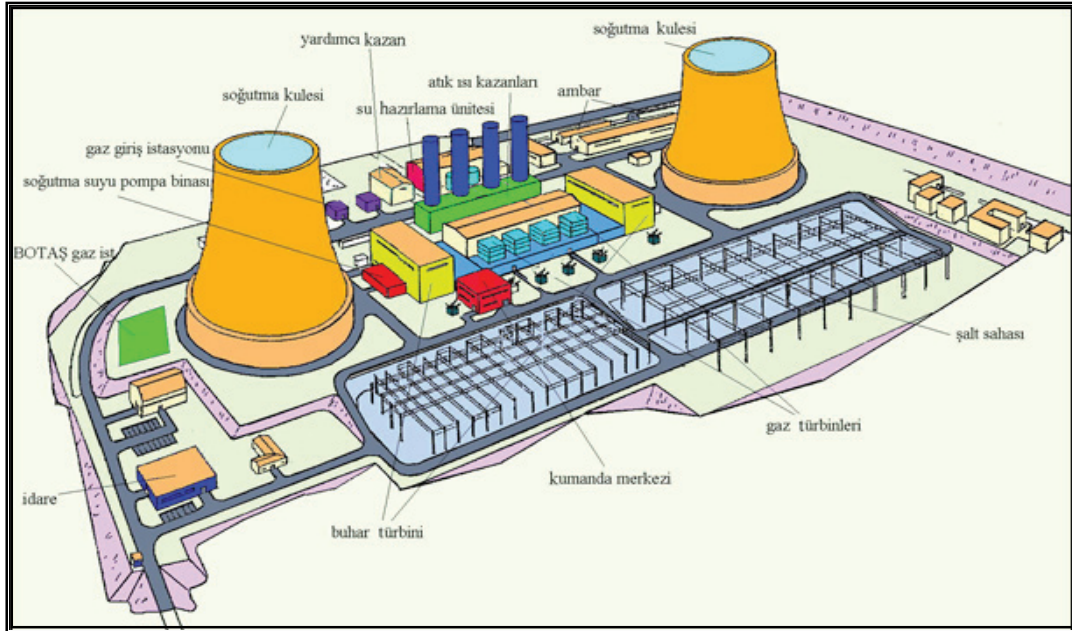
Gaz motorlarının çok çeşitli güçlerde imal edilebilmelerinden dolayı, günün çeşitli zamanlarında değişik yük seviyelerindeki uygulamalarda, yükü iki, üç belki de daha fazla motorun üzerine paylaştırma olanağı bulunmaktadır.

Ülkemizde gaz türbinli ve doğal gaz kombine çevrim santralleri mevcuttur. Ayrıca otoprodüktör statüsünde doğal gaz santralleri de vardır.





Şekil 3.10 Gaz motorlu kojenerasyon sistemi prensip şeması



Şekil 3.11 Bursa doğal gaz kombine çevrim santralinin krokisi

### 3.3. DİZEL SANTRALLER

Günümüzde dizel santraller fabrika, işletme, Türk Telekom, Tv istasyonları, hastaneler gibi önemli yerlerde enerji kesildiğinde kullanılır. Ayrıca haddehanelerde, dökümhanelerde, elektrikle çalışan potaların ve indüksiyon bobinlerinin çalıştığı işletmelerde enerji kesilmesinde, tesisin zarar görmesini önlemek için kullanılır.



Dizel santraller küçük yapılı olduğu için az yer kaplarlar. İstenildiğinde taşınabilir. Bu özelliklerden dolayı çok kullanılır. Fakat elektrik enerjisi üretiminde birim maliyeti çok pahalı olduğu için büyük santral seviyesinde kullanılması uygun olmaz. Bu sebeple elektrik enerjisinin kesildiği zamanlarda hizmetlerin devamlılığını sağlamak için kullanılır. Uygulamalarda jeneratör olarak bildiğimiz cihazlar, küçük çaplı dizel santral uygulamalarıdır.

Dizel santraller, elektrik enerjisinin ulaştırılamadığı çöllerde ve gemilerde de kullanılır.

### **3.3.1. Dizel santrallerin bölümleri ve görevleri**

#### **3.3.1.1. Çalışması**

Dizel santrallerde yakıt olarak mazot kullanılır. Dizel santrallerde mekanik enerjiyi oluşturan kısım dizel motordur. Dizel motorun çalışması özetle şöyledir:

Süzgeç ve susturucudan geçerek basınç ve sıcaklığı artırılmış hava, dizel motora verilir. Motorun pistonları tarafından sıkıştırılan bu havanın içine basınçlı yakıt (Mazot) püskürtüldüğünde, ortamda bir yanma oluşur. Bu yanma etkisi ile sıkışan pistonlar geriye doğru itilir. Bu olay zincirleme devam eder. Pistonların ucuna bağlı bir volan sayesinde hareket düzgün dairesel harekete çevrilir. Buradaki mekanik enerji dizel motorun miline bağlı alternatörü döndürerek, elektrik enerjisine çevrilir.

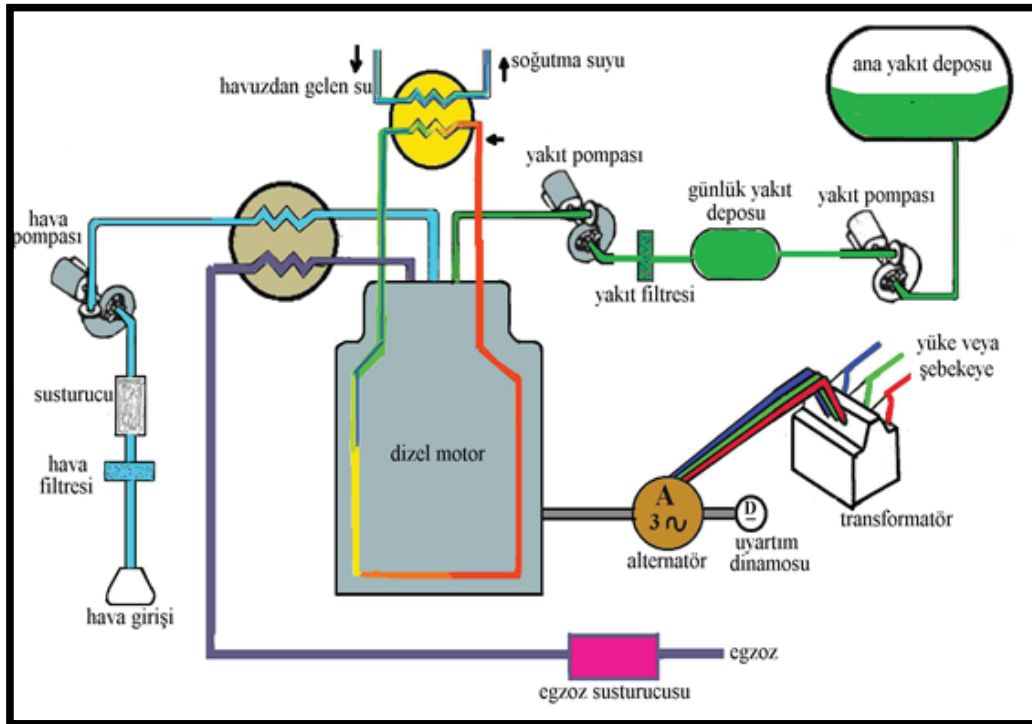
Dizel santraller 35 KVA'dan 50 MVA'ya kadar olan güçlerde yapılırlar. Dizel santraller hayati önem taşıyan yerlerde ve enerjinin ulaştırılamadığı yerlerde çabuk devreye girmesi, kolay yüklenebilmesi ve yakıt olduğu sürece kesintisiz çalışabilmesi gibi bazı üstünlüklerinden dolayı tercih edilirler. Santrale hava sağlayan sistem, ilk önce havayı bir kompresör yardımıyla çeker. Çekilen hava içindeki toz ve benzeri zerreciklerin santrale girmemesi, hava filtresi yardımıyla sağlanır. Filtreden sonra yerleştirilmiş olan susturucuda havanın çekilmesi sırasında oluşacak sesi kabul edilebilir seviyeye indirmektir. Yanma odasına gönderilecek olan havanın biraz ısıtılması gereklidir. Bu ısıtma işlemi içinden egzoz gazının geçtiği bir eşanjör ile sağlanmaktadır. Bu şekilde işi biten egzoz gazı, tekrar kullanılmış olur.

Santralde kullanılan yakıt, ana yakıt deposundan, bir pompa yardımıyla günlük yakıt deposuna gönderilir. Buradan bir yakıt filtresi içinden geçen yakıt, içindeki yabancı maddeleri bu filtrede bırakır. Bir yakıt pompası yardımıyla yakıt yanma odasına pompalanır.

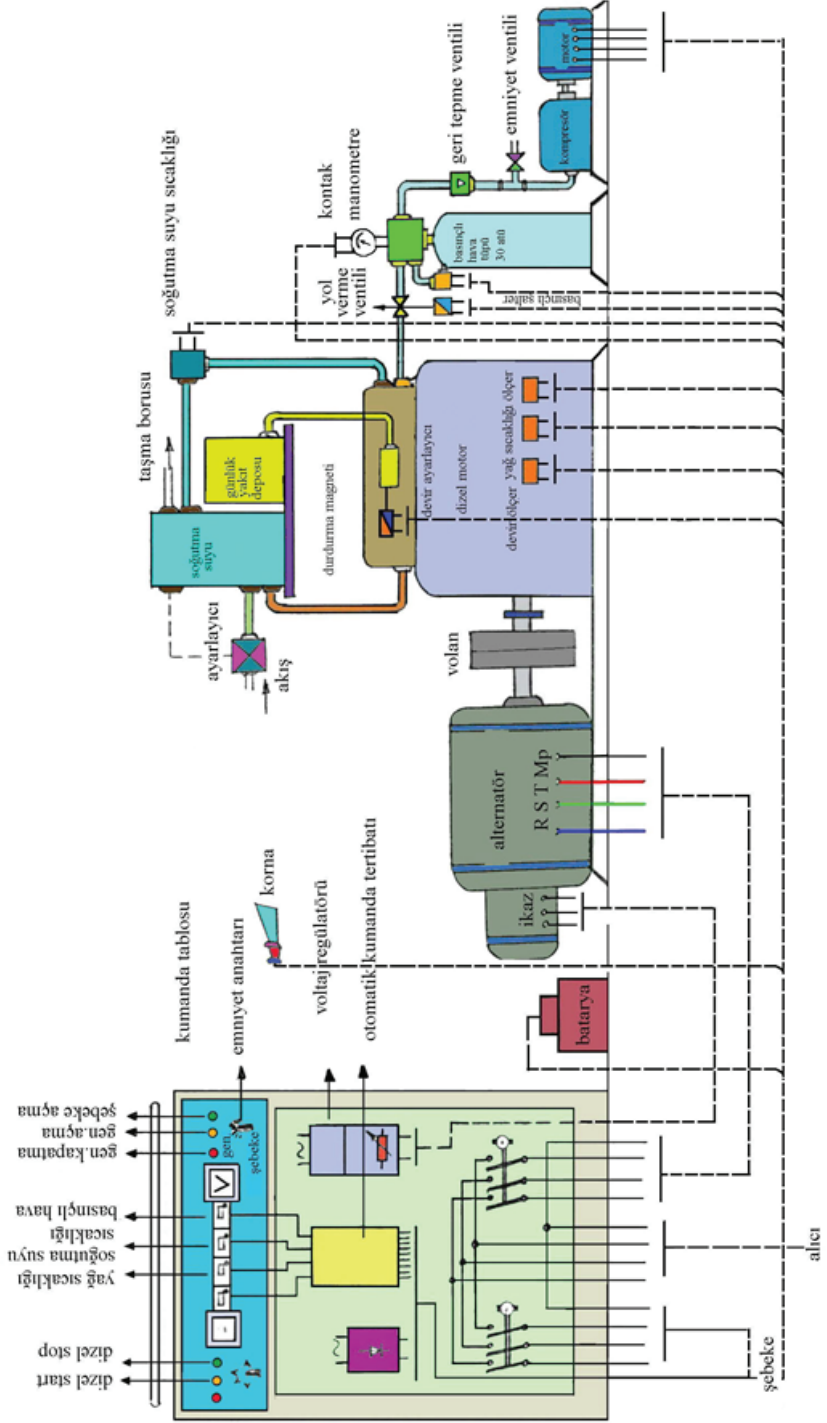
Dizel motorun soğutulması soğutucu su ile sağlanmaktadır. Motoru soğuturken ısınan soğutma suyu bir havuz suyu ile tekrar eski ısısına getirilir.



Resim 3.8 Bir dizel santralin görünüşü



Şekil 3.12 Dizel santral prensipşeması



Şekil 3.13 Otomatik kumandalı Dizel-Jeneratör grubu

### 3.3.2. Dizel santrallerin bölümleri

- Dizel motor
- Alternatör ve uyartım dinamosu
- Diğer bölümler ( yol verme,kumanda, soğutma, dağıtım tablosu v.b)

#### 3.3.2.1. Dizel motor

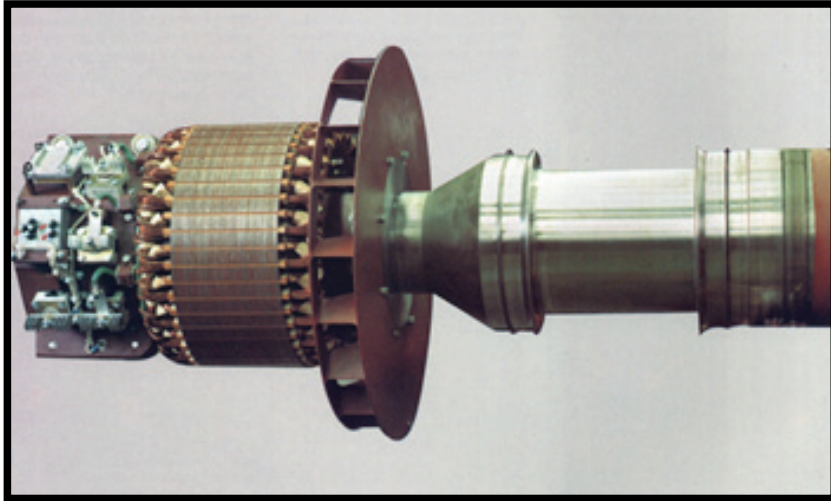
Dizel motor, mekanik enerjinin üretildiği mazotla çalışan bir motordur. Sistem itibariyle kamyonlardaki dizel motorlarla benzerlik gösterir. Fakat daha büyük ve daha güçlüdür.Boyutları santralin kapasitesine göre değişir.

#### 3.3.2.2. Alternatör ve uyartım dinamosu

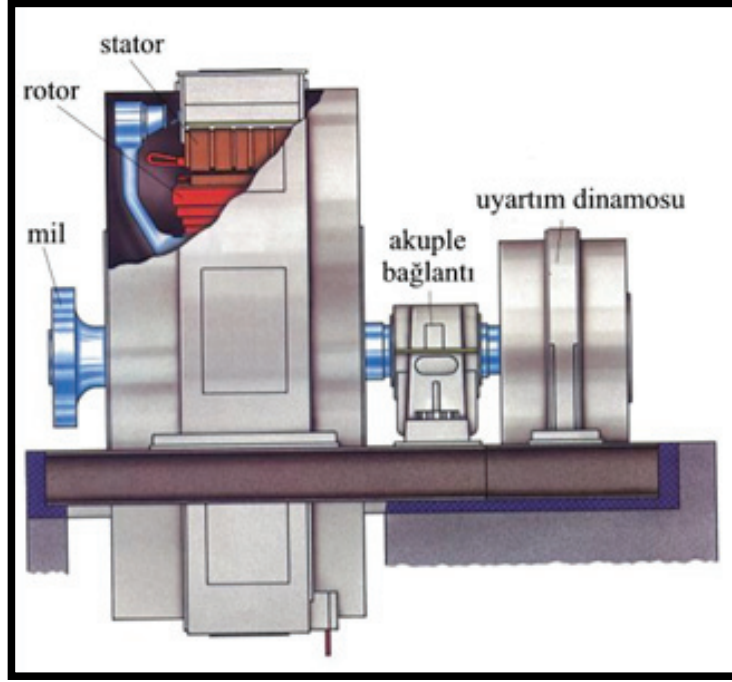
Dizel santrallerde, dizel motor yardımıyla üretilen mekanik enerji doğrudan doğruya veya bir dişli grubu vasıtasıyla alternatörlere aktarılır.

Alternatör miline uygulanan mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilir. Alternatörlerin elektrik üretiminde ihtiyaç duydukları uyartım gerilimleri, miline akuple bağlı, uyartım dinamosundan sağlanır. Bu uyartım dinamosu bir şönt dinamo olabileceği gibi bir kompunt dinamo da olabilir.

Dizel santrallerde kullanılan alternatörlerde silindirik rotorlar kullanılır. Diğer termik santrallerde kullanılan alternatörlerin devirleri 3000 d/dk iken dizel santrallerde alternatör devir sayısı; 107 d/dk, 429 d/dk gibi değerlerdedir.



Resim 3.9 Bir uyartım dinamosu rotoru ile diyotlar ve koruyucu devresi



Şekil 3.14 Dizel santrallerde kullanılan bir alternatör ve uyartım dinamosu

### 3.3.2.3. Diğer bölümler

#### *Yol verme sistemi:*

Dizel motorun ilk çalışması esnasındaki hareketin sağlanmasına, yol verme sistemi denir. Küçük dizel santrallerde yol verme işlemi akümülatörle çalışan bir motorla yapılır. Sistem çalışırken bir şarj dinamosu yardımı ile akü devamlı şarj edilir. Aküden alınan enerji ile dönen motor, dizel motora ilk hareketi verir ve dizel motor yol alır. Dizel motor çalıştıktan sonra kendi kendini çalıştıracak enerjiyi üretmeye başlar.

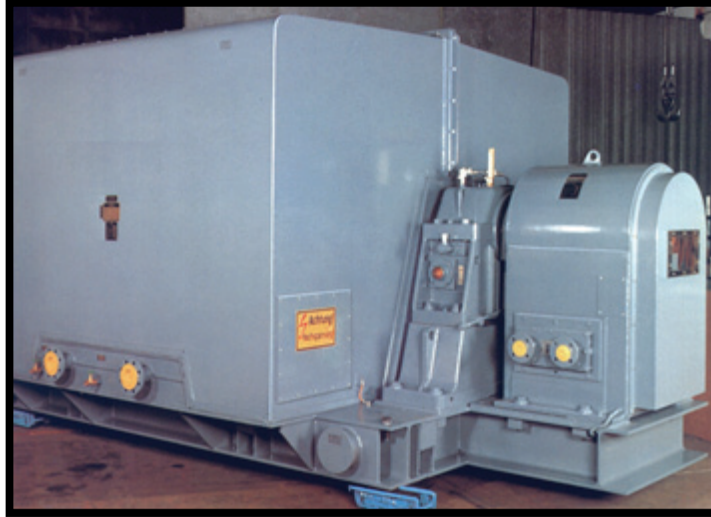
Büyük dizel santrallerde ise yol verme işlemi, basınçlı hava kullanılarak yapılır. Bu durumda basınçlı havayı elde etmek için bir kompresöre ve hava tüplerine ihtiyaç vardır.

#### *Soğutma işlemi:*

Hareketli parçaların bulunduğu her makine çalışırken ısınır. Bu ısınmanın aşırı boyutlara ulaşması ve makineye zarar vermemesi için soğutulması gerekir. Bu işlem genellikle saf su ile yapılmalıdır. Saf su motorun içinden dolaşarak soğumayı sağlar. Küçük güçlü santrallerde soğutma işlemi, hava ile yapılabilir.



Hareketli parçaların aşırı sürtünmesi işlemini önlemek için ve rahat hareket etmesini sağlamak için kullanılan yağ da soğutma işlemine yardımcı olur. Bu bölümlerden başka, dizel santrallerde kumanda, yakıt ve hava pompalama üniteleri, dağıtım tabloları, yağlama ünitesi gibi üniteler de mevcuttur. Fakat dizel santraller günümüzde büyük güçlerin üretiminde kullanılmadığı için fazla ayrıntıya girmeye gerek duyulmamıştır. Bazı büyük tesislerde dizel santraller yerine gaz motorlu santraller kullanılmaktadır.



Resim 3.10 Bir alternatör ve uyarım dinamosu



Resim 3.11 Çölde kurulmuş bir dizel santral

### 3.4. NÜKLEER SANTRALLER

Nükleer santral; uranyum 233, uranyum 235, plütonyum 239 ve toryum gibi maddelerin atomlarının kontrollü bir şekilde reaktörlerde parçalanması sonucu çok yüksek derecede ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Bu ısı enerjisinden buhar kazanındaki su ısıtılarak, yüksek sıcaklıkta ve basınçta buhar elde edilmektedir. Meydana gelen buhar, türbine verilerek mekanik enerjiye çevrilir. Buhar türbininin miline akupple bağlı olan alternatör döndürülerek, elektrik enerjisi elde edilir.

Nükleer malzemeden enerji üretimine yönelik ilk bilimsel çalışmalar, 1900'lü yılların başında ABD'nin öncülüğünde Rutherford, Hans, Strasman, Oppenheimer, Einstein gibi bilim adamları tarafından başlatılmıştır.

Deneyssel anlamda ilk nükleer reaktör diğer bir deyişle enerji üretimine yönelik kontrollü zincirleme reaksiyon, 1942 yılında Enrico Fermi tarafından Chicago Üniversitesi'nin bahçesindeki tesiste gerçekleştirilmiştir.

1955 yılında yapılan 1. Çevre Konferansı'ndan sonra nükleer alandaki çalışmaları hemen başlatan ülkelerden biri Türkiye'dir. 1956 yılında 6821 sayılı yasa ile Başbakanlığa bağlı Atom Enerjisi Komisyonu kurulmuş, 1961 yılında da Küçük Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde 1 MW gücündeki araştırma reaktörü işletmeye açılmıştır.

1971 yılında TEK bünyesinde Nükleer santral dairesinin kurulmasından sonra nükleer santral kuruluşuna yönelik çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmiştir. 1976 yılında santral yer seçimi araştırmaları tamamlanarak Akkuyu için yer lisansı alınmıştır.

Nükleer santral ihalesi bir İspanyol firmaya verilmiş ve anlaşması 1998 yılı içinde yapılmıştır. Nükleer santral çalışmaları 1956 yılında başlamasına rağmen ilk nükleer santralimizin 2006 yılında hizmete girmesi plânlanmıştır.

Nükleer santraller hidroelektrik ve kömür yakıtlı santrallerin aksine, teknik olarak her yere kurulabilirler. Ancak üretilen elektriğin ekonomik olabilmesi için santralin kurulduğu yerin bazı özelliklere sahip olması gerekir. Bu özellikleri birkaç başlık altında belirtelim:

**Deprem riski:** Nükleer santraller kurulurken yapım maliyetini en aza indirmek için, deprem riskinin en düşük olduğu yerler seçilir. Akkuyu yöresi bu anlamda, Türkiye'nin en güvenli bölgelerinden biridir.

**Taşıma koşulları:** Nükleer santrallerin, 400-500 tona varan ağırlıkta parçaları vardır. Resim 2:14 bu parçaların santralin kurulacağı yere taşınması önemli bir sorundur. Coğrafyamız, kara ve demir yollarımız, bu ağırlıktaki parçaların taşınmasına uygun değildir. Akarsularımızda taşımacılığa uygun olmadığı için bu soruna çözüm getiremezler. Bu sebeple Türkiye'ye kurulacak nükleer santralin öncelikli olarak de-

niz kenarında olması ekonomik olarak büyük yarar sağlar.

**Soğutma gereksinimi:** Termik santrallerde olduğu gibi nükleer santrallerde de üretilen ısıyı alabilmek bir soğutucuya gereksinim duyulur. Bu soğutucu genellikle akarsu veya denizden sağlanacak sudur. Türkiye'deki çoğu akarsuyun debisi bu soğutmayı sağlayacak düzeyde olmadığından nükleer santrallerin deniz kenarında kurulması en uygun seçenektir.

**Meteorolojik koşullar:** Yöreye hakim hava olaylarının bilinmesi, sağlanan güvenliğin korunması ve olası radyolojik etkenlerin en aza indirilmesi açısından önemlidir.

Akkuyu yöresi, yukarıda sıralanan bütün bu özelliklere sahip yerlerden biri olduğu için seçilmiştir. Yörenin lisans alma çalışmaları ise 1972 yılında başlamış, dört yıl süren jeolojik, meteorolojik ve biyolojik incelemeler sonucunda bu yöreye Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından yer lisansı verilmiştir.

### 3.4.1. Önemi

Dünya elektrik ihtiyacının 2007 ile 2035 yılları arasında yıllık ortalama %1,4 toplamda %49 artacağı öngörülmektedir.

Ülkemizde ise 2009-2018 yılları arasında yüksek talep olduğunda %4,5-7,5 düşük talep olduğunda ise %4,5-6,7 oranında yıllık elektrik talep artışı olacağı tahmin edilmektedir

Bu artışa karşın, TPAO'nun verilerine göre, dünya elektrik üretiminin %26,7'sini (2008 yılı), ülkemizin ise %47,2'sini (2010 yılı) karşılayan petrol ve doğalgazdan petrol rezervleri 2050 yılında, doğalgaz rezervleri ise 2070 yılında tükeneyeceği tahmin edilmektedir.

Yıllar	Yüksek Talep	Düşük Talep
2010	%4,5	%4,5
2011	%6,5	%5,5
2012	%7,5	%6,7
2013	%7,5	%6,7
2014	%7,5	%6,7
2015	%7,5	%6,7
2016	%7,4	%6,6
2017	%7,4	%6,6
2018	%7,4	%6,6

Tablo 3.1 Ülkemizin elektrik üretim talebi



Bu durumda, gelecekte enerji arz güvenliğinin sağlanması için yeni kaynaklara ihtiyaç duyulacaktır.

Bu kaynakların her an kullanıma hazır bulunmasının yanı sıra ucuz, çevre dostu ve güvenilir (sürekli) olması da gerekmektedir. Bütün bu özellikleri taşıyan nükleer enerji, sürdürülebilir enerji stratejilerinde büyük öneme sahiptir.

Dünya genelinde ve ülkemizde nükleer enerjinin, elektrik üretiminde tercih edilmesindeki diğer nedenler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Nükleer santraller, yenilenebilir enerji kaynaklı santraller gibi dış koşullara (iklim koşullarına), kömür santralleri gibi yakıtın kalitesine, petrol ve doğalgaz santralleri gibi rezerv miktarına bağlı olmadığı için elektrik üretiminde süreklilik arz eder.
- Nükleer enerji üretim zinciri, tümüyle ele alındığında sera gazı salımı konusunda en temiz seçenektir. Fosil yakıtların yanmasıyla açığa çıkan karbon monoksit, karbondioksit, sülfür dioksit ve azot dioksit gibi sera gazı oluşumuna sebep olan zararlı gazlar, nükleer santraller çalışırken atmosfere salınmaz.
- Bu nedenle nükleer enerjinin iklim değişikliğine sebep olan atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunun azaltılmasında büyük rolü vardır. Günümüzde nükleer santraller, elektrik sektöründen kaynaklanan sera gazı salımında yıllık olarak yaklaşık %17 azalmaya sebep olmaktadır. Bu santrallerin yerine fosil yakıtlı santrallerden elektrik elde edilmiş olsa her yıl 1,2 milyar ton karbon atmosfere verilecekti .
- Ayrıca, elektrik üretiminin nükleer santrallerden sağlanmasıyla yılda 2,3 milyar ton karbondioksit (Yaklaşık 444 milyon arabanın 1 yılda atmosfere yaydığı karbondioksit miktarı ), 42 milyon ton sülfür dioksit, 9 milyon ton azot dioksit emisyonuna ve 210 milyon ton kül üretimine engel olunmaktadır. Buna göre, fosil yakıtlı çalışan santraller yerine nükleer santrallerin kurulması durumunda karbondioksit emisyonu düşecek ve uzun vadede küresel ısınmaya en iyi çözüm olacaktır.
- 1 kilogram uranyumdan elde edilen enerji için, 3.000.000 kilogram (3000 ton, 25 adet ağır yük tren vagonu13) kömür veya 2.700.000 litre (2700 metreküp, 135 adet büyük boy akaryakıt tankeri) petrol gerekmektedir.
- Bu kadar az miktarda uranyum kaynağından yüksek miktarda enerji üretildiğinden nükleer santrallerin atık miktarı da bu oranda fosil yakıtlardan çok daha azdır. Örneğin, elektrik üretiminin %75 gibi büyük bir oranda nükleerden sağlandığı Fransa'da, dört kişilik bir ailenin ömürleri boyunca kullandıkları nükleer enerjiden, en fazla bir golf topu kadar büyüklükte camlaştırılmış nükleer atık çıkmaktadır.
- Ayrıca, nükleer santrallerde az miktarda yakıtla çok yüksek enerji

üretiminin gerçekleşmesi sonucunda, santralde kullanılan nükleer yakıtın çok uzun yıllar enerji ihtiyacını karşılayacağı düşünülmektedir

- Yakıt stoku olduğu sürece, sürekli güvenilir enerji üretilebilir. Nükleer santrallerden çıkan atık miktarının çok az olmasıyla çok az yer kaplayacağından yer üstündeki depolarda güvenli bir şekilde depolanabilmektedirler. Örneğin, 1000 MWe gücündeki bir nükleer santralden yılda yaklaşık 30 ton (yük treni vagonunun yarısı) nükleer atık çıkmaktadır. Aynı büyüklükteki bir fosil santralinden ise yaklaşık 2.000.000 ton petrol atığı veya kömür atığı çıkmaktadır. Bu da nükleere göre yaklaşık 67.000 kat fazla atık miktarını göstermektedir.
- Kullanılmış nükleer yakıtlar yeniden işlenerek (reprocessing) enerji üretimi için kullanılabilirler. Radyoaktif fisyon ürünlerinin %3'ü ve ağır elementler, kullanılmış yakıttan ayrıştırılıp camlaştırılarak canlı yaşamından izole edilmiş şekilde güvenli ve sürekli depolanabilmektedir. Plütonyum ve uranyumu ihtiva eden geriye kalan %97'sinden ise yeni yakıt elementleri üretilebilmektedir. Bunun sonucunda, kullanılmış nükleer yakıtların büyük çoğunluğunun tekrar işlenebilmesi ile nükleer santraller için gerekli yakıt ihtiyacı uzun yıllar boyunca karşılanabilecek ve kullanılmış yakıtlardan kaynaklanan atık miktarı azaltılmış olacaktır.
- Nükleer yakıt maliyeti ve bunun sonucu olarak fiyatı istikrarlı sayılabilecek seviyededir.
- Tablo 3. 2'de görüldüğü üzere işletme maliyetlerinde nükleer yakıtın oranı %30'larda olduğu için (bu oran kömür yakıtlı santraller için %77, doğalgaz için %90) nükleer yakıt fiyatlarındaki değişimin elektrik üretim maliyetine etkisi fosil yakıtlara oranla çok daha azdır. Yakıt fiyatlarının iki katına çıkması doğalgaz santralleriyle üretilen elektriğin maliyetine %66, kömür santralleriyle üretilen elektriğin maliyetine %31 oranında yansımaktayken bu oran nükleer santraller için sadece %9'dur.

Yakıt Tipi	İşletme ve Bakım	Yakıt	Yakıtın fiyatı iki katına çıkarsa elektrik üretim maliyetindeki değişim
Kömür	%23	%77	% 31 artar
Doğalgaz	%10	%90	% 66 artar
Nükleer	%70	%30	% 9 artar

Tablo 3.2 İşletim maliyetinde yakıtın oranı ve yakıt fiyatının iki katına çıkmasıyla birim elektrik enerjisi üretim maliyetindeki değişim

### 3.4.2. Dünyada ve Ülkemizde Kaynaklarına Göre Elektrik Üretim Oranları

Uluslararası Atom Enerji Ajansı verilerine göre 2008 yılında dünyada toplam 20.181 Milyar kWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Üretilen bu elektriğin kaynaklarına göre dağılımı Tablo 3'te gösterilmektedir.

Toplam elektrik üretiminde dünyada en büyük pay, %41 ile kömür kaynaklı güç santrallerine aittir. Nükleer güç santrallerinden üretilen miktar ise %13,5 ile doğalgaz ve hidrolik santrallerden sonra 4. sırayı almaktadır.

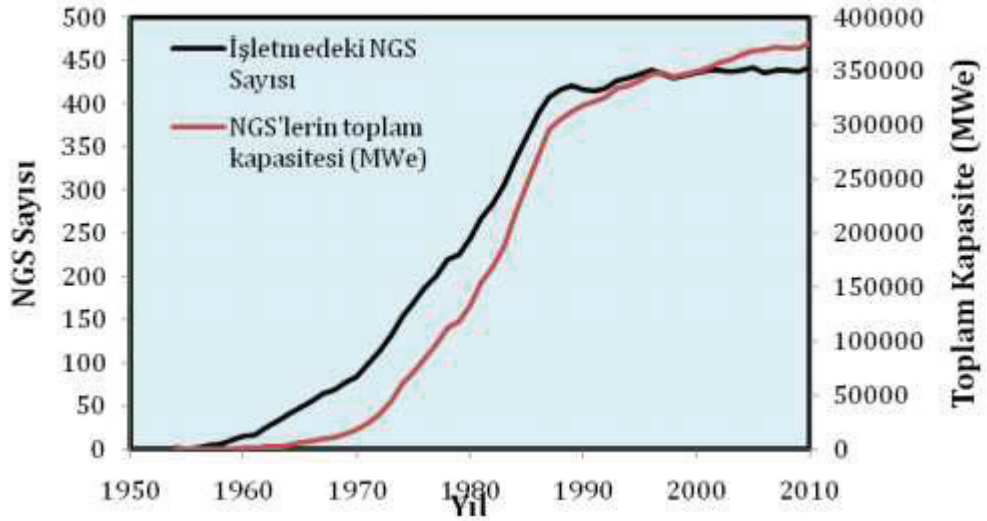
Kaynaklar	Dünya <sup>24</sup>	Türkiye <sup>25</sup>
Petrol	%5,5	%1,0
Doğalgaz	%21,3	%46,2
Kömür	%41,0	%25,9
Hidro	%15,9	%24,4
Nükleer	%13,5	%0,0
Diğer (Yenilenebilir vb.)	%2,8	%1,9
<b>TOPLAM</b>	<b>20 181 Milyar kWh</b>	<b>212 Milyar kWh</b>

Tablo 3.3 Dünyada ve ülkemizde üretilen elektriğin yakıt kaynaklarına göre dağılımı

Türkiye'de 2010 yılı verilerine göre toplam 212 Milyar kWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Tablo 3 ve 4'te görüleceği üzere üretilen elektriğin %73,2 gibi çok yüksek miktarı termik santrallerden, kalan kısmın büyük çoğunluğu ise hidroelektrik santrallerden elde edilmektedir.

Kaynaklar	Üretim (GWh)	Katkı
Doğalgaz	98.144	%46,2
Linyit	35.942	%16,9
İthal Kömür	14.531	%6,8
Taşkömürü	3.588	%1,7
Petrol	2.143	%1,0
Asfaltit	0.984	%0,5
<b>TERMİK TOPLAM</b>	<b>155.827</b>	<b>%73,2</b>
<b>HİDROLİK TOPLAM</b>	<b>51.796</b>	<b>%24,4</b>
Rüzgar	2.916	%1,4
Jeotermal	0.668	%0,3
Yenilenebilir+Atık	0.458	%0,2
<b>YENİLENEBİLİR TOPLAM</b>	<b>3.584</b>	<b>%1,9</b>
<b>DIŞ ALIM TOPLAM</b>	<b>1.143</b>	<b>%0,5</b>
<b>TOPLAM</b>	<b>212.351</b>	<b>%100</b>

Tablo3.4 Ülkemizde 2010 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı



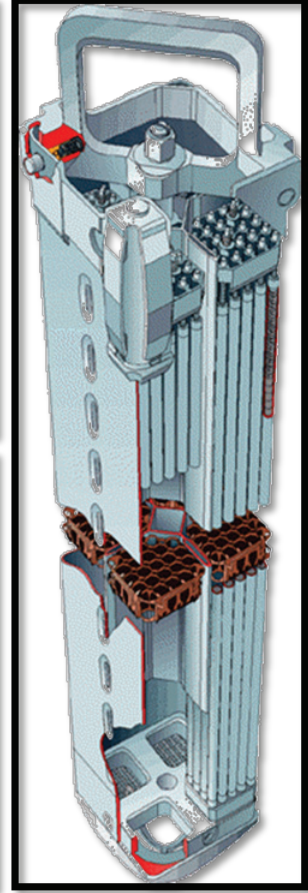
Şekil 3.15 1950-2010 yılları arasında dünya genelinde kurulan nükleer güç santrali sayısı ve toplam kapasitelerindeki değişim

### 3.4.3. Nükleer enerjinin elde edilişi

Nükleer reaktörlerin çalışması termik santrallerin çalışmasına çok benzemektedir. Aralarındaki tek fark ısının üretildiği kaynaktır. Termik santrallerde ısı kömürün yanmasıyla elde edilirken nükleer santrallerde uranyum atomlarından elde edilir. Enerji üretiminde kullanılan U-235 izotopunun doğadaki miktarı %0.7 kadardır. Geriye kalan % 99.3'lük kısmı enerji üretiminde doğrudan kullanılmayan U-238'dir. U-235'in doğadaki uranyum elementi içerisindeki miktarının arttırılması işlemine zenginleştirme adı verilir.

Bir miktar zenginleştirilmiş uranyum (% 3), boyu 4 metre, çapı yaklaşık 1 cm olan silindir boru içerisine yerleştirilir. Bu silindir borulara yakıt çubuğu adı verilir. Böyle çubuklardan yaklaşık 280 adedi bir araya getirilerek bir yakıt demeti oluşturulur. Bu demetlerden de yaklaşık 200 kadarı reaktör kazanı içerisine yerleştirilir. Nükleer reaksiyonun daha kolay olabilmesi ve üretilen ısının reaktörden alınarak kullanılabilmesi için reaktör kazanı su ile doldurulur.

Nükleer reaktörlerde uranyum elementinin bir izotopu3 olan U-235 parçalanmasıyla enerji ısı olarak açığa çıkar. Üretilen enerjinin miktarı reaktör kazanının üzerindeki kontrol çubuklarıyla ayarlanır. Santral çalışmaya başladıktan sonra elektrikli su ısıtıcıları gibi nükleer yakıt çubukları da etrafında bulunan suyu ısıtır. Isınan bu su, pompalar vasıtası ile buhar üretecine getirilir. Burada başka bir suyu kaynatırken kendisi de soğur ve tekrar yakıt çubuklarının bulunduğu kazana geri döner ve orada tekrar ısınır, bu işlem böyle devam eder.



Resim 3.12 Nükleer yakıt demetleri

Buhar üreticinde üretilen buhar türbinlere gönderilir. Türbinde buhar enerjisi mekanik enerjisine dönüşür ve türbine bağlı alternatörlerde elektrik bu mekanik enerjisiyle üretilir. Türbinden çıkan enerjisi azalmış buhar, elektrik üretiminde daha fazla kullanılamadığı için bir soğutma kulesi ve nehir suyu veya deniz suyu vasıtasıyla soğutularak tekrar suya dönüştürülüp buhar üreticine geri gönderilir. Nehirden veya denizden alınan su sadece buharı suya dönüştürmekte kullanıldığı için denize veya nehire geri gönderilir.

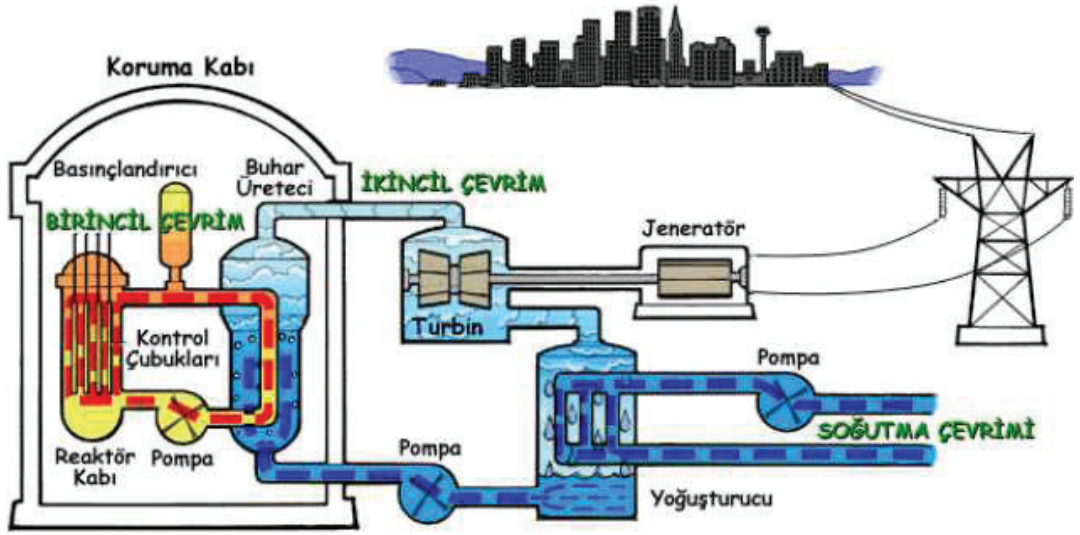
Doğada bulunan maddelerin özelliklerini, atomlarının merkezindeki çekirdeğin karakteri belirler. Çekirdek, nötron ve proton adı verilen parçacıklardan oluşmuş bir enerji paketine benzetilebilir. Doğa, bu enerji paketini, en az enerji kullanarak oluşturmaya çalışır.

Başlangıçta gereğinden fazla enerji ile oluşmuş bazı atom çekirdekleri, zamanla bu aşırı enerjilerini radyasyon veya parçacık şeklinde yayabilirler. Bu tür çe-



kirdeklere radyoaktif denir. Genelde, kurşundan daha ağır elementler radyoaktiftir ve zaman içinde bozularak kurşun veya daha hafif elementlere dönüşürler. Bu dönüşümün tamamlanması bazen milyonlarca yıl sürebilir.

Bazı ağır çekirdekler ise o kadar kararsızdırlar ki küçük bir yardımla, kısa sürede, iki farklı çekirdeğe bölünebilirler. Bu bölünme sırasında bir miktar madde de enerjiye dönüşür. İşte bu olaya çekirdek bölünmesi (filyon4), bu şekilde elde edilen enerjiye de nükleer enerji denir. Bu, aynı zamanda nükleer enerjinin, sanılanın aksine doğal bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir.



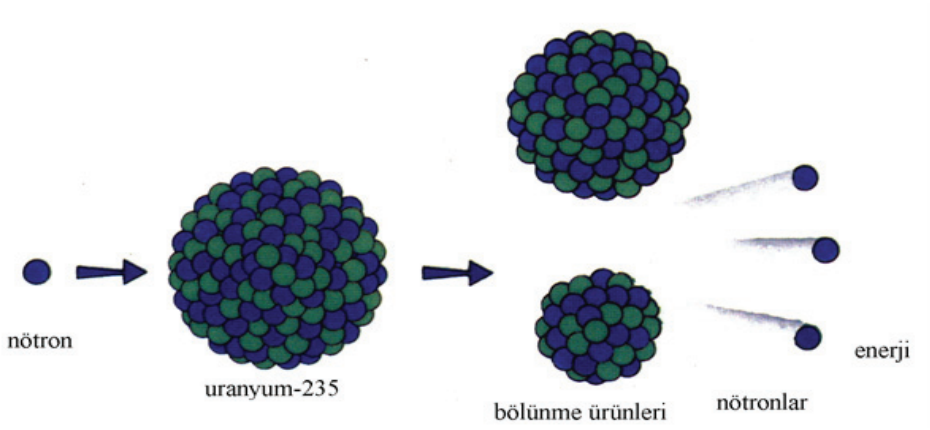
Şekil 3.16 Nükleer santralin çalışma sistemi ve elektrik elde edilişi

Doğadaki uranyum atomu çekirdeklerinin binde yedisi (Uranyum-235), bölünebilme yeteneğine sahiptir. Nükleer enerjinin yakıtı da bu tür malzemeden oluşur.

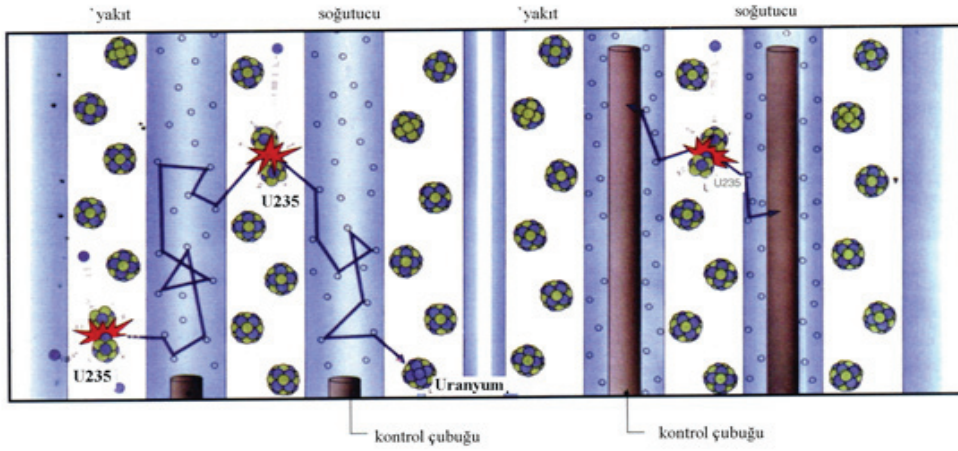
Bölünme sırasında açığa çıkan nötronlar yeni bölünmelere neden olur. Bu şekilde oluşan zincirleme reaksiyonlar sonucunda, kısa sürede ısı enerjisi ve radyasyon açığa çıkar. Ortamdaki bölünebilecek çekirdeklerin sayısı, bunların ortam içindeki dağılımı ve bölünmeden çıkan nötronların sayısı kontrol edilirse; enerjinin sürekli, kontrollü ve güvenli olarak açığa çıkması sağlanmış olur.







Şekil 3.18 Uranyum-235 çekirdeğinin nötron yakalaması ile oluşan çekirdek bölünmesi

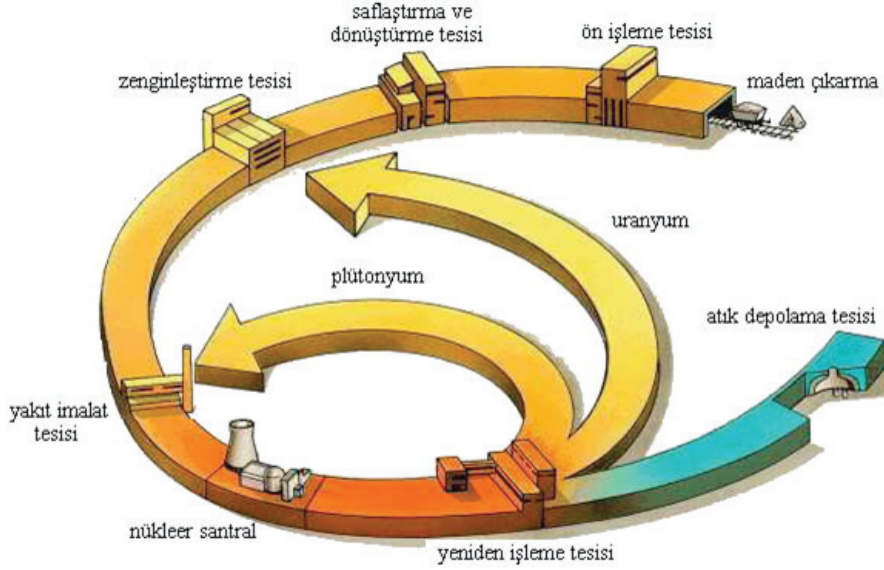


Şekil 3.19 Nötronların kontrol çubukları ile tutulması

Bu özellikler nedeniyle nükleer reaktörler; istenilen sürede, istenilen miktarda, güvenli olarak enerji üretebilirler.

Bu koşulların gerekleri daha başlangıçta, tasarım aşamasında yerine getirildiği için, nükleer reaktörler bir bomba gibi patlamazlar!

Nükleer santral yakıtı; geniş bir hazırlama, kullanım ve geri kazanım çevriminden geçer. Çok az bulunan uranyum madeni önce yoğunlaştırılır. Daha sonra 56°C'de süblimleşen (UF<sub>6</sub>) hekzaflorür kristalleri hâlinde saflaştırılır. Ancak U<sup>238</sup> (yüzde 99,3) ve U<sup>235</sup> (yüzde 0,7) izotoplarının karışımından oluşan doğal uranyumdaki U<sup>235</sup> oranının % 3'e çıkarılması gerekir. Bunu sağlamak için UF<sub>6</sub> gazı gözenekli setlerden geçirilerek U<sup>235</sup> izotopu U<sup>238</sup> e ayrıştırılır ve her bir setten geçirilirken U<sup>235</sup> izotopu binde 2 oranında yoğunlaştırılır.



Şekil 3.20 Nükleer enerji dönüşümü

Zenginleştirilmiş olan uranyum, reaktörlerin kalbindeki yakıt bileşenine katılır. Yakıt reaktörün kalbinde 3 ile 6 yıl arasında enerjisini tamamen tüketir. Böylece zayıflayan, ama harcanmamış bileşimler düzenli olarak reaktörden çıkartılıp soğutulur. Geri kazanım tesislerine gönderilerek burada asal maddeleri olan uranyum ve plütonyum ile radyoaktif parçalanma ürünleri birbirinden ayrıştırılır. Plütonyum ve arıtılmış uranyum yeniden zenginleştirildikten sonra tekrar nükleer reaktördeki yakıt bileşenlerine katılır. Geri kalan artık maddeler ise radyoaktifliklerinin azalması için dinlenmeye bırakılır. Daha sonra, az ve orta radyoaktif atıklar, beton ve asfaltla sarıldıktan sonra özel bölgelere yerleştirilir. Yüksek etkinlikli atıklar sıkıştırılıp yalıtıldıktan sonra çok derinlere gömülür.

Nükleer yakıtın fisyonu (kontrol edilebilen zincirleme tepkime) sonucunda serbest kalan nötronlar yavaşlatıcıdan ( grafit, ağır su ve hafif su ) geçirilerek kinetik enerjilerinin ısı enerjisine dönüşmesi sağlanır.

#### 3.4.4. Bölümlerinin görevleri

Bir nükleer santral, prensip olarak şu bölümlerden oluşur:

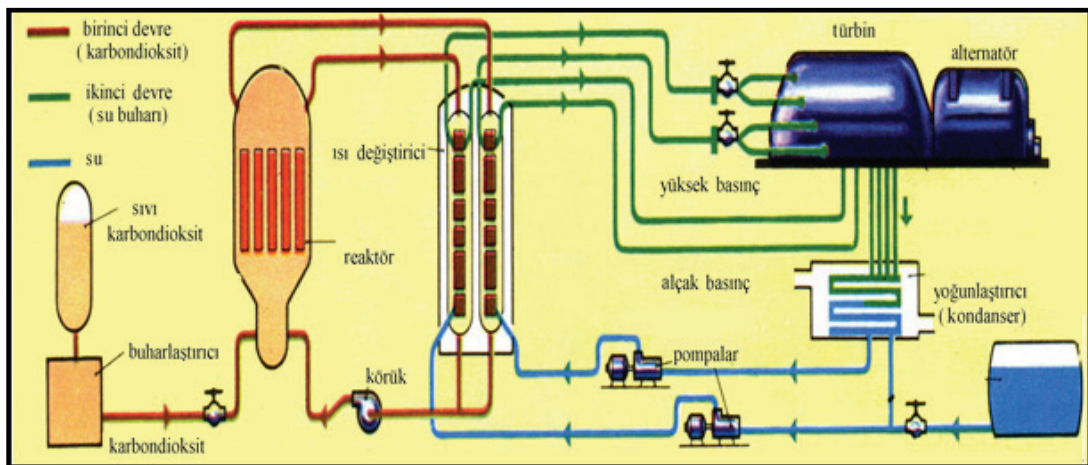
1. Reaktör
2. Buhar üretici
3. Eşanjör (ısı değiştirici)
4. Kondanser

## 6. Alternatör

Bunların dışında yardımcı üniteler de vardır. Örnek olarak, buharlaştırıcı, kö-rükler, pompalar, valfler vb. verilebilir.

Bir nükleer santralin çalışma prensibi şöyledir:

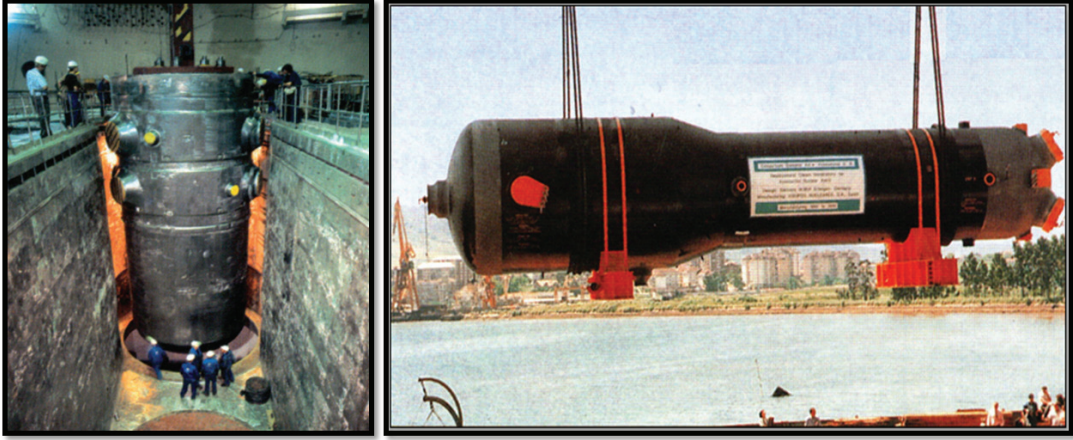
Reaktörden elde edilen ısı, ısı iletici (basınçlı karbondioksit) vasıtasıyla iletile-  
rek, bir ısı değıştirciye (eşanjör) gönderilir. Burada ısıtılan su buhar hâline dönüştü-  
rülerek türbine gönderilir.



**Şekil 3.21 Nükleer santral blok şeması**

Basınçlı su kullanılan reaktörlerde yakıt olarak zenginleştirilmiş uranyum, ya-vaşlatıcı ve ısı taşıyıcı sıvı olarak da ağır su kullanılır. Yakıt, reaktörün kalbine dikey çubuklar hâlinde yerleştirilir. Genellikle demet hâline getirilen 280 uranyum çubuğu, zirkonyumdan yapılmış su geçirmez yuvaların içinde bulunur. 900 MW'lık santrallerde 157, 1300 MW'lık santrallerde ise 198 yakıt çubuğu demeti vardır. Çubuklar reaktörün kalbindeki su dolu bir kabın içine yerleştirilmiş durumdadır. Kabın içindeki suyun 326°C'lik çalışma sıcaklığında kaynamasını engellemek için 155 barlık basınç altında tutulur.

Su moleküllerindeki hidrojen, nötronları yavaşlatır. Kabin üstüne bağlanmış olan bir çok kıvrım ana devreyi oluşturur. Basınçlı su reaktör kabına üstteki ana devreden 286°C'de girer ve kaptan 326°C'de çıkar. Çıkış devresinin boruları bir ısı değiştiricisinin (eşanjör) içindeki sudan geçer. Isı değiştiricisindeki su ısınarak 60-80 bar arasında buhara dönüşür.



Resim 3.13: Bir reaktörün gemiden indirilişı

Bu buhar kurutuculardan (kızdırıcılardan) geçirildikten sonra bir grup turbo alternatör türbininde genişletirilir. Buhar daha sonra bir kondanserde soğutulur ve buhar üreticine gönderilir. Kondanser, akarsudan veya denizden alınan soğuk suyla soğutulur ve gerekirse bu suda soğutma kulelerinde ayrıca soğutulur. Nükleer santrallerin soğutulmasında çok miktarda suya ihtiyaç olduğundan debisi yüksek akarsuların veya denizlerin kenarına kurulmasında fayda vardır.



## DEĞERLENDİRME SORULARI

*Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.*

1. Aşağıdakilerden hangisi termik santrallerin yakıtın ve mekanik enerji üreten makinenin cinsine göre çeşitlerinden değildir?
  - a. Su türbinli santraller
  - b. Buhar türbinli santraller
  - c. Dizel santraller
  - d. Nükleer santraller
2. Aşağıdakilerden hangisi gaz türbinli termik santrali oluşturan sistemlerden değildir?
  - a. Hava sistemi
  - b. Yakıt sistemi
  - c. Işık sistemi
  - d. Kontrol yağı sistemi
3. Aşağıdakilerden hangisi dizel santralin bölümlerinden değildir?
  - a. Dizel motor
  - b. Alternatör ve uyartım dinamosu
  - c. Nükleer yakıt sistemi
  - d. Soğutma sistemi
4. Aşağıdakilerden hangisi bir nükleer santrali oluşturan bölümlerden değildir?
  - a. Reaktör
  - b. Kondanser
  - c. Türbin
  - d. Cebri boru
5. Aşağıdakilerden hangisi bir nükleer santral yakıtlarından değildir?
  - a. Uranyum
  - b. Plütonyum
  - c. Toryum
  - d. Bor