ENERJİ DÖNÜŞÜM PRENSİPLERİ

2012-2013

Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILANCI

DERS İÇERİĞİ

1. GİRİŞ
- Enerji ve Enerjinin Dönüşüm Formları
- Birincil Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

2. TERMODİNAMİK ÇEVRİMLER
- Temel Kavramlar
- Gaz Çevrimleri
- Buhar Çevrimleri, Bileşik Güç Çevrimleri

3. NÜKLEER ENERJİ

4. HİDROELEKTRİK ENERJİ

5. GÜNEŞ ENERJİSİ
- Isıl Uygulamalar
- Elektrik Üretim Uygulamaları

6. RÜZGAR ENERJİSİ

7. JEOTERMAL ENERJİ
- Doğrudan Kullanım Uygulamaları
- Elektrik Üretim Uygulamaları

8. ENERJİ DEPOLAMA

KAYNAKLAR

1. Yunus A. Çengel, Michael Boles, «*Termodinamik: Mühendislik Yaklaşımıyla*», Güven Bilimsel Yayınları, 2008.
2. Mustafa Acaroğlu, «*Alternatif Enerji Kaynakları*», Nobel Yayın Dağıtım / Teknik Bilimler Dizisi, 2007.
3. M.M. El-Wakil, «*Powerplant Technology*», McGraw-Hill, 2002.
4. Archie W. Culp, «*Principles of Energy Conversion*», McGraw-Hill, 1991.
5. D. Yogi Goswami ve Frank Kreith, «*Energy conversion*», CRC Press, 2008.
6. B. Sorensen, «*Renewable Energy: Environmental Impacts, Economics & Planning*», Academic Press, 2010.
7. H. Hüseyin Öztürk, «*Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*», Birsen Yayınevi, 2008.
8. Ronald DiPippo, «*Geothermal Power Plants: Principles, Applications and Case Studies*», Elsevier Science, 2005.
9. Mukund R. Patel, «*Wind and Solar Power Systems*», CRC Press, 1999.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

- **Dönem Sonu Başarı Notu:**

  %35 Vize + %15 Ödevler + %50 Final

- **Derse %70 devam zorunludur.**

- **Dersle ilgili sorularınızı Çarşamba ve Perşembe günleri, 11:00-14:00 saatleri arasında sorabilirsiniz.**

HEDEFLER

- Enerji kaynakları ve bu kaynakların kullanımı hakkında bilgi sahibi olmak,
- Enerji kullanımının dünyadaki ve ülkemizdeki durumunu görmek,
- Termodinamik çevrimleri anlamak ve verim hesaplamalarını yapabilmek,
- Fosil türevli enerji kaynaklarının kullanımını incelemek,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının farklı kullanım uygulamalarını görmek,
- Enerji depolanmasının doğasını anlamak ve gerekliliğini kavramak,
- Enerji kaynaklarının kullanımının çevresel etkilerini incelemek,
- Enerji teknolojilerindeki güncel gelişmeleri takip edebilmek.

1. GİRİŞ

1. Giriş

- Erke olarak da adlandırılan enerji; bir sistemin, kendisi dışında etkinlik üretme yeteneği, değişikliklere neden olabilme yeteneği veya bir nesne ya da sistemde bulunan iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin varlığını cisimler üzerine olan etkileri ile algılayabiliriz.
- Başka bir deyişle, enerji bir sistemin iş ve ısı verme yeteneğidir.
- Mühendislikte termodinamiğe göre, ısı ve iş alan bir sistemin enerjisi artmakta veya enerjisi yüksek olan bir sistemden ısı ve iş alınabilmektedir.
- Birimi iş birimiyle aynıdır (N.m=J).

1. Giriş

İnsanların, dünyada varolabilmeleri, doğayla başa çıkabilmeleri ve yaşamlarını kolaylaştırabilmeleri için enerjiye ihtiyaçları vardır. Enerji, insanlar tarafından, beş ana gereksinimi karşılamak için kullanılmıştır:

- Isıtma (yemek pişirme dahil)
- Soğutma
- Aydınlatma (elektrik)
- Hareket (ulaştırma, taşımacılık vs.)
- Üretim (gıda, mal, farklı ürünler vs.)

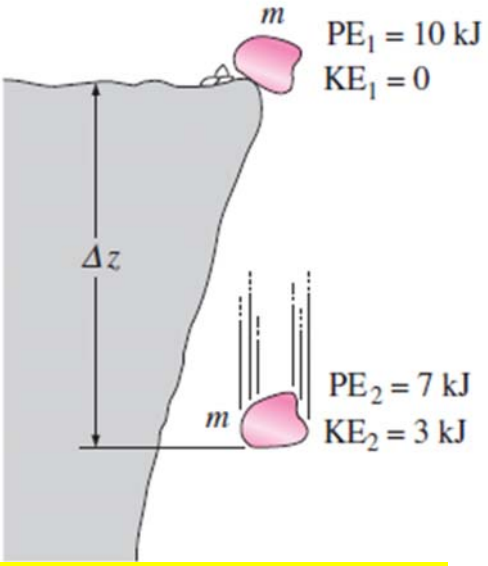
1. Giriş

Termodinamiğin 1. Kanunu'na göre "*enerji yoktan var edilemez ve vardan yok edilemez; sadece form değiştirir*". Enerji, bir formdan başka bir forma dönüşebilir, ama enerjinin toplam miktarı, sabit kalır.

Enerjinin formları (biçimleri):

- Isıl enerji
- Kinetik enerji
- Potansiyel enerji
- Kimyasal Enerji
- Elektrik enerjisi
- Manyetik enerji
- Mekanik enerji
- Nükleer enerji

.....



Enerji var veya yok edilemez
sadece biçim değiştirebilir (1.yasa)

1. Giriş

Birincil enerji kaynakları ikiye ayrılabilir:

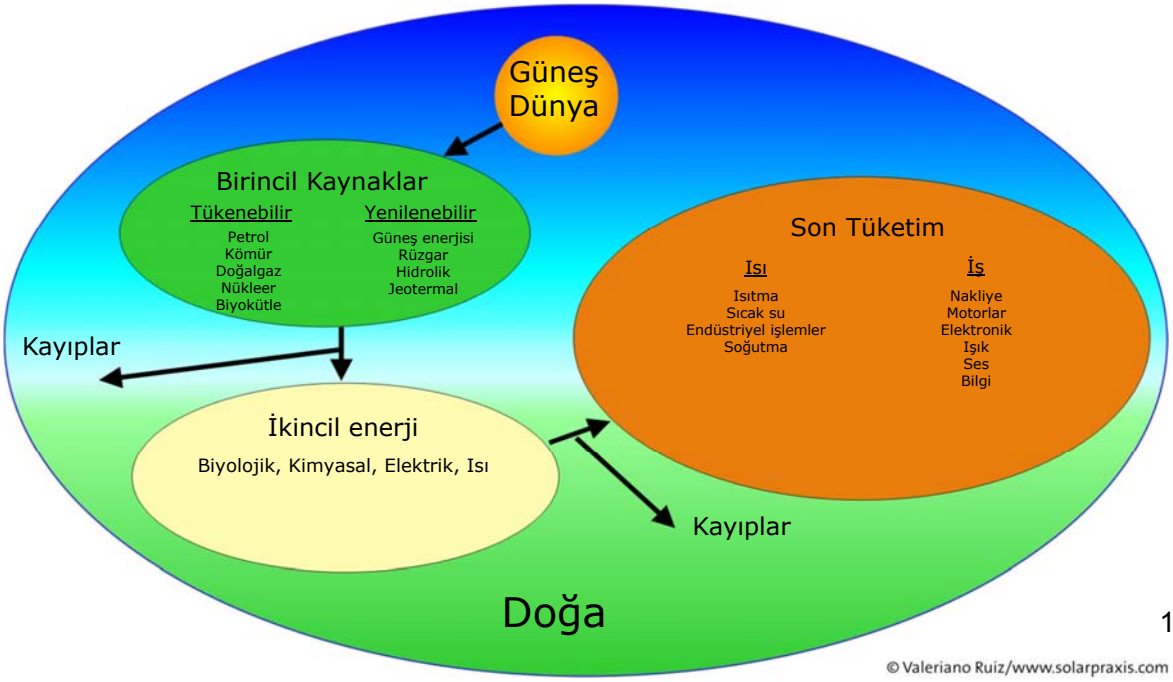
- Tükenebilir enerji kaynakları
  - Petrol
  - Kömür
  - Doğalgaz
  - Nükleer
  - Biyokütle

  (Petrol, Kömür, Doğalgaz: Fosil enerji kaynakları)

- Yenilenebilir enerji kaynakları
  - Güneş
  - Rüzgar
  - Hidrolik
  - Jeotermal
  - Dalga – Gel/Git
  - Okyanus

1. Giriş

Birincil enerji enerji dönüşüm yöntemleriyle daha kullanılmaya elverişli enerji biçimlerine çevrilir: elektrik enerjisi, akaryakıt ya da hidrojen benzeri sentetik yakıtlar gibi. Enerji terminolojisinde tüm bunlar ikincil enerji olarak adlandırılır. İkincil enerji bir diğer enerji biçiminden dönüştürülmüş enerjinin adıdır.



1. Giriş

Enerji Dönüşüm Verimi

- Verim, enerji dönüşümünün veya hal değişim geçişinin nasıl iyi bir şekilde başarılacağını gösterir.

$$\text{Etkinlik} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcaması gereken değer}}$$

Su ısıtıcısının verimi: Geleneksel ve yüksek verimli bazı elektrikli ve doğal gazlı su ısıtıcılarının verimleri

Tür	Verim
Gaz, geleneksel	55%
Gaz, yüksek verimli	62%
Elektrik, geleneksel	90%
Elektrik, yüksek verimli	94%

$$\eta_{\text{yanma}} = \frac{Q}{\text{HV}} = \frac{\text{Yanma boyunca açığa çıkan ısı miktarı}}{\text{Yanan yakıtın ısıtma değeri}}$$

1. Giriş

Güç santrallerinde toplam verim

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{yanma}} \quad \eta_{\text{ısıl}} \quad \eta_{\text{jeneratör}} = \frac{\dot{W}_{\text{net, e}}}{\text{HHV} \times \dot{m}_{\text{net}}}$$

Mekanik verim

$$\eta_{\text{mek}} = \frac{\text{Alınan mekanik enerji}}{\text{Verilen mekanik enerji}} = \frac{E_{\text{mek, ç}}}{E_{\text{mek, g}}} = 1 - \frac{E_{\text{mek, kayıp}}}{E_{\text{mek, g}}}$$

Verilen veya alınan mekanik güç ile akışkanın mekanik enerjisi arasındaki dönüşüm işleminin mükemmellik derecesi pompa verimi veya türbin verimi olarak tanımlanır.

$$\eta_{\text{pompa}} = \frac{\text{Akışkanın mekanik enerjisindeki artış}}{\text{Verilen mekanik enerji}} = \frac{\Delta\dot{E}_{\text{mek, akışkan}}}{\dot{W}_{\text{mil, g}}} = \frac{\dot{W}_{\text{pompa, f}}}{\dot{W}_{\text{pompa}}}$$

$$\Delta\dot{E}_{\text{mek, akışkan}} = \dot{E}_{\text{mek, ç}} - \dot{E}_{\text{mek, g}}$$

$$\eta_{\text{türbin}} = \frac{\text{Alınan mekanik enerji}}{\text{Akışkanın mekanik enerjisindeki azaltma}} = \frac{\dot{W}_{\text{mil, ç}}}{|\Delta\dot{E}_{\text{mek,akış.}}|} = \frac{\dot{W}_{\text{türbin}}}{\dot{W}_{\text{türbin, e}}}$$

$$|\Delta\dot{E}_{\text{mek, akışkan}}| = \dot{E}_{\text{mek, g}} - \dot{E}_{\text{mek, ç}}$$

1. Giriş

Motor: $$\eta_{\text{motor}} = \frac{\text{Alınan mekanik güç}}{\text{Verilen elektriksel güç}} = \frac{\dot{W}_{\text{mil, ç}}}{\dot{W}_{\text{elek, g}}}$$

Motor verimi

Jeneratör: $$\eta_{\text{jeneratör}} = \frac{\text{Alınan elektriksel güç}}{\text{Verilen mekanik güç}} = \frac{\dot{W}_{\text{elek, ç}}}{\dot{W}_{\text{mil, g}}}$$

Jeneratör verimi

$$\eta_{\text{pompa-motor}} = \eta_{\text{pompa}}\eta_{\text{motor}} = \frac{\dot{W}_{\text{pompa, f}}}{\dot{W}_{\text{elek, g}}} = \frac{\Delta\dot{E}_{\text{mek, akışkan}}}{\dot{W}_{\text{elek, g}}}$$

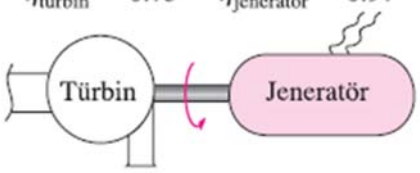
Pompa-motor verimi

$$\eta_{\text{türbin-jen}} = \eta_{\text{türbin}}\eta_{\text{jeneratör}} = \frac{\dot{W}_{\text{elek, ç}}}{\dot{W}_{\text{türbin, ç}}} = \frac{\dot{W}_{\text{elek, ç}}}{\Delta\dot{E}_{\text{mek, akışkan}}}$$

Türbin-jeneratör verimi

Türbin-jeneratör birleşiminin toplam verimi türbin verimi ile jeneratör veriminin çarpımıdır ve elde edilen elektrik enerjisinin akışkanın mekanik enerjisine oranını gösterir.

$\eta_{\text{türbin}} = 0.75$ $\eta_{\text{jenerator}} = 0.97$



$$\eta_{\text{türbin-jen}} = \eta_{\text{türbin}}\,\eta_{\text{jeneratör}} = 0.75 \times 0.97 = 0.73$$

1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

Petrol

•Petrol, jeolojik devirlerde oluşmuş bir fosil yakıttır. Binlerce (belki de milyonlarca) yıl süren işlevler sonucunda oluşan petrol oluştuktan sonra ya da oluşum esnasında bulunduğu yeri terkederek göçer, ancak göçemeyeceği ortamlarda sıkışıp kalabilir.

•Petrolün oluşumunu araştırmak için kökenini anlamak gereklidir.

•Petrolün kökeni için iki teori (organik ve inorganik) öne sürülmüştür

1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

•DENİZEL BİTKİLER

Denizel bitkiler ile denizel çökeller arasında kökensel bir ilişki kurulabilir. Bunların en önemlileri yosun ve diyatomlardır.

• HAYVANSAL KÖKEN

Balık ve diğer hayvanların distilasyonu sonucu petrol ile aynı kimyasal özellikler bulunmuştur. Bazı araştırıcılar petrolün hem hayvansal hem de bitkisel kökenli (Biyomas kökenli) olduğunu kabul etmektedirler.

1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

- Varil, 159 litreye eşdeğerdir. 1 metreküp hacim 6.29 varile tekabül etmektedir.

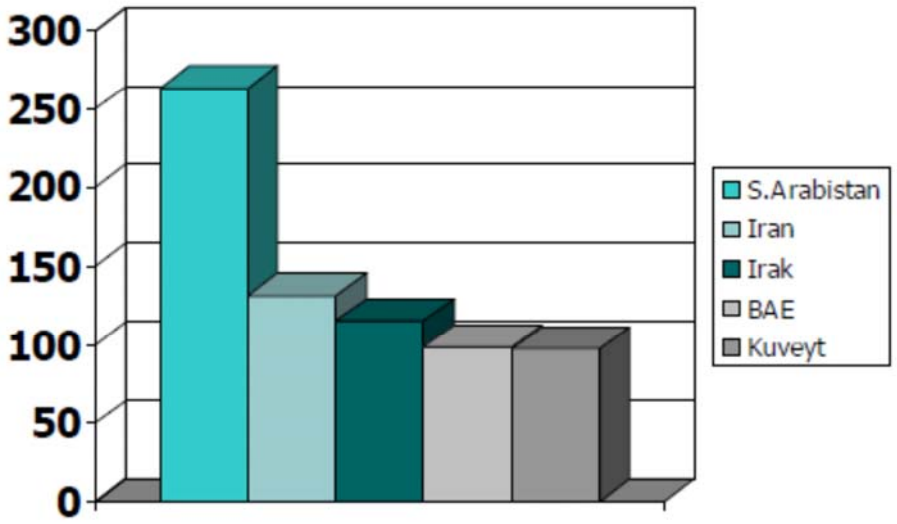
- Avrupa'da daha çok ton kullanılır. Ton ile varil arasındaki dönüşümde yoğunluk dikkate alınır. Örneğin Venezuella petrolünün yoğunluğu 902 kg/m^3 iken Cezayir petrolünün yoğunluğu 806 kg/m^3 civarındadır. Genel olarak 1 ton 7.3 varil kabul edilmektedir.

Konvansiyonel olmayan petroller:

- Derin deniz ve kutup bölgesi kaynakları
- Ağır ve çok ağır petroller
- Asfaltik kumlar
- Bitümlü Şistler (Kerojenli tortu kayalar)

1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

Petrol Rezervinde ilk 5 ülke (Milyar varil olarak, OPEC 2004): Toplamın 2/3'ü



1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

Kömür

Kömür yapısı karışık bir fosil yakıttır. Havanın oksijeni ile doğrudan yanabilen, genellikle %55-90 karbon içeren, organik bitkisel kökenli olan, sert ve yandığı zaman özelliğine göre değişik miktar ve bileşimde kül bırakan maddeye kömür denilmektedir. En çok tanınanları taş kömürü ve linyit kömürüdür.

1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

Kaliteli, iyi bir kömür bazı özelliklere sahip olmalıdır. Bu yüzden kaliteli kömür;

- Siyah ve parlak,
- Isıl değeri yüksek,
- Nem, kül ve uçucu madde içeriği düşük olmalı,
- Taş ve tozu az ihtiva etmelidir.

1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

Kömürlerin sınıflandırılması ısıl değerlerine göre olmaktadır:

Taşkömürü

Antrasit: 8000 kcal/kg ve üzeri

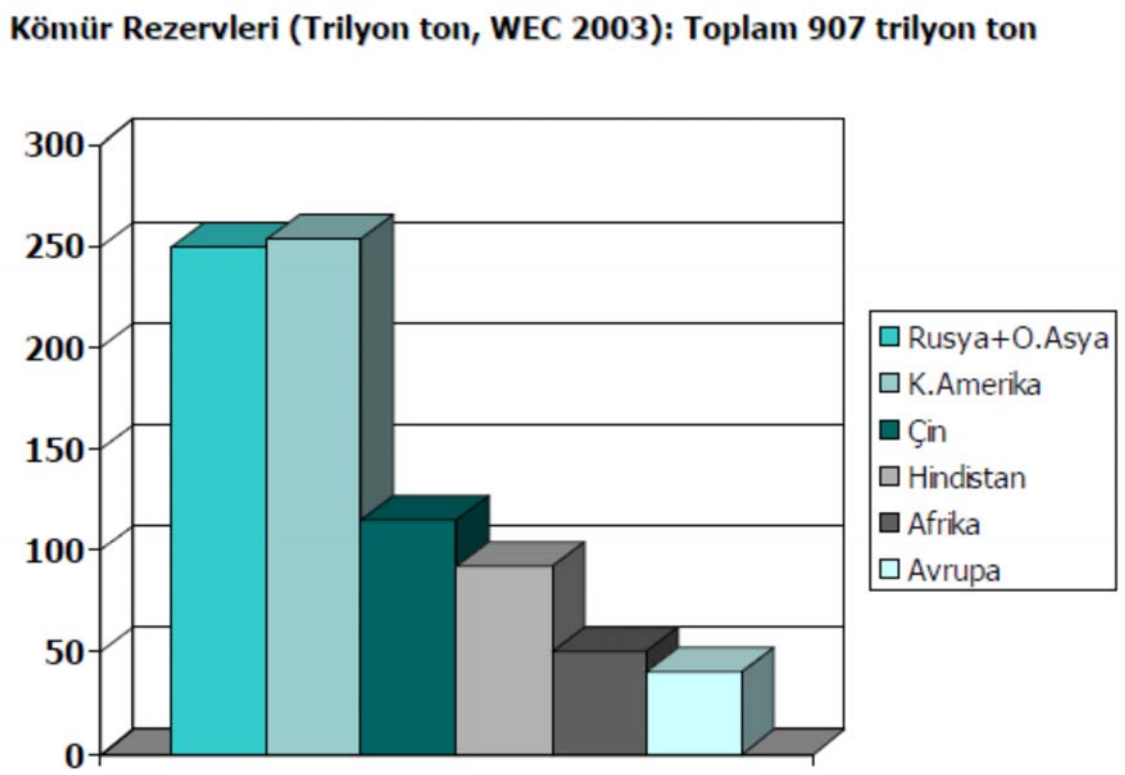
Bitümlü kömürler: 6000-8000 kcal/kg

Altbitümlü kömürler: 4500-6000 kcal/kg

Linyit: 1600-4500 kcal/kg

Yerkömürü: 1600 kcal/kg

1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları



1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

Doğal Gaz

•Doğal gaz metan, etan, propan gibi hafif moleküler ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşan renksiz, kokusuz ve havadan hafif bir gazdır.

•En önemli özelliği temiz bir yakıt olması ve çevreyi kirletmemesidir. Gaz halinde olması nedeniyle hava ile daha iyi bir karışım oluşturarak kolay yanar, tam yandığında mavi bir alev oluşturur.

•Gaz halinde olması nedeniyle daha hassas kontrol edilebilme imkanı bulunmaktadır. Ucuzluk sıralamasında yıllardır en ucuz yakıtlardan biridir.

1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

•Renksizdir,

•Kokusuzdur,

•Zehirsizdir,

•Havadan hafiftir.

•Kokusuz olması nedeniyle sızıntısı fark edilemeyeceğinden, özel olarak kokulandırılmıştır.

•Havadan hafif olması nedeniyle yükseldiğinden diğer yakıtlara göre bir avantaj teşkil etmektedir.

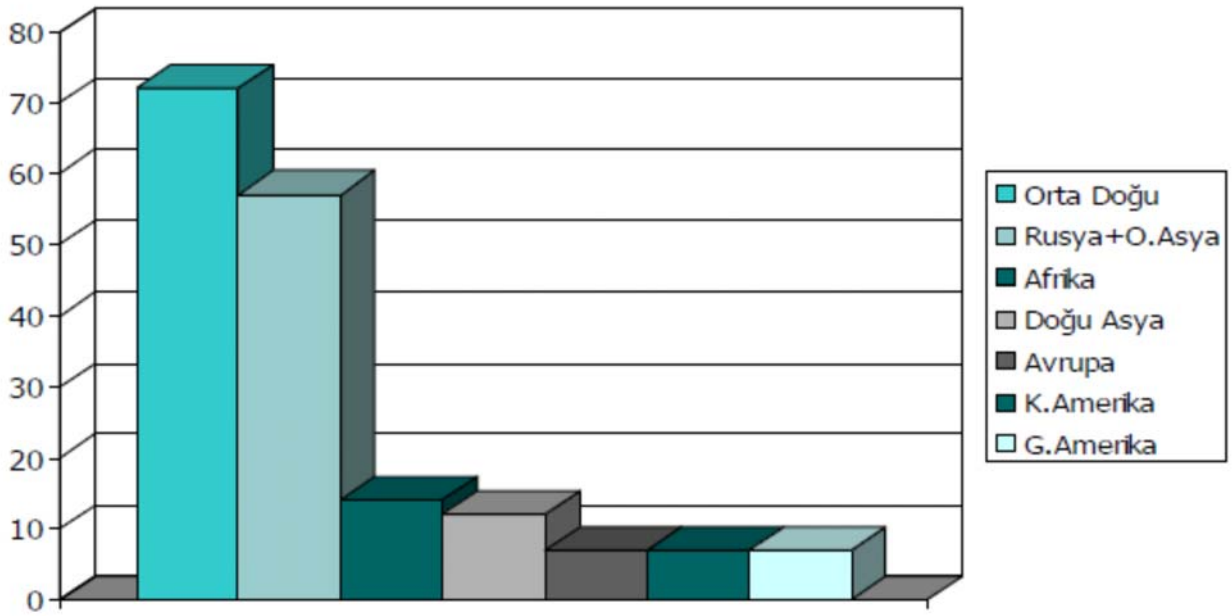
1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

Doğal gaz bir çok bakımdan çeşitlilik göstermektedir. Isıl değer farkları, kükürt oranları ve köken farkları bunlardan sayılabilir. Kökenlerine göre:

- Erimiş gaz veya tepe gazı şeklinde petrole bağlı gazlar (%30)
- Petrole bağlı olmayan gazlar (%70)

1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

D.Gaz Rezervinde Bölgeler (Trilyon m3, IEA 2004): Toplam – 180 tcm



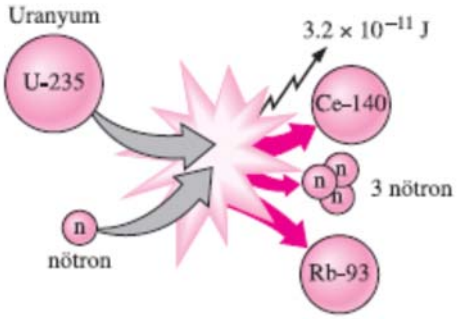
1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

Nükleer Enerji

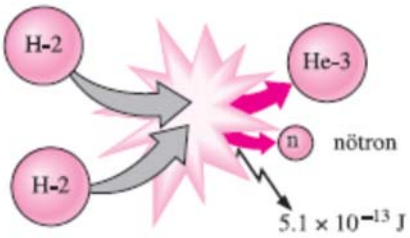
En çok bilinen fisyon reaksiyonudur. Bu şekilde nükleer güç santrallerinde (dünya genelinde bulunan 450 civarı santralle 350 GW elektrik üretimi gerçekleşmektedir) elektrik üretmek, denizaltıları çalıştırmak, hava taşımacılığında, nükleer silah üretiminde ve hatta uzay araçlarında kullanmak mümkündür. Fisyon, uranyum atomunun (U–235 izotop) diğer elementlere bölünmesidir. Bölünme ile elde edilen ısı, buhar türbini ve jeneratör ile elektrik üretiminde kullanılır.

İki küçük çekirdeğin füzyon ile daha büyük bir tanesi için birleşmesi sırasında nükleer enerji ortaya çıkar.

Kontrolsüz füzyon reaksiyonu ilk olarak 1950 yılının başlarında gerçekleştirilmiştir. Ancak o zamandan beri güçlü lazerler, etkili manyetik alanlar ve elektrik akımları ile füzyon reaksiyonlarının kontrol edilmesi başarısızlıkla sonuçlanmıştır.



(a) Uranyum fisyonu



(b) Hidrojen füzyonu

1. Giriş – Tükenebilir Enerji Kaynakları

Biyokütle

- Biyokütle kaynaklarını, karalardan denizlere kadar hemen her yerde bulmak olanaklıdır.
- Doğal olarak yetişen kaynakların yanı sıra, yalnız bu kaynağı elde etmeye yönelik çalışmalar da başlamıştır.
- Doğada var olan ormanlar, hayvan dışkıları ve bitki atıkları zaten uzun yıllardır, özellikle gelişmekte olan ülkelerin kullandığı temel biyokütle kaynakları arasındadır.

1. Giriş – Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada herhangi bir üretim sürecine (prosesine) ihtiyaç duymadan temin edilebilen, ***sürekli bir devinimle yenilenen ve kullanılmaya hazır olarak doğada var olan*** enerji kaynaklarıdır.

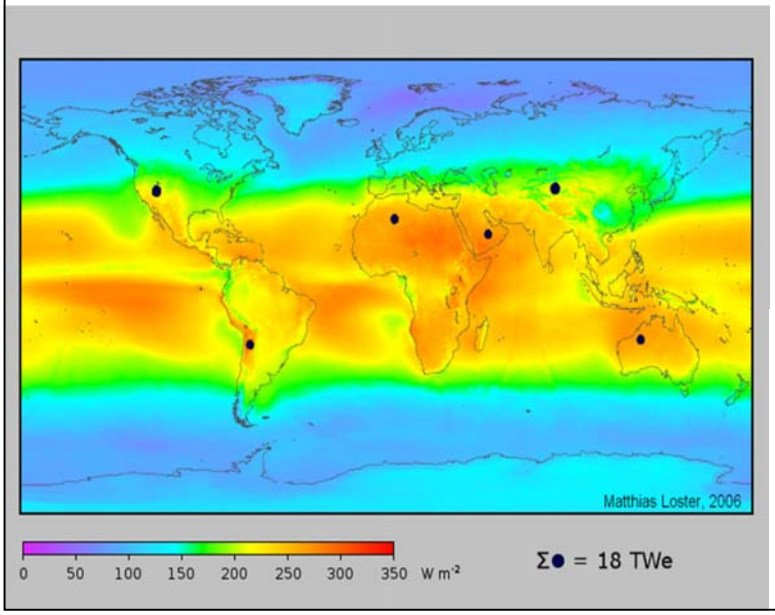
Enerji Dönüşümü

a) Güneş enerjisi

- Dünya'daki tüm enerjilerin temel kaynağı güneştir.
- Güneşin yaydığı ve dünyamıza da ulaşan enerji, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır.
- Güneşin ışınları ile Dünya'ya gönderdiği enerji, atmosferin üst sınırına dek hemen hemen zayıflamadan gelmekte ve buradaki değeri, güneş sabiti adını almaktadır. Yapılan ölçümlere göre, bu sabitin atmosfer sınırındaki ortalama değeri, gelen ışınlara dik bir yüzeyin metre karesine 1370 W'tır.

a) Güneş enerjisi

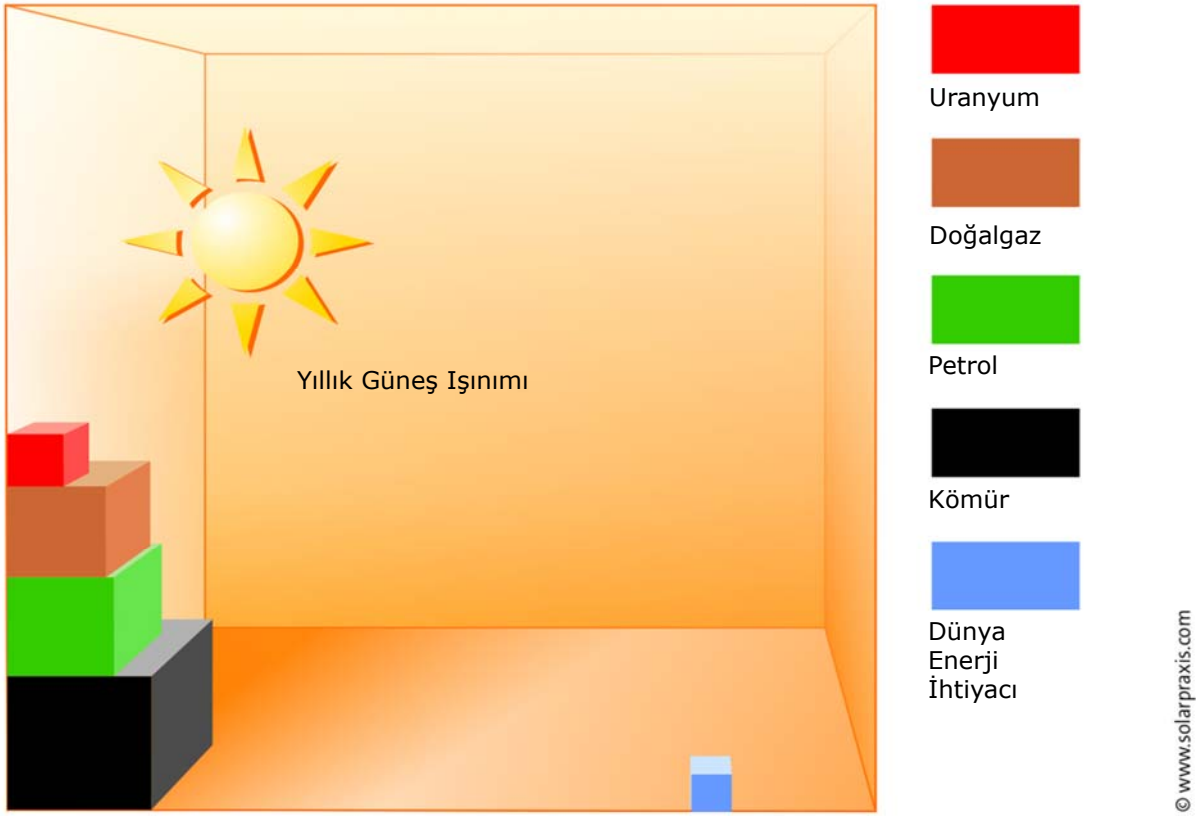
Dünya atmosferinin dışında güneş ışınımının şiddeti, aşağı yukarı sabit 1370 W/m² değerindedir, ancak yeryüzünde 0-1100 W/m^2 değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır.



"Dünyadaki altı bölgeye kurulacak %8 enerji verimine sahip güneş pili panelleri ile dünyanın bugünkü enerji ihtiyacından fazlası karşılanabilir."
Matthias Loster

Kaynak:
http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/

a) Güneş enerjisi



a) Güneş enerjisi

Güneş ışınım şiddetinin ölçülmesi:

- Difüz güneş ışınımı
- Direkt güneş ışınımı
- Yansıyan güneş ışınımı
- Toplam güneş ışınımı

Piranometre

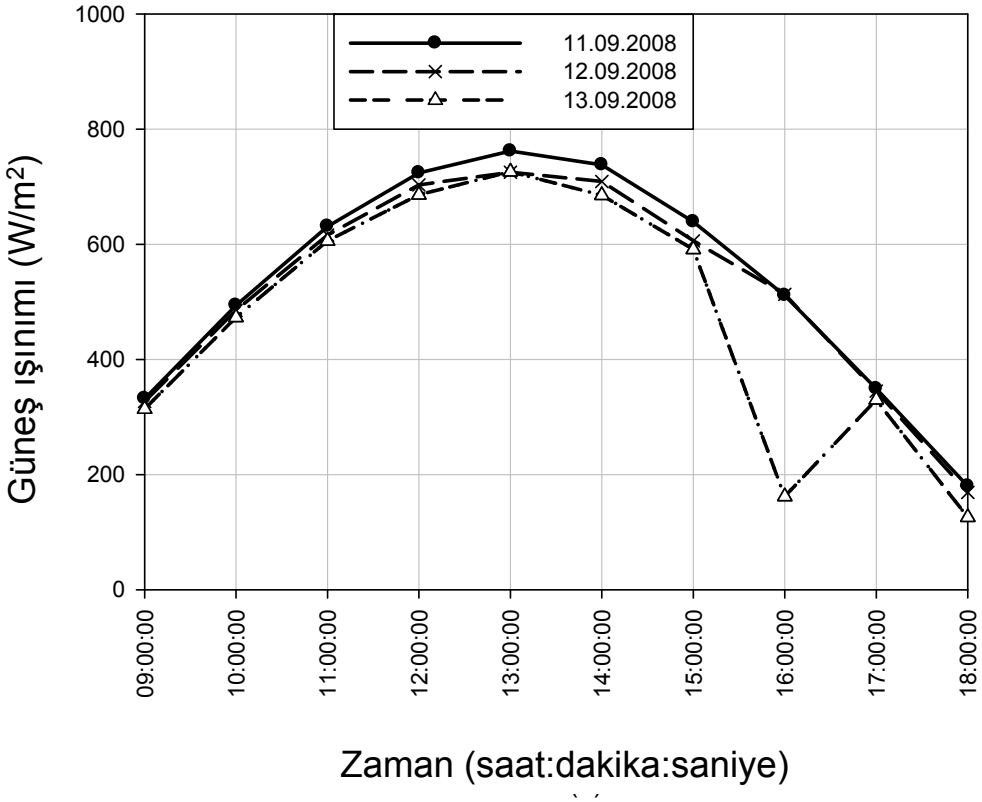
Gölge bantlı piranometre

Albedometre
(Toplam ve yansıyan ışınım)

Piraheliometre
(Direkt ışınım)

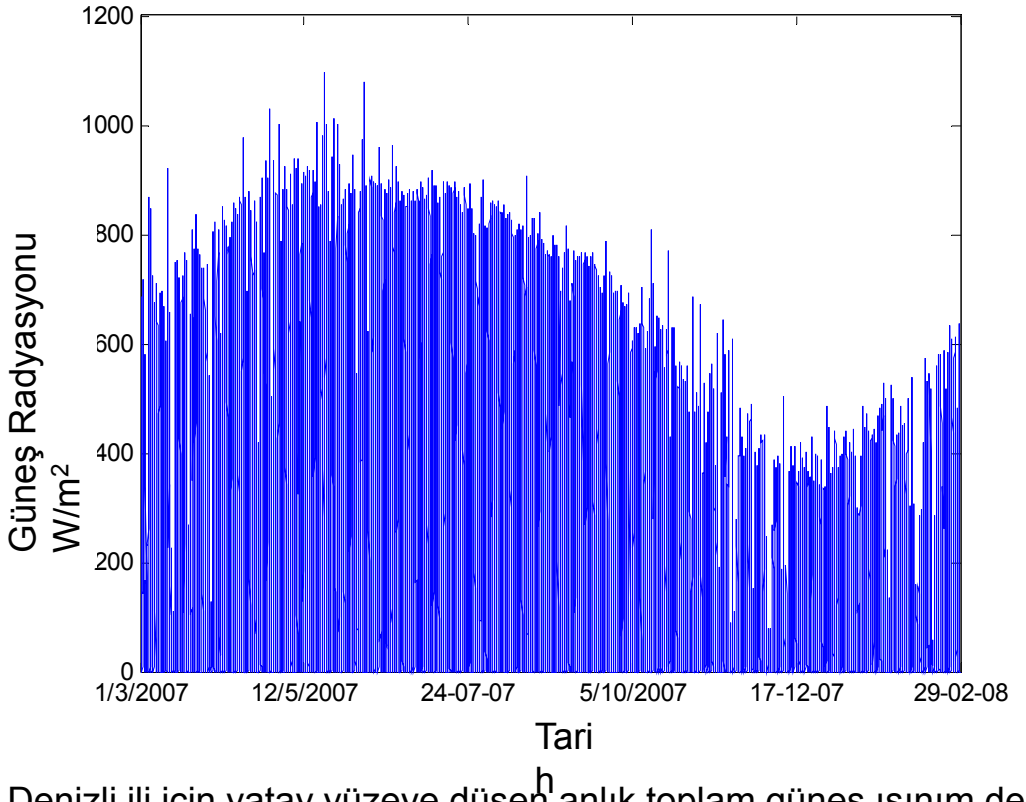
İzleyici üzeri piranometre
(Direkt ışınım)

a) Güneş enerjisi



Denizli ili için yatay yüzeye düşen üç günlükanlık toplam güneş ışınım değerleri

a) Güneş enerjisi

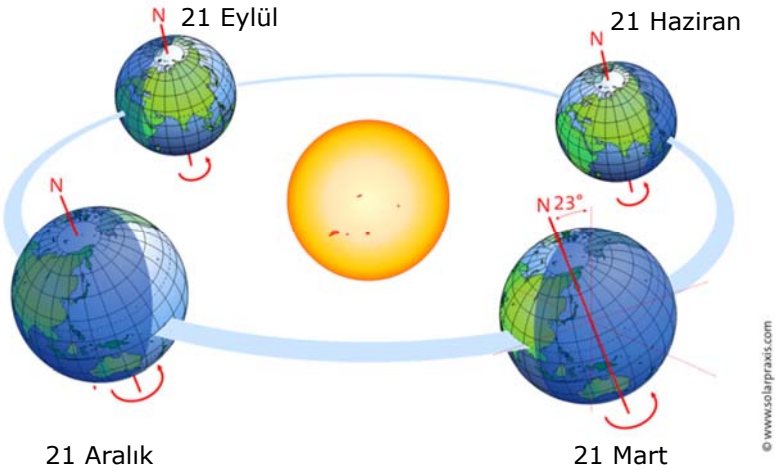


Denizli ili için yatay yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınım değerleri

a) Güneş enerjisi

Güneş-Dünya Geometrisi

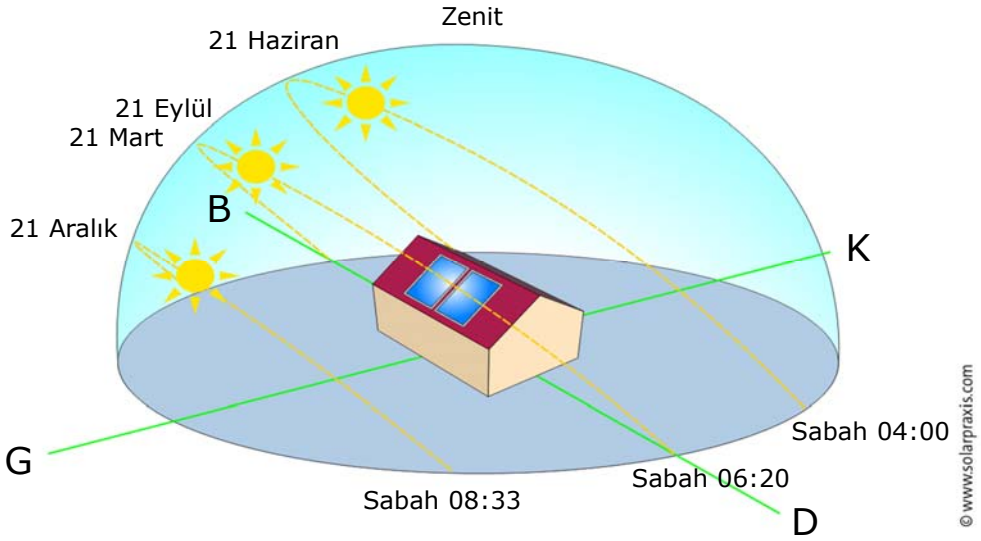
Dünyanın güneş çevresinde dönüşümünden kaynaklanan güneş enerjisi değişimi de, mevsimleri oluşturmaktadır. Dünyanın kendi çevresindeki dönüş ekseni, güneş çevresindeki dolanma yörüngesi düzlemiyle 23,50^{o}'lik bir açı yaptığından, yer yüzüne düşen güneş şiddeti yörünge boyunca değişmekte ve mevsimlerde böylece oluşmaktadır. Ayrıca, bu eğrilik, yıl boyunca gündüz gece uzunluğunda da değişimler ortaya çıkartmaktadır.



a) Güneş enerjisi

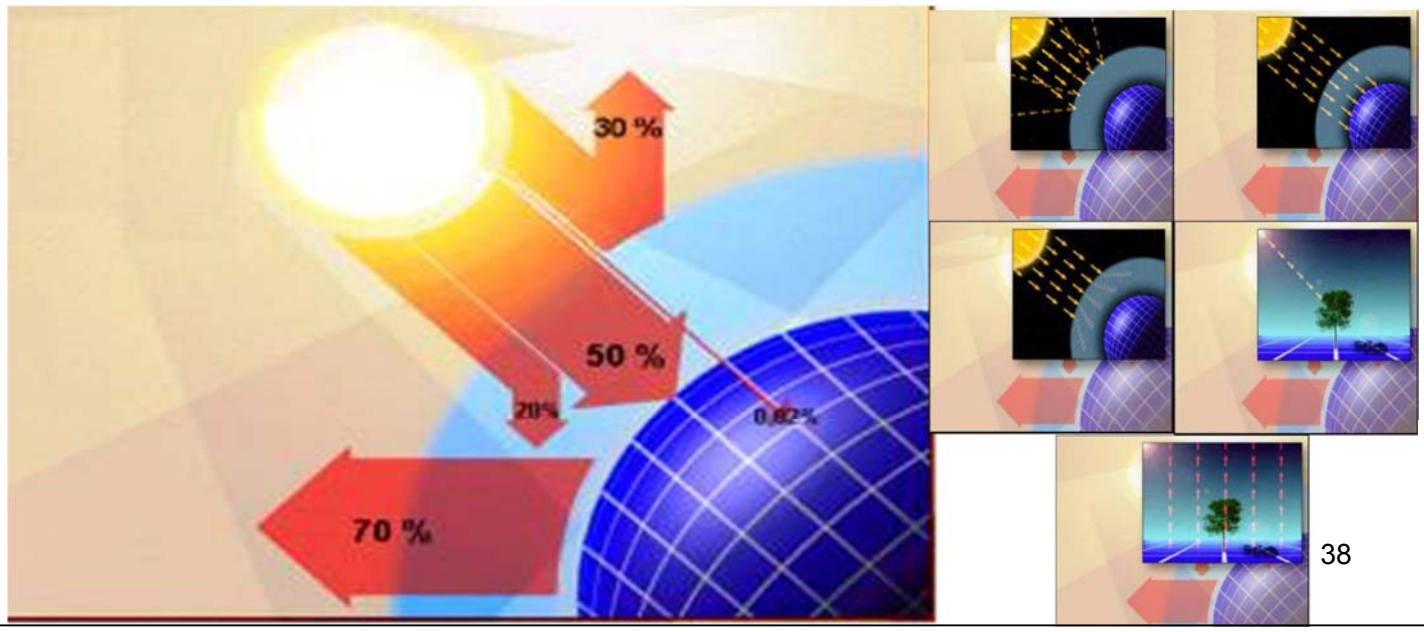
Günlük güneş hareketleri

Dünyanın kendi çevresinde dönüşünden kaynaklanan güneş enerjisi değişimi gece gündüzü oluşturmaktadır.



a) Güneş enerjisi

Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %30 yansıma ve saçılmalarla uzaya geri gider. Yaklaşık %20 hava kürede soğurulur. Geri kalan %50 yeryüzüne gelir. Yeryüzüne ulaşan bu güneş enerjisi doğal dönüşümleri sağlar.



a) Güneş enerjisi

Doğal dönüşümler:

- Toprak ve su ısınması
- Canlı yaşamı
- Fotosentez
- Fosil enerji kaynaklarının oluşumu
- Yağış ve buharlaşma (Hidrolik döngü)
- Rüzgar ve dalga oluşumu
- Doğal yangınlar
- Mevsimler ve günler.

a) Güneş enerjisi

Güneş enerjisi teknolojileri

- **Aktif Uygulamalar**
  - Isıl Uygulamalar
    - Sıcak su eldesi
    - Hacim ısıtma uygulamaları
    - Sera ısıtması
    - Ürün, kereste ve gıda kurutma
    - Damıtma ve içme suyu eldesi

    } **Düşük sıcaklık uygulamalar ı T < 120°C**

    - Pişirme
    - Buhar eldesi
    - Elektrik eldesi
    - Soğutma
    - Kimyasal eldesi

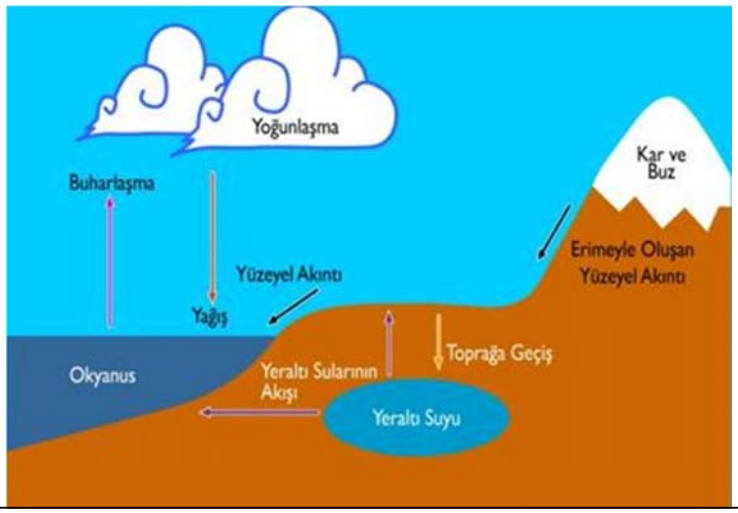
    } **Yüksek sıcaklık uygulamalar ı T > 120°C**

  - Doğrudan Elektrik Eldesi (Güneş pilleri)
- **Pasif Uygulamalar**
  - Güneş Mimarisi
  - Kurutma

b) Rüzgar enerjisi

Rüzgarın Oluşumu

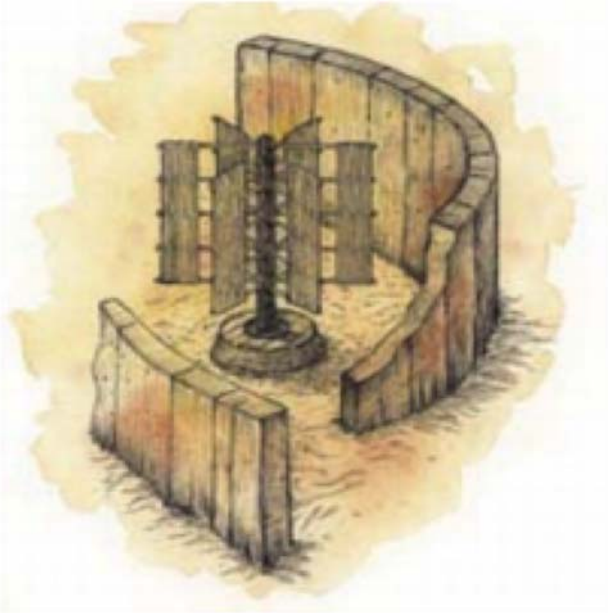
Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi özdeş ısıtmamasından oluşan sıcaklık ve buna bağlı basınç farkları rüzgarı oluşturur. Rüzgar enerjisinin kaynağı güneştir. Rüzgar, yeryüzünün eşit olmayan ısınması ve soğuması sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin etkisi ile oluşan hava hareketleridir. Rüzgar enerjisi bu yönüyle değişime uğramış güneş enerjisi olarak tanımlanabilir.



b) Rüzgar enerjisi

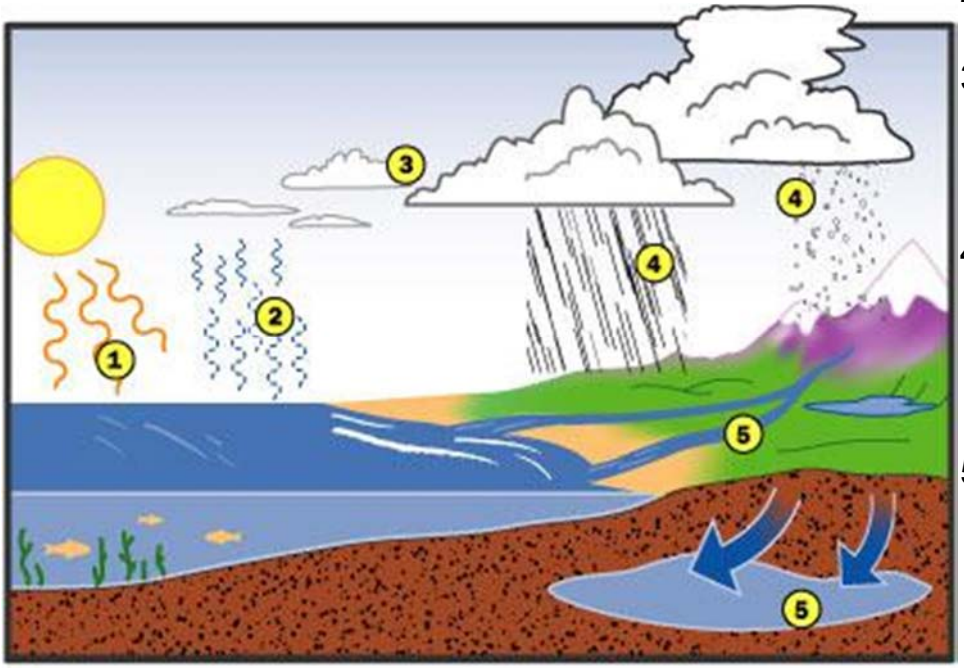
Günümüzde daha çok rüzgarla elektrik üretimi popüler olsa da rüzgar enerjisinin kullanıldığı başka alanlarda bulunmaktadır:

- Şarj sistemleri
- Taşımacılık
- Su pompalama
- Tahıl öğütme
- Soğutma



M.S. 7. yüzyılda Perslerin kullandığı yel değirmenleri

c) Hidrolik enerji



1. Güneş denizleri ısıtır
2. Su buharlaşarak havaya yükselir
3. Buharlaşan su yoğuşur ve yağmur bulutlarını oluşturur ve denizlerden uzaklara taşınır
4. Eğer yeterli derecede su yoğuşursa su tanacikleri ağırlaşır ve yağmur ve kar olarak yeryüzeyine düşer
5. Yağmur sularının bir kısmı yer altı sularını oluşturur. Diğer bir kısmı nehirlere ve oradan da tekrar denizlere taşınır.

c) Hidrolik enerji

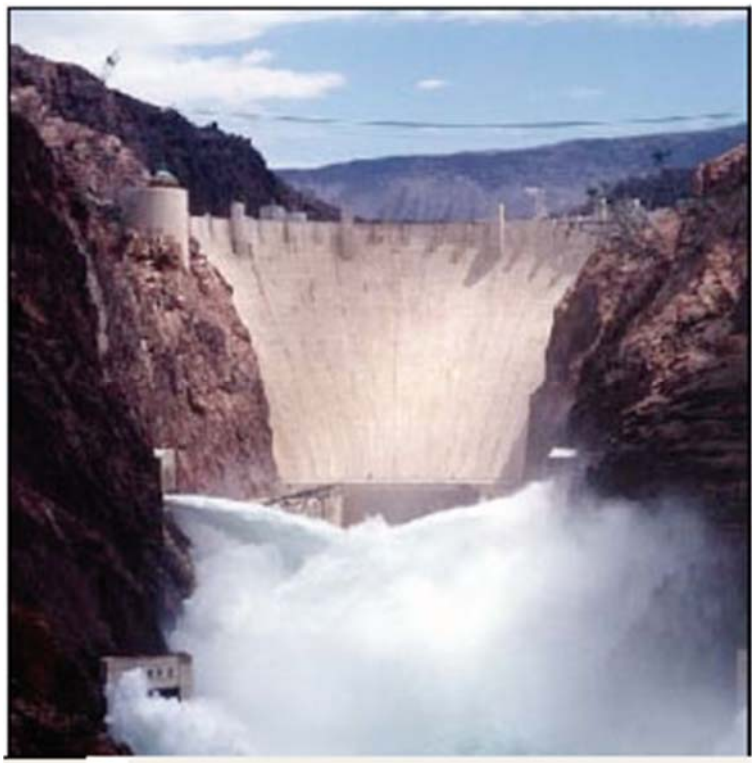
Hidrolik enerji akışkanların sahip olduğu enerjidir. Hidrolik enerji, kinetik, potansiyel ve basınç enerjisi şeklinde bulunabilir.

Su kuvvet makineleri iki ana grupta sınıflandırılmaktadır;

1. Su çarkları
   - Üstten vuruşlu su çarkları
   - Yandan vuruşlu su çarkları
   - Alttan vuruşlu su çarkları
2. Su türbinleri

<u>Su Çarkları:</u> Bunlar, küçük güçlü su kuvvet makineleridir. Suyun çarka vuruş şekline göre; üstten, yandan ve alttan vuruşlu su çarkları olmak üzere üç ayrı tipi vardır.

c) Hidrolik enerji



Hidroelektrik santral

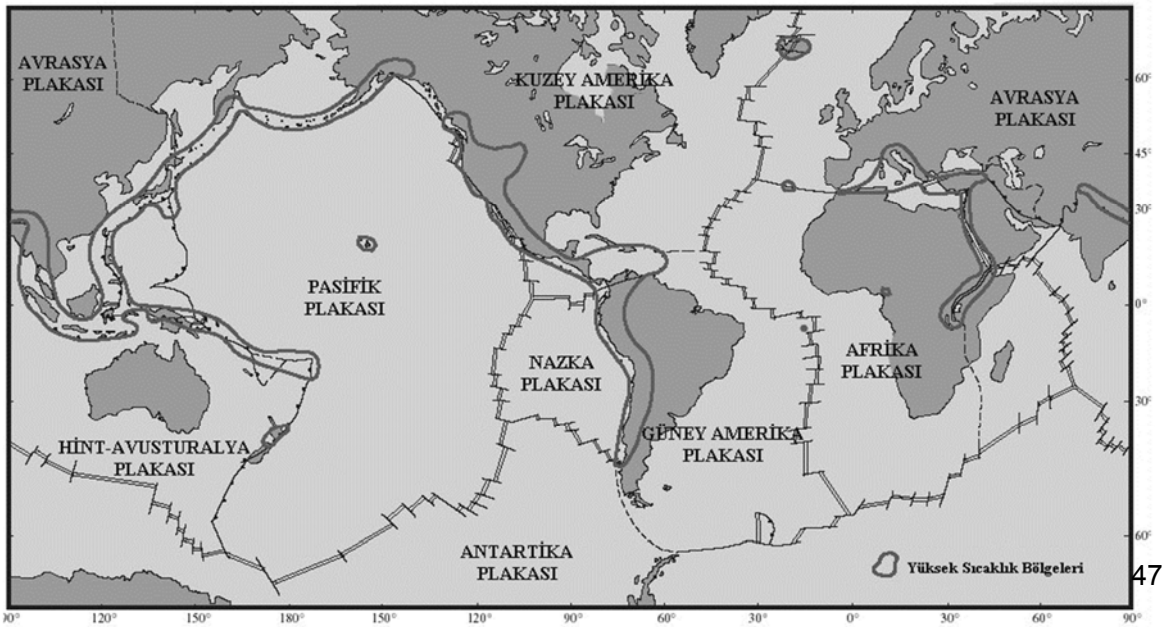
d) Jeotermal enerji

- “Jeotermal” kelimesi, Yunanca kökenli olan yer anlamına gelen “gê” ve ısı anlamına gelen “thérm” kelimelerinden türemiştir ve yerkürenin içinde ısı olarak bulunan enerji olarak tanımlanmaktadır.

- Bu ısının kaynağı yerkürenin yapısı ve bu yapıdaki ısı transferi mekanizmasıdır.

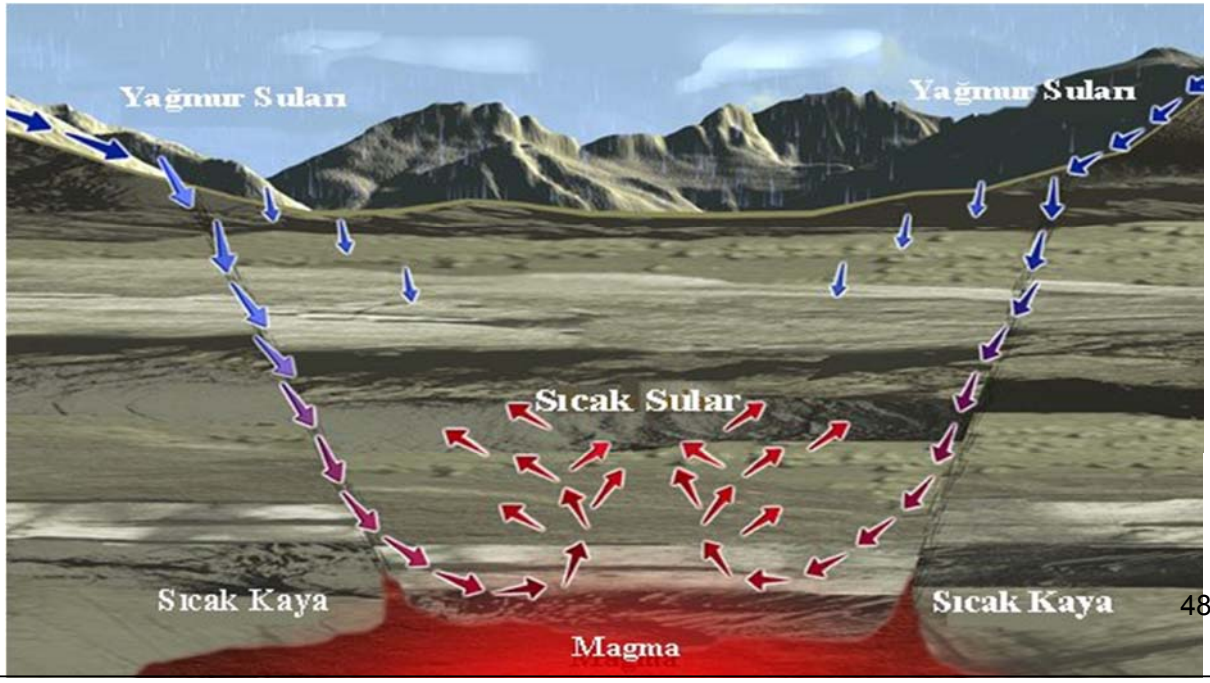
d) Jeotermal enerji

➢ Plaka sınırları ile jeotermal kaynaklar arasında bir ilişki mevcuttur. Jeotermal kaynaklar yerkürenin kabuk kısmında bulunur ve çevresindeki alanlardan yüksek olan ısı akısı, belli bir derinlikteki rezervuar içindeki suyu ısıtır.



d) Jeotermal enerji

➢Termal sular veya buhar, aslında besleme bölgesinden içeriye giren, derinlere doğru ilerleyerek rezervuarın sıcak kayalarıyla sıcaklığı artan yağmur veya kar sularıdır.



d) Jeotermal enerji

Hidrotermal sistemler:

- Sıvının etken olduğu sistemler (%90)
  - Sıcak su sistemleri (%60)
  - Islak buhar sistemleri (%30)
- Buharın etken olduğu sistemler (%10)

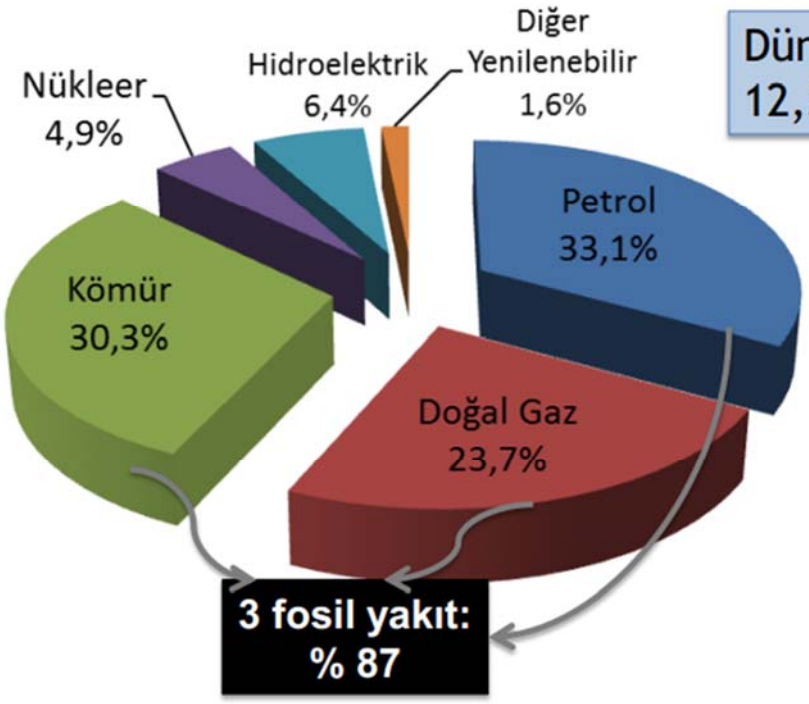
d) Jeotermal enerji

Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre:

- Yüksek sıcaklıklı kaynaklar : > 200°C
- Orta sıcaklıklı kaynaklar: 100 – 200°C
- Düşük sıcaklıklı kaynaklar: < 100°C

1. Giriş

2011 yılı sonu itibariyle birincil enerji tüketimi - Dünya

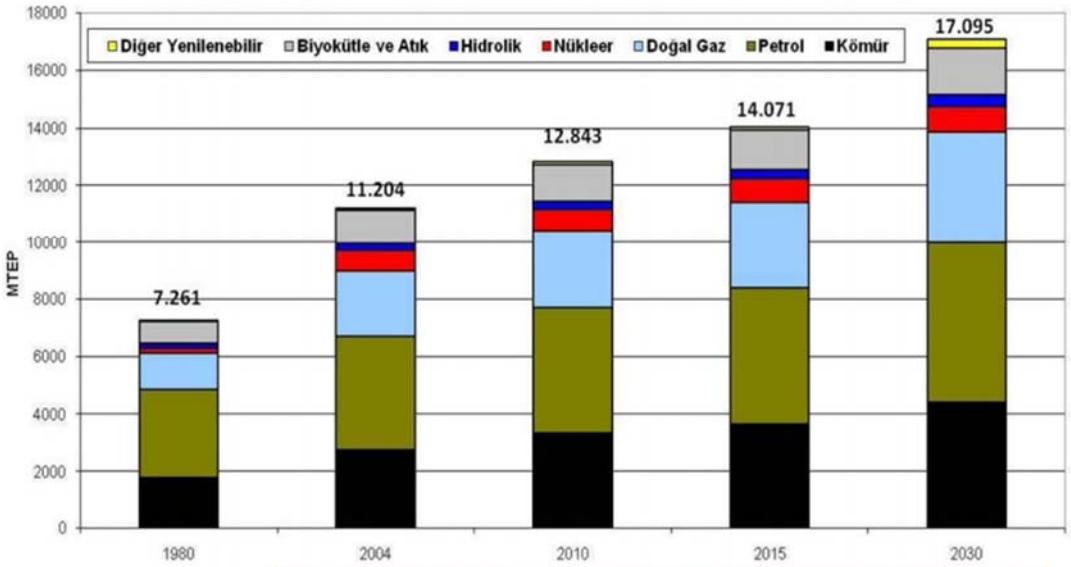


Dünya Birincil Enerji Tüketimi: 12,3 milyar TEP

Türkiye 118,8 milyon TEP enerji tüketimi ile dünyadaki enerji tüketimi en yüksek 23. ülke

1. Giriş

1980-2030 yılları arası (gerçekleşen ve tahmin edilen) birincil enerji talep gelişimi

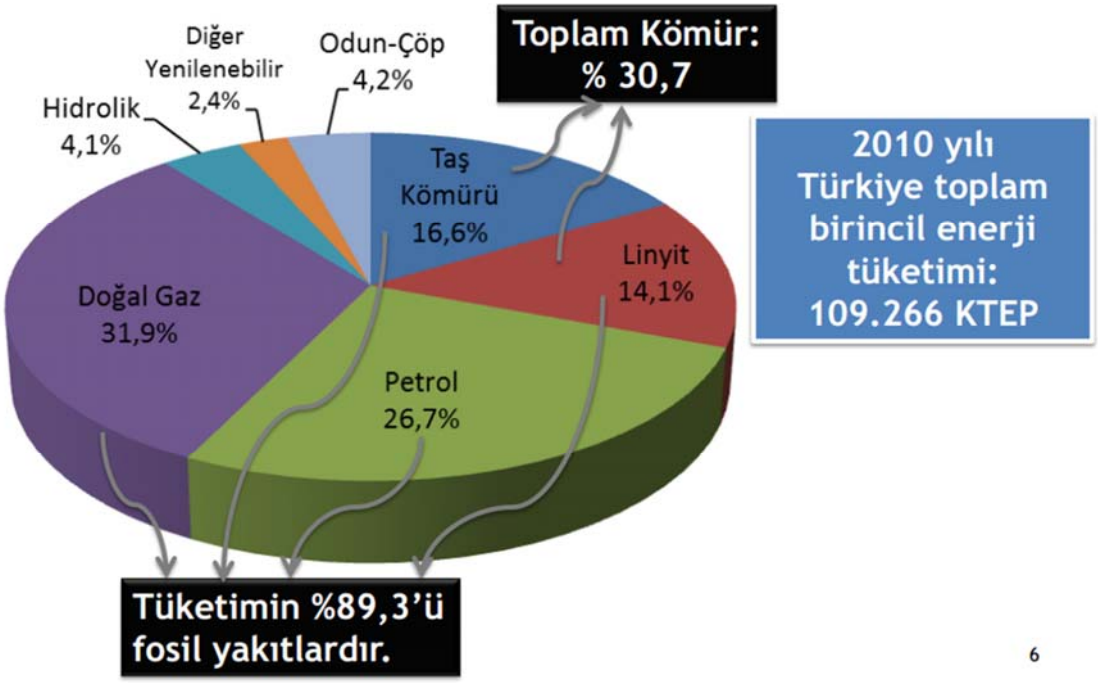


(2010-2030) 20 Yıllık Talep Artış Tahmini:
Dünya: % 1,65
Türkiye: % 4

Kaynak: EPDK, IEA

1. Giriş

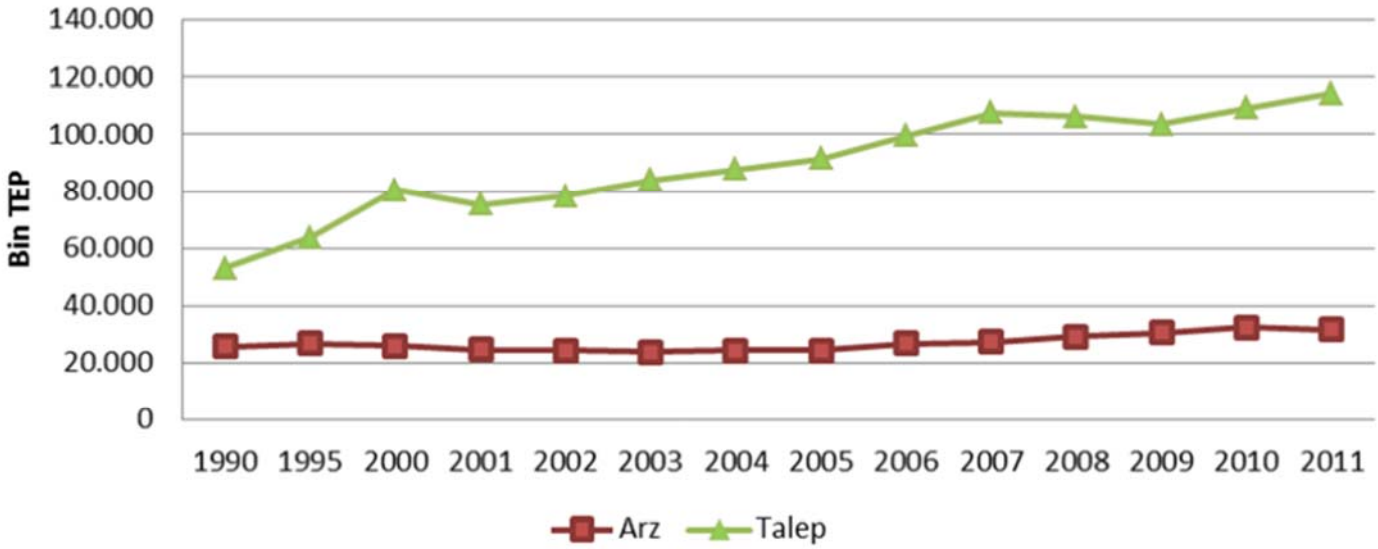
2010 yılı sonu itibariyle birincil enerji tüketimi - Türkiye



6

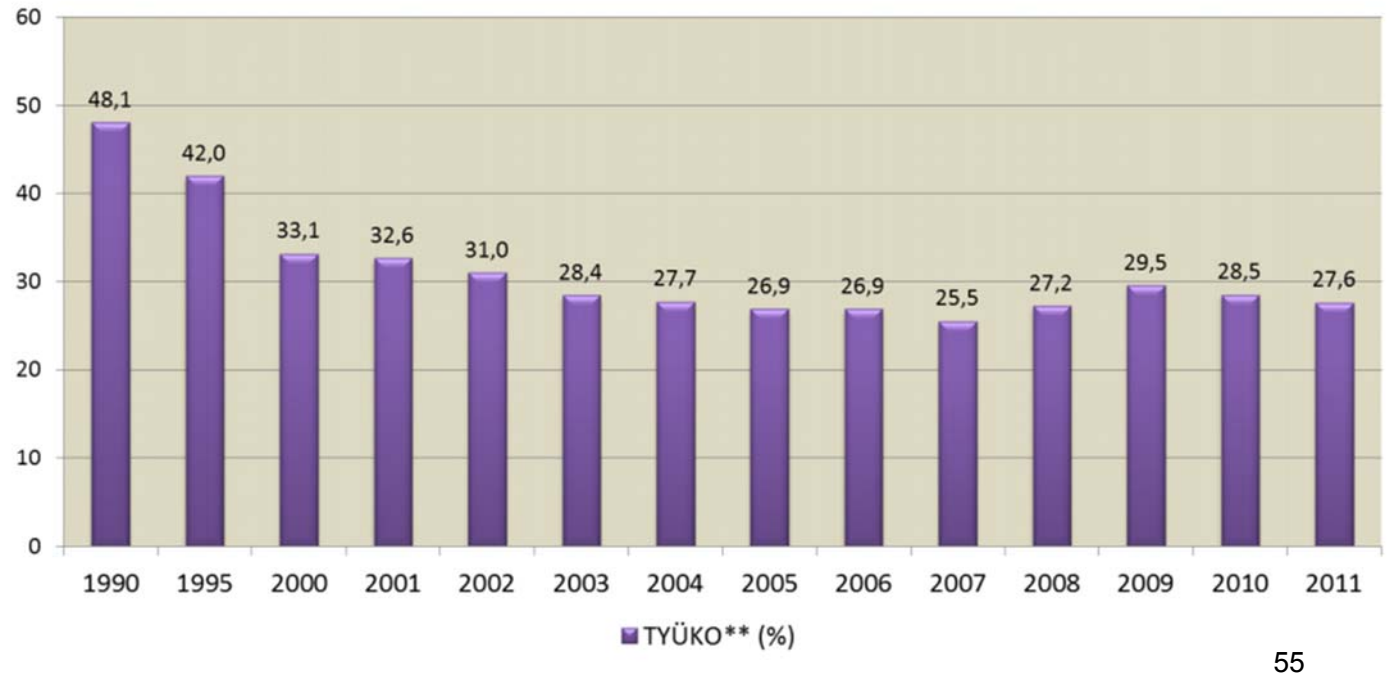
1. Giriş

1990-2011 yılları arası birincil enerji arz ve talebi - Türkiye



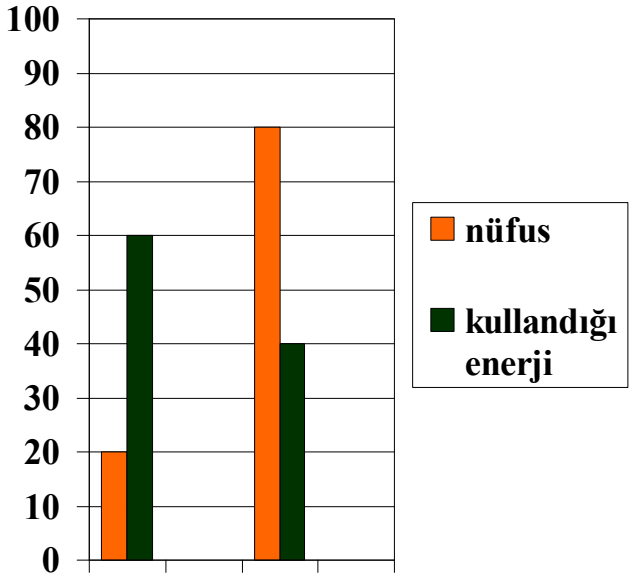
1. Giriş

1990-2011 yılları arası birincil enerji üretiminin tüketimi karşılama oranları- Türkiye



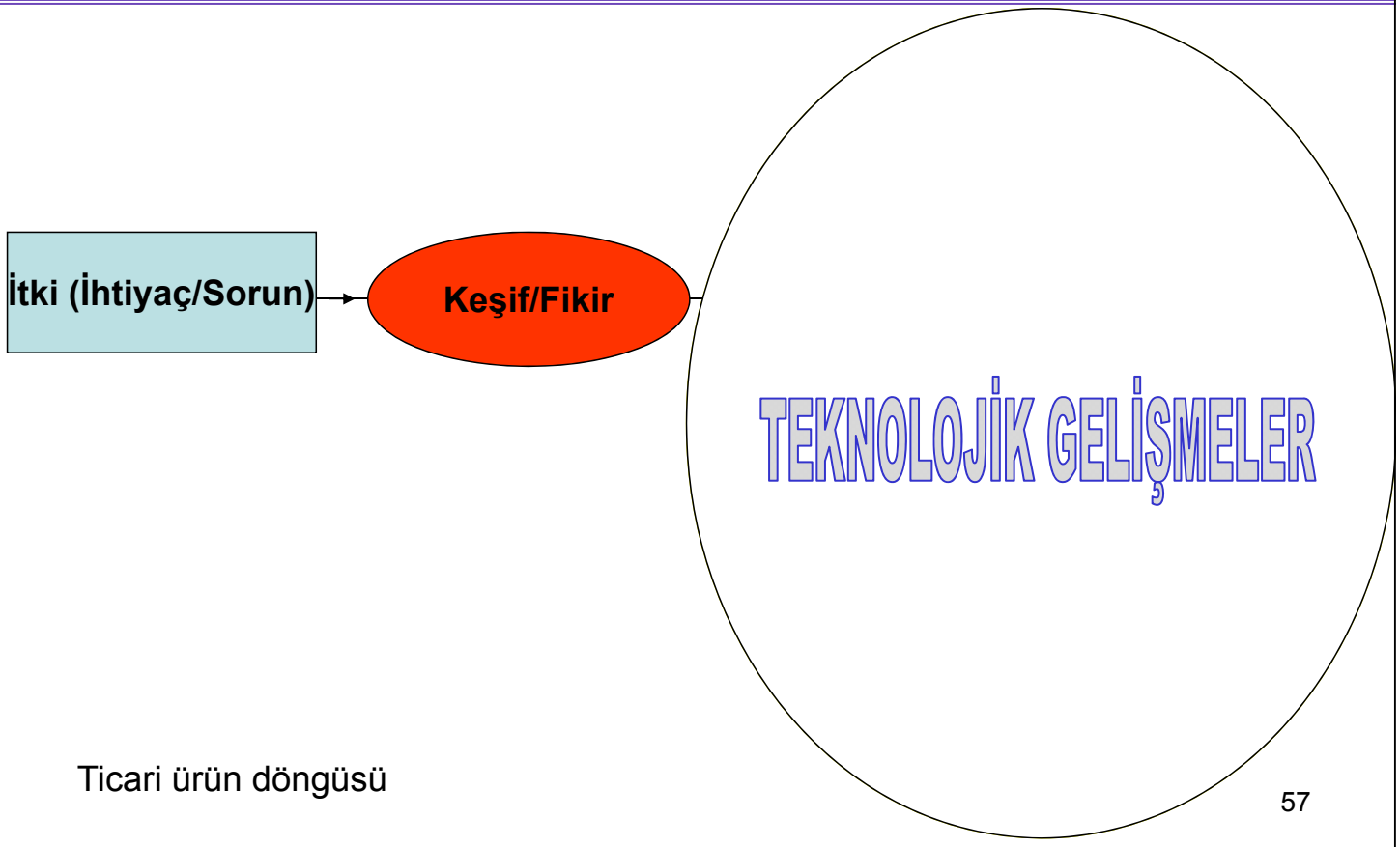
1. Giriş

- Dünya nüfusunun %20'si toplam enerjinin %60'ını,
- Gelişmekte olan yaklaşık 5 milyarlık nüfus ise enerjinin %40'ını tüketmektedir.



Bugün yaklaşık 1.6 milyar insanın ticari enerjiye erişim olanağı bulunmamaktadır.

1. Giriş



Ticari ürün döngüsü

1. Giriş

Enerji Teknolojisinde Gelişmelerin İtkileri

- İhtiyaçlar
- Sorunlar
  - Kaynağın kullanımına bağlı sorunlar
  - Kaynağın doğasına bağlı sorunlar
  - Verim/Yenilik

1. Giriş

Günümüzün enerji kaynaklı sorunları genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Fosil enerji kaynaklarının tükenebilir olması,
- Nüfus artışı ve ekonomik gelişme sonucunda enerji ihtiyacının artması,
- Jeopolitik gerilim ve anlaşmazlıklar: enerji arz ve güvenliği,
- Fosil enerji kaynaklarının yükselen fiyatları,
- Küresel ısınma (iklim değişikliği),
- Yerel bazda hava, su ve toprak kirliliği, insan ve diğer canlıların sağlığını etkileyen sorunlar.

1. Giriş

- **Fosil enerji kaynaklarının tükenebilir olması**

Fosil enerji kaynaklarının mevcut rezervleri ve tahmini ömürleri (BP 2007 ve BP 2008)

Birincil enerji kaynağı	*Yıl*		*R/Ü**
	2005	*2006*	
Petrol (milyar varil)	1209.5	1208.2	40.5
Doğal gaz (trilyon m^3)	180.20	181.46	63.3
Kömür (milyon ton)	909064	909064	147

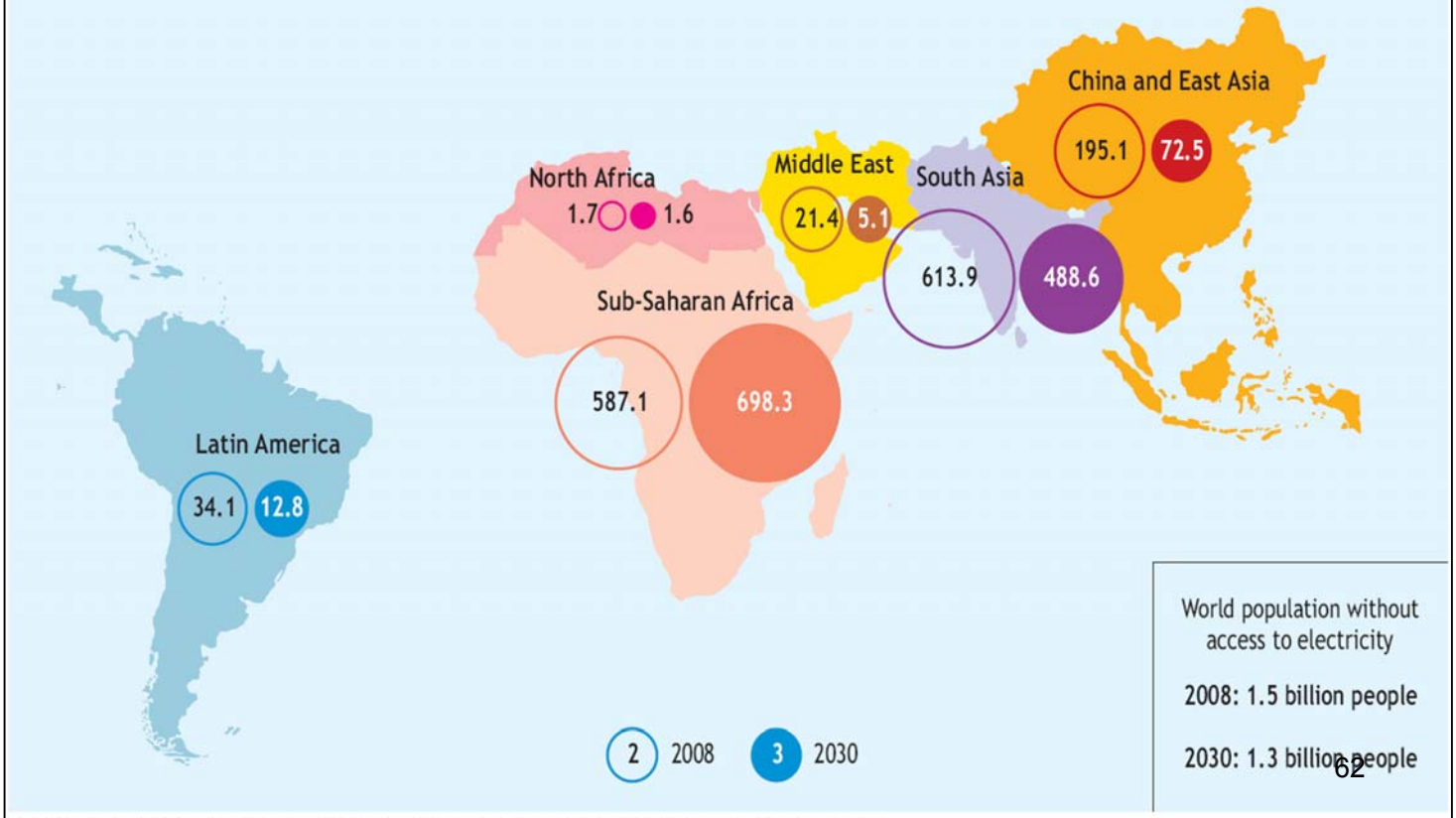
*Rezerv/Üretim (R/Ü) oranı – Üretimin aynı şekilde devam edeceği varsayılarak, yıl sonunda kalan rezerv miktarının kalan rezerv miktarına oranı olarak tanımlanabilir.

1. Giriş

•**Nüfus ve Enerji ihtiyacının artması**

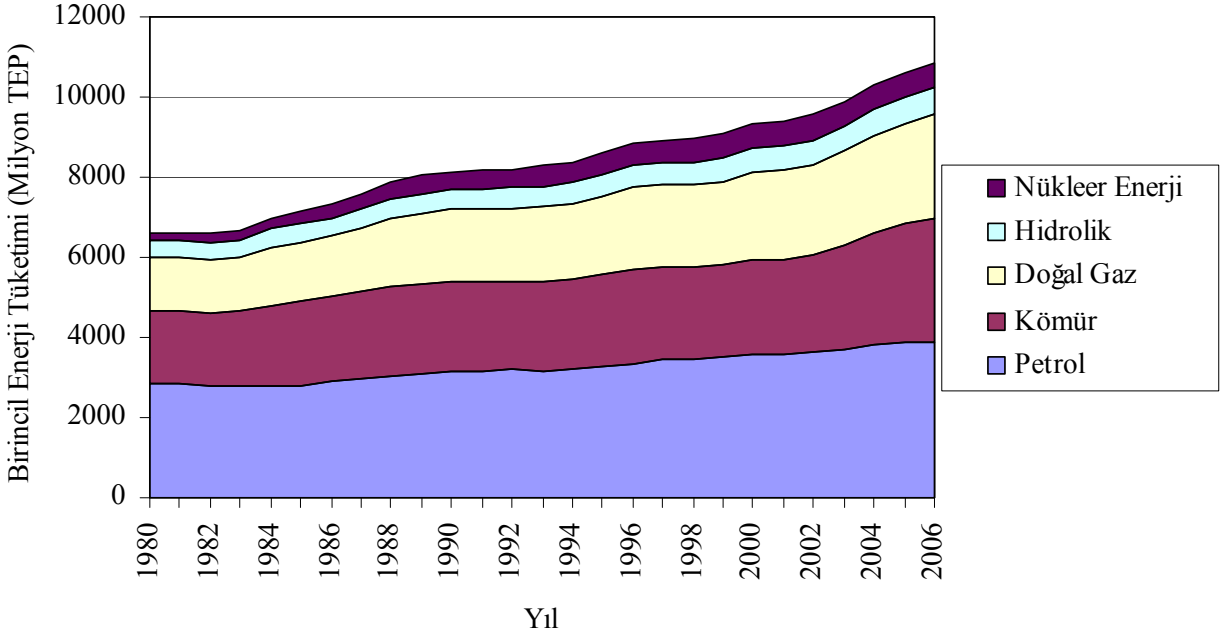
Dünya nüfusu 1900 yılların başında 1.6 milyar ve enerji tüketimi 1000 MTEP iken, günümüzde nüfus yaklaşık 5 kat artmasına rağmen enerji tüketimi 11 kat civarında artmıştır. Bunun yanısıra halen 1.5 milyar insan ticari enerjiden (başlıca elektrik enerjisi) yararlanamamaktadır.

1. Giriş



1. Giriş

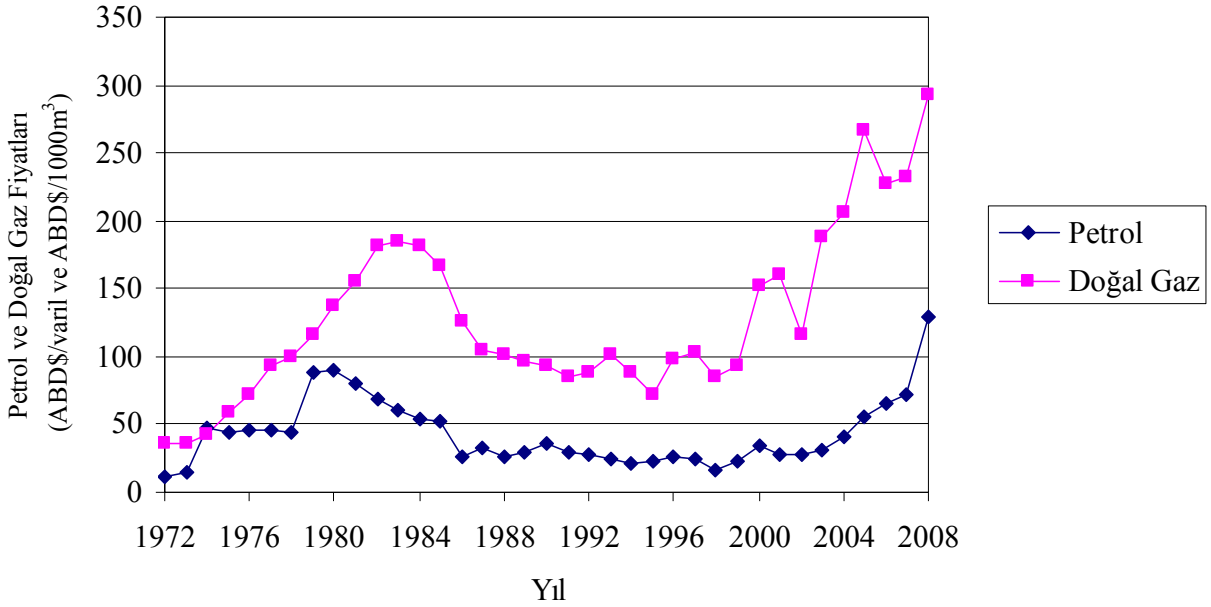
- **Enerji ihtiyacının artması**



Dünya birincil enerji kaynaklarının tüketiminin 1980 ve 2006 yılları arasında kaynaklara göre dağılımı (BP 2008)

1. Giriş

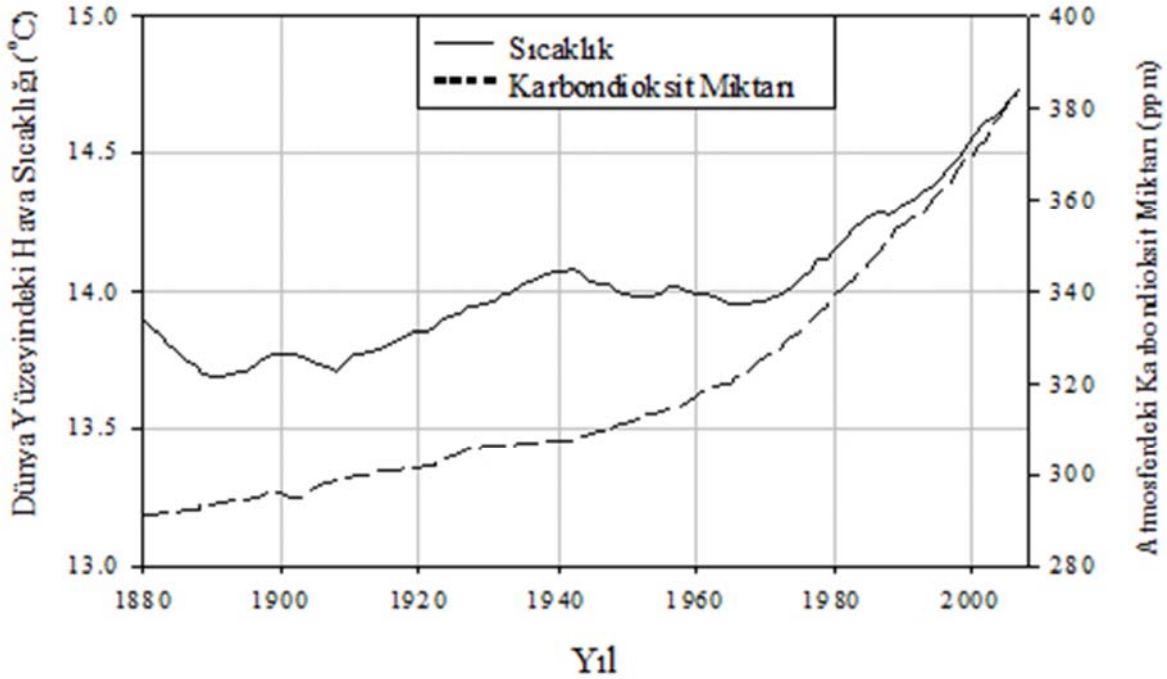
- **Fosil enerji kaynaklarının yükselen fiyatları**



1972 ile 2008 (Mayıs) ayları arasında petrol ve doğal gazın kuyubaşı fiyatları (BP 2008, EIA 2008, WEB_1 2008)

1. Giriş

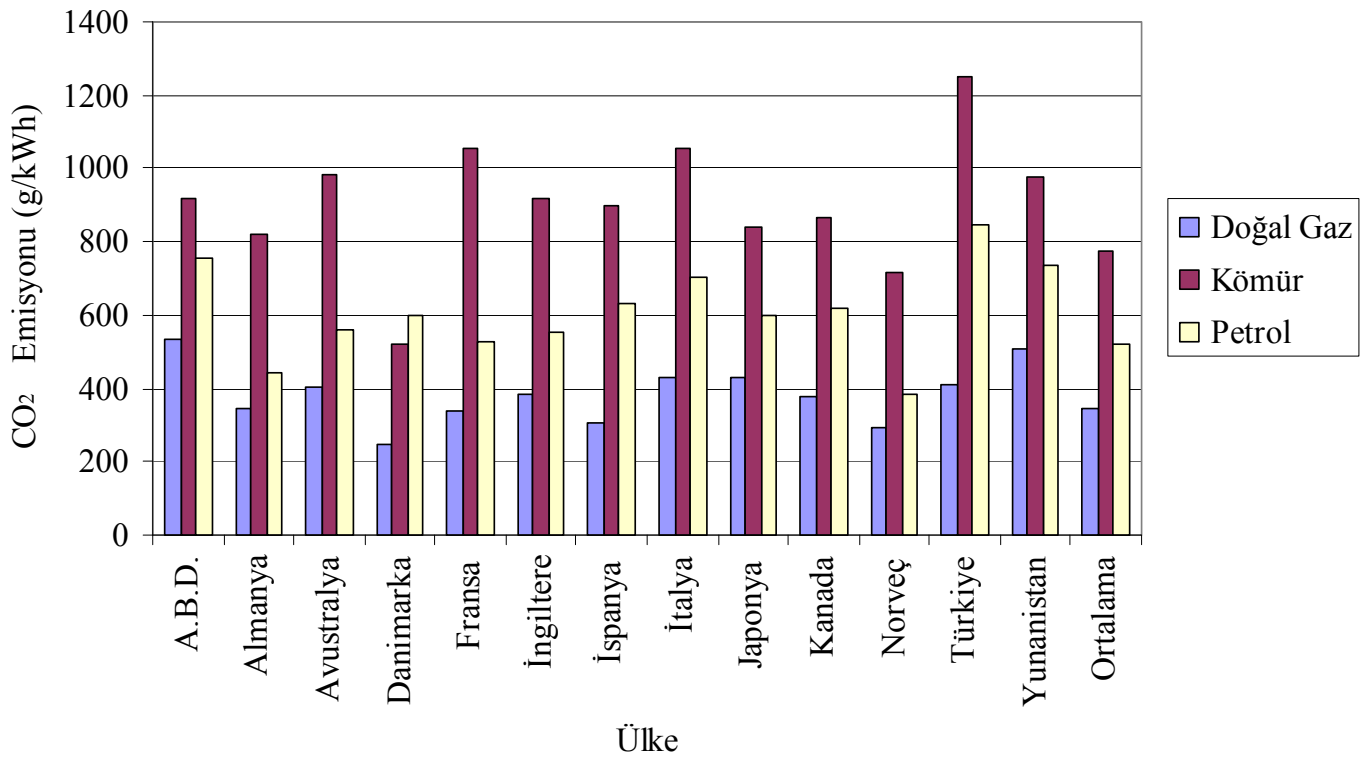
- **Küresel ısınma (iklim değişikliği),**



Dünya yüzündeki hava sıcaklığının ve atmosferdeki karbondioksit miktarının 1880-2007 yılları arasında değişimi (EPI 2001, Loa 2008, NASA 2008)

1. Giriş

•İnsan kaynaklı CO_2 emisyonunun yaklaşık %40'lık kısmı fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucu oluşturmaktadır. Elektrik üretimi ile atmosfere 7.7 milyar ton CO_2 salınmaktadır ve toplam fosil kaynaklı CO_2 emisyonu içindeki payı %35 civarındadır.



Annex I ülkeleri ile Türkiye'nin 1 kWh elektrik üretimleri sırasında kullanılan petrol, kömür ve doğal gaz sonucu atmosfere saldıkları CO_2 miktarları

1. Giriş

Küresel ısınmanın nedenlerinden olan karbondioksit ve diğer sera gazlarının, çevresel sorunlara yol açan hava kirletici partiküllerin (CO, NO_x, SO_2 ve diğer partiküller) emisyon miktarlarının azaltılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, enerjinin her zaman ulaşılabilir ve yerel olması istenmektedir. Aksi halde, enerji fiyatlarının politik süreçlerden etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu sorunların çözümünde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması beklenmektedir.

1. Giriş

1997 yılının Aralık ayında, Birleşmiş Milletler üyesi 160 ülkenin katılımı ile Kyoto'da, küresel ısınmaya karşı alınması gereken tedbirlerden sera gazı ve özellikle CO_2 emisyonları miktarlarını düşürmek amacıyla bir zirve yapılmıştır. Farklı yöntemler kullanılarak CO_2 emisyonu miktarları düşürülebilir, bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

- Fosil yakıtların dönüşüm verimlerinin artması
- Düşük karbon oranına sahip fosil yakıtların kullanımı
- Fosil yakıtların ve baca gazlarının dekarbonizasyonu, karbondioksit uzaklaştırma mekanizmaları
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması

2. TERMODİNAMİK ÇEVRİMLER

1. Temel Kavramlar

- Hidrolik, rüzgar, gel-git, okyanus/deniz enerjisi gibi kaynakların kullanımında mekanik iş kullanılmaktadır. Mekanik iş, elektriğe yüksek enerji dönüşüm verimi ile dönüştürülebilmektedir.

- Fosil yakıtlar, güneş (ısıtma), jeotermal ve biyokütlede ise temel dönüşüm ısı transferi ile gerçekleştirilir.

- Bu nedenle, ilk önce bazı ısı transferi ve termodinamik terimlerin açıklanmasında fayda vardır.

1. Temel Kavramlar-Isı Transferi

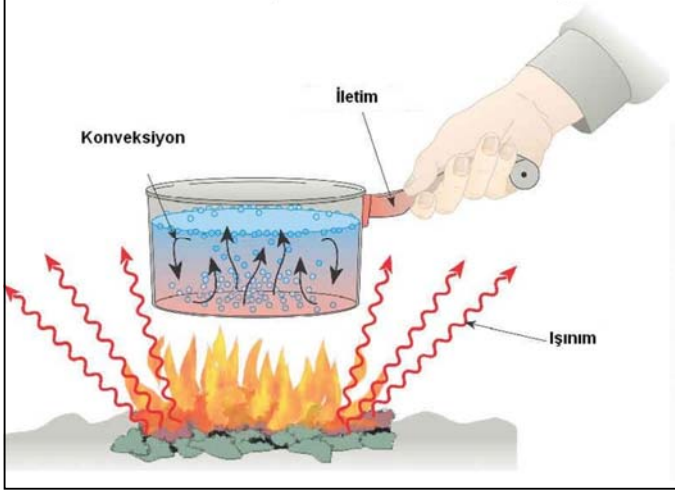
Isı bir enerji türüdür. Yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan daha düşük sıcaklıktaki bir ortama ısı kendiliğinden geçer. Isının farklı sıcaklıktaki iki ortamdan birinden diğerine geçerken, bu iki ortam arasında kalan ortamları da geçmesi gerekir. İki ortam arasında ısı transferi olduğunda iki ortam arasında geçen ısı enerjisinin miktarı

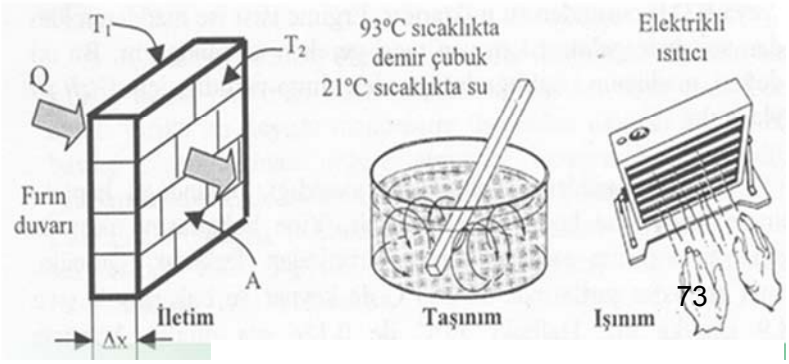
- ✓ Sıcaklık farkına,
- ✓ Isı transferi süresine,
- ✓ Ortamların özelliklerine,
- ✓ Isı transferinin gerçekleştiği yüzey alanına bağlıdır.

1. Temel Kavramlar-Isı Transferi

Isı transferi katı, sıvı ve gazlarda gözlenir. 3 tür ısı transferi ile karşılaşılır.

- Isı iletimi (kondüksiyon)
- Isı taşımını (konveksiyon)
- Isı işınımı (ısıl işıma, radyasyon)





1. Temel Kavramlar-Isı Transferi

1. Isı iletimi (Kondüksiyon): Cisimlerin veya onların taneciklerinin birbiri ile çarpışması veya değmeleri sırasında ısının birinden diğerine geçmesidir (molekülden moleküle). İletim ısının bir cisim içinde moleküller veya elektronlar aracılığıyla ve değme esnasında iletilmesidir. İletimle ısı transferi;

$$Q_x = -\lambda * A * dT/dx$$

(-): Yol ile sıcaklığın ters orantılı olduğunu gösterir.

λ : Malzemenin özelliğine bağlı ısı iletkenlik katsayısı (k). (W/mK)

A: Isı transferine dik yönde ısının geçtiği alan. (m^2)

dT/dx: Sıcaklık gradienti (sıcaklığın ısı akış yönüne göre değişimi.

1. Temel Kavramlar-Isı Transferi

2. Isı Taşınımı (Konveksiyon): Gaz veya sıvılar ile temas ettikleri sıcak yüzey arasındaki moleküllerin hareketi ile oluşur.

- Akışkanın hareketi bir yüzey ile akışkanın teması sonucu oluşan sıcaklık farkı nedeni ile özgül ağırlık değişimleri oluyorsa, buna doğal ısı taşınımı denir.
- Akışkanın hareketi dıştan bir enerji harcanarak bir pompa, bir vantilatör ile oluşturuluyorsa buna da zorlanmış ısı taşınımı denir.

$$Q = \alpha * A * (T_y - T_a)$$

α: Akışkan ile katı cisim arasındaki ısı taşınım katsayısı. (W/m^2K)

A: Isı transferi yüzeyi (m^2)

T_y: Katı cismin yüzey sıcaklığı (K)

T_a: Yüzeyden yeteri kadar uzaklıktaki akışkanın sıcaklığı (K)

α katsayısı, akışkanın fiziksel özelliklerine, akışkanın hızına, sıcaklık farkına ve sistemin boyutları gibi değişkenlere bağlıdır.

1. Temel Kavramlar-Isı Transferi

3. Isıl Işıma (Işınım-Radyasyon): Işıma enerjisinin ışık hızında boş ortam içinde akmasıdır. Diğer bir deyişle, elektro manyetik dalgalar halinde yayılmasıdır. Sıcak bir cismin yaymış olduğu elektromanyetik dalgalar başka bir cisme rastladığında, bunun bir kısmı bu cisimden yansır, bir kısmı cismin iç bölgelerine gider, bir kısmı da ısıya dönüşerek çarptığı cismi ısıtır. Herhangi bir hacim içine yerleştirilen biri sıcak, diğeri soğuk iki cisim arasında ışıma ile ısı transferi her zaman vardır. Sıcak cismin ışıma ile yaydığı enerji, absorbladığı enerjiden daha fazladır. Soğuk cisim ise, yaydığından daha fazla enerji absorblar. Işıma ile enerji transferi iki cisim aynı sıcaklığa geldikten sonra da devam eder. Ancak bu halde yayılan ve absorbe edilen enerji miktarları eşit olur. Stefan Boltzmann Kanununa göre;

$$I = \varepsilon * \sigma * A.T^4$$

ε: Işıma yeteneği-yayma katsayısı (yüzeyin malzemesine bağlıdır)

σ: Stefan Boltzman sabiti (5.672×10^{-8} W/m^2K^4)

A: Yüzey alanı (m^2)

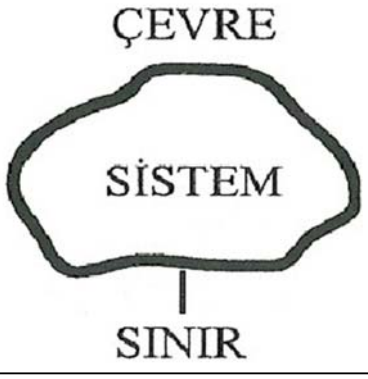
T: Sıcaklık (K)

1. Temel Kavramlar - Termodinamik

- Termodinamik adı iki sözcüğün birleşmesinden meydana gelmiştir. Latincede "thermos" sıcaklık ve "dynamis" güç anlamı taşımaktadır. Buna göre Termodinamik, ısı ile enerjinin diğer biçimleri arasındaki ilişkileri inceleyen bilim dalıdır.
- Termodinamik enerji ve entropi bilimi olup, farklı enerjiler arasındaki dönüşümü inceler. Isı, aralarında sıcaklık farkı bulunan iki ortamın ısıl temas sonucu yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama geçen enerji şeklinde ifade edilir.
- Isı transferi analizlerinde kullanılan temel yasalar ve prensipler termodinamik ve akışkanlar mekaniği içinde yer alır.

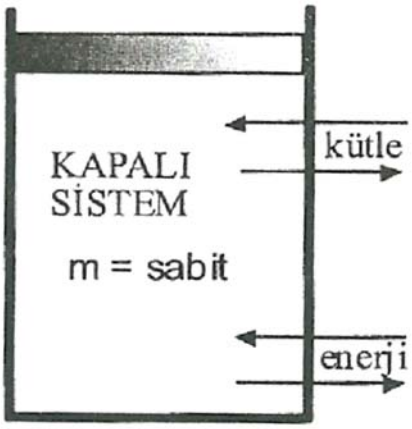
1. Temel Kavramlar - Termodinamik

- *Özelik:* Bir maddenin gözlenebilen veya sonradan tayin edilebilen, türetilen fiziksel karakteristiklerine maddenin özelikleri adı verilir. Basınç, sıcaklık, hacim, yoğunluk, viskozite, ısı iletim katsayısı, hız, iç enerji, kinetik enerji, entalpi, entropi ve gerilme mukavemeti maddenin özelikleridir.
- *Isı:* Sistem ile çevresi arasında sıcaklık farkı nedeniyle, herhangi bir kütlesel alışveriş olmaksızın sistemin sınırından iletilen enerjidir.
- *Termodinamik Sistem:* İncelenmek üzere gözönüne alınan, belirli ve değişmeyen kütleye veya uzayın incelenmek üzere ayrılan bir bölgesine sistem adı verilir.

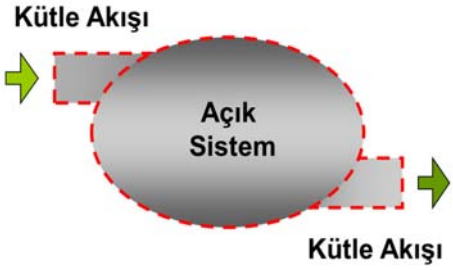


1. Temel Kavramlar - Termodinamik

- *Açık sistem:* Sistem ile çevresi arasında enerji alışverişiyle birlikte kütle alışverişi de var ise, bu bir açık sistemdir.
- *Kapalı sistem:* Sistem ile çevresi arasında kütle alışverişi yok, sadece enerji alışverişi var ise, bu bir kapalı sistemdir.

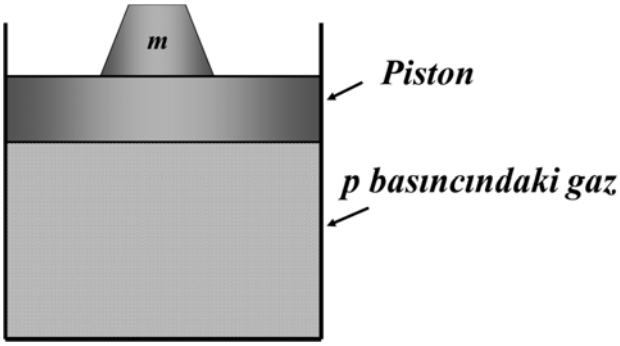


$$\frac{dm}{dt} = 0$$

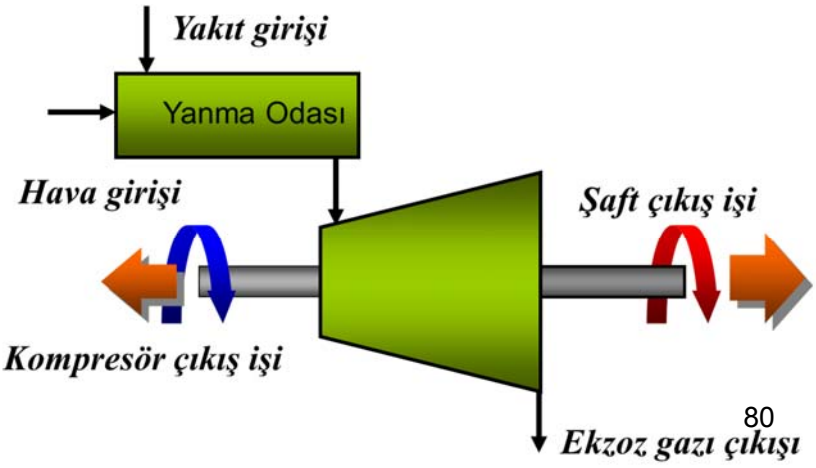


1. Temel Kavramlar - Termodinamik

Kapalı sistem



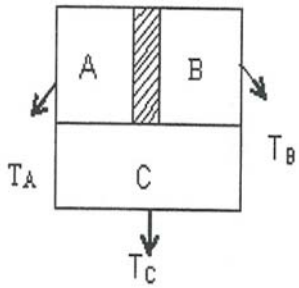
Açık sistem



1. Temel Kavramlar - Termodinamik

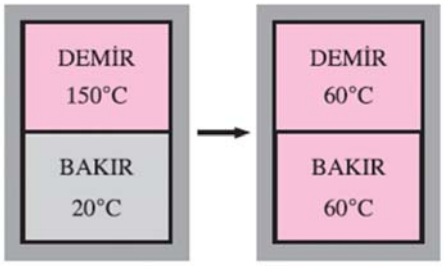
Termodinamiğin Sıfırıncı Kanunu:

iki ayrı cismin bir üçüncü cisimle ısıl dengede olması durumunda, birbirleri ile de ısıl dengede olduklarını belirtir. Üçüncü cisim bir termometre ile yer değiştirirse, sıfırıncı yasa şu şekilde yazılabilir: her ikisi de aynı sıcaklık değerine sahip iki cisim birbirleriyle temas etmeseler bile ısıl dengededirler.



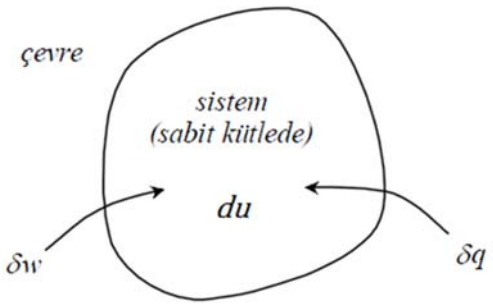
$$\left.\begin{array}{l} T_C=T_A=T \\ T_C=T_B=T \end{array}\right\} T_A=T_B$$

İzole bir çevrede temas halinde bulunan iki cisim termik dengeye ulaşırlar.



1. Temel Kavramlar - Termodinamik

Termodinamiğin Birinci Kanunu:



Durağan (kinetik enerjinin olmadığı) bir sistem için birim kütle başına;

$$\delta q - \delta w = du$$

- *Adyabatik proses:* Sistemle çevre arasında ısı alışverişinin olmadığı prosestir.
- *Tersinir proses:* Viskozite etkisi, ısı iletimi etkisi, kütle difüzyonu etkisi gibi dissipatif etkilerin olmadığı prosestir.
- *İzentropik proses:* Hem adyabatik hem de tersinir olan prosestir.

Tersinir proseslerde;
$$\delta q - Pdv = du$$

1. Temel Kavramlar - Termodinamik

Termodinamiğin Birinci Kanunu (Kapalı Sistemler):

$$\underbrace{E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}} \quad \text{(kJ)}$$

Hal değişimi gerçekleştiren herhangi bir sistem için enerji dengesi.

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi oranı}} = \underbrace{dE_{\text{sistem}}/dt}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim oranı}} \quad \text{(kW)}$$

birim zaman için.

$$Q_{\text{net,giren}} - W_{\text{net,çıkan}} = \Delta E_{\text{sistem}} \quad \text{veya} \quad Q - W = \Delta E$$

bu etkileşimlerin yönü için bir kabul yapılması gerekmektedir .

$$Q = Q_{\text{net, giren}} = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkan}}$$

$$W_{\text{net; çıkan}} = W_{\text{çıkan}} - W_{\text{giren}}$$

Genel $Q - W = \Delta E$

Sabit sistemler $Q - W = \Delta U$

Birim kütle başına $q - w = \Delta e$

Diferansiyel form $\delta q - \delta w = de$

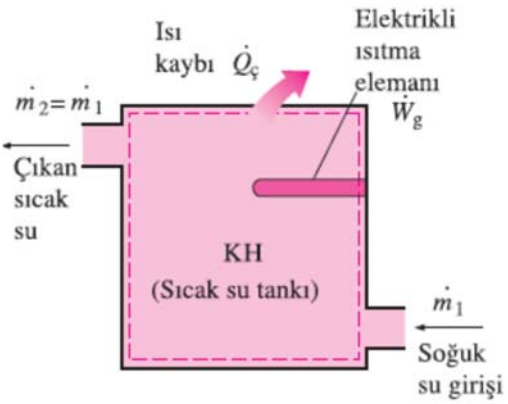
Kapalı sistemler için birinci yasanın değişik yazılış biçimleri.

1. Temel Kavramlar - Termodinamik

Termodinamiğin Birinci Kanunu (Açık Sistemler):

$$\underbrace{\dot{E}_g - \dot{E}_ç}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile olan enerji geçişi}} = \underbrace{dE_{\text{sistem}}/dt}_{\text{Birim zamanda; sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}} = 0$$

0 (sürekli)

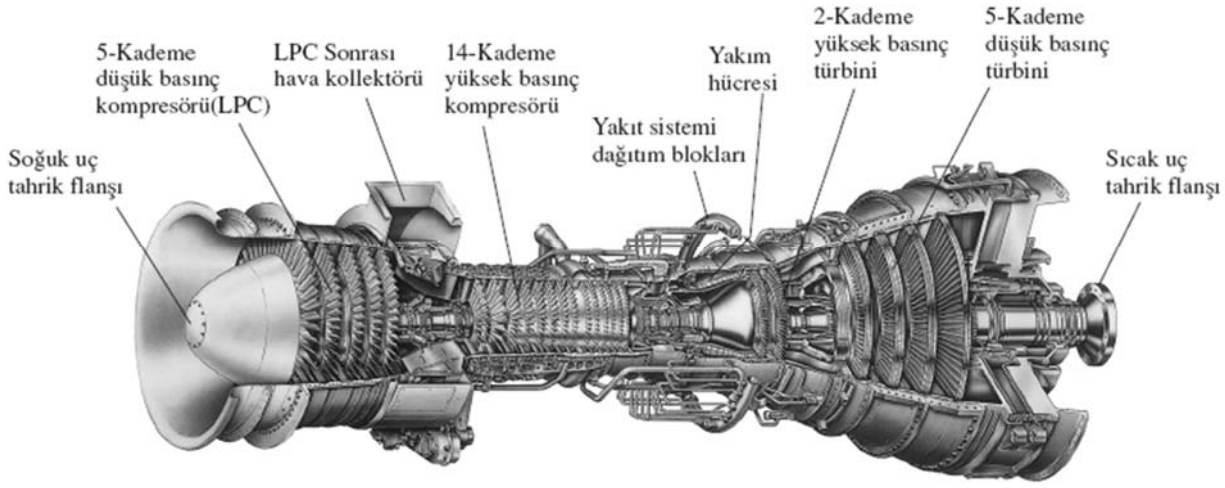


$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \underbrace{\dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)}_{\text{her giriş için}} = \dot{Q}_ç + \dot{W}_ç + \sum_ç \underbrace{\dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)}_{\text{her çıkış için}}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum_ç \underbrace{\dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)}_{\text{her çıkış için}} - \sum_g \underbrace{\dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)}_{\text{her giriş için}}$$

1. Temel Kavramlar - Termodinamik

Mühendislik sistemlerinin birçoğu, aynı giriş ve çıkış koşullarında uzun süreler çalışırlar. Örneğin bir güç santralinin türbin, kompresör, ısı değiştiricisi, pompa gibi elemanları, sistem bakıma alınmadan önce aylarca çalışabilir. Bu nedenle, bu sistemleri rahatlıkla sürekli akışlı açık sistemler olarak çözümleyebiliriz.



Elektrik üretiminde kullanılan gelişmiş bir gaz türbini. Bu bir General Electric LM5000 türbinidir. 6.2 m boyunda, 12.5 ton ağırlığındadır ve buhar enjeksiyonuyla 3600 devirde 55.2 MW güç üretmektedir.

1. Temel Kavramlar - Termodinamik

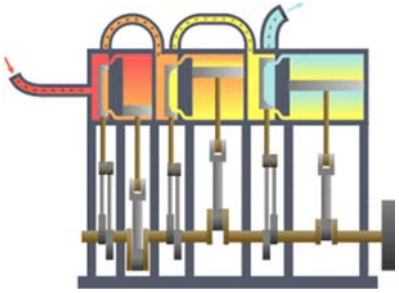
<u>Termodinamiğin İkinci Kanunu:</u>

Termodinamiğin 1. kanunu sadece enerji toplamının sabit kalacağını (enerjini korunacağını) belirtir. Yani alışverişin hangi yönde olacağı hakkında bilgi vermez. Bu kanuna göre enerji korunmak kaydıyla buzun soğuması da mümkündür. *Termodinamiğin 2. Kanunu* termodinamik *olayın hangi yönde gelişeceği* hakkında bilgi verir. Birinci yasa, niteliğiyle ilgilenmeksizin, enerjinin niceliğiyle ve bir biçimden diğerine dönüşümüyle ilgilidir. İkinci yasa, enerjinin niteliğinin ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığının belirlenmesinin gerekli vasıtalarını sağlar.

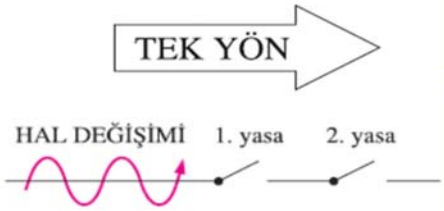
$$\mathrm{ds} \geq \frac{\delta q_{tersinir}}{T}$$

Alternatif ve daha net bir bağıntı;

$$\mathrm{ds} = \frac{\delta q}{T} + ds_{tersinmez} \text{ halindedir. Burada } ds_{tersinmez} \geq 0$$



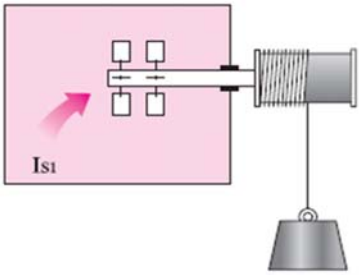
1. Temel Kavramlar - Termodinamik



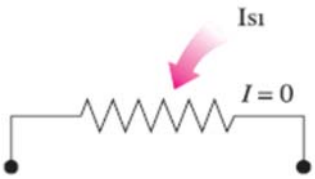
Hal değişimleri belirli bir yönde gerçekleşir. Ters yönde gerçekleşmez.

Bir hal değişiminin gerçekleşebilmesi için termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının sağlanması zorunludur.

Daha soğuk bir odada bulunan bir fincan sıcak kahve daha çok ısınmaz.



Çarka ısı geçişi çarkın dönmesini sağlamaz.



Tele ısı geçişi elektrik üretimine yol açmaz.

Bu işlemler birinci kanuna uymalarına rağmen, gerçekleşemezler.

1. Temel Kavramlar - Termodinamik

<u>Termodinamiğin Üçüncü Kanunu:</u>

Bir madde mutlak sıfıra kadar soğutulamaz çünkü bu sıcaklıkta bütün hareketler sıfıra yaklaşır. Sistemin entropisi ise bir sabite yaklaşır. Bu entropi referans alınarak mutlak entropi tanımlanabilir. Hareketler durur. Kristal şeklindeki homojen maddelerin entropisinin mutlak sıfır sıcaklığındaki değeri, sıfıra eşittir ve eşitliği, mutlak entropiyi vermektedir. İdeal kristal bünyeli, saf bir maddenin entropisi mutlak sıfırda, sıfır olarak alınabilir.

1. Temel Kavramlar - Termodinamik

Termodinamiğin iki önemli uygulama alanı (termodinamik çevrimlerle çalışan):

- **Güç Çevrimleri**
  Amaç : güç üretimi
  Isı Makineleri : otomobil motoru (içten yanmalı),
  güç santralleri (dıştan yanmalı)

- **Soğutma Çevrimleri**
  Amaç : soğutma/ısıtma
  Soğutma Makineleri : Buzdolabı, Klima, Isı Pompaları

1. Temel Kavramlar - Termodinamik

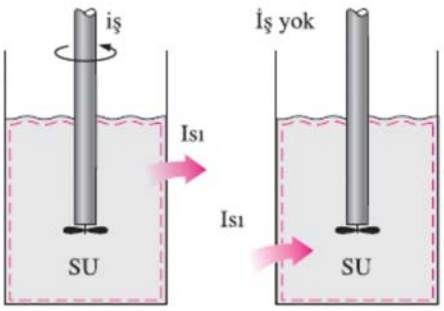
Termodinamik Çevrimler:

- **Gaz Akışlı Çevrimler**
  İş (aracı) akışkanı : çevrim boyunca hep gaz fazında
- **Buharlı Çevrimler**
  Aracı akışkan : çevrimin bir kısmında buhar fazında, diğer kısımlarında sıvı fazında

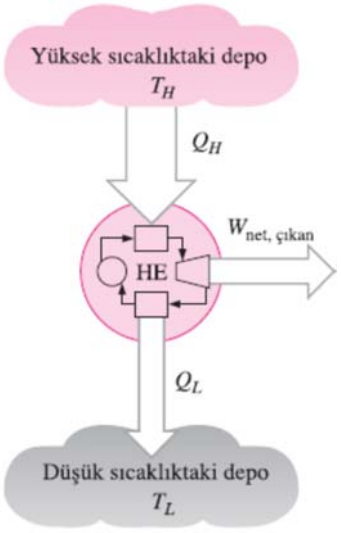
---

- **Açık Çevrimler**
  Aracı akışkan : yenileniyor (mekanik çevrim)
  Örnek : Otomobil motoru
- **Kapalı Çevrimler**
  Aracı akışkan : sürekli çevrim içinde dolaşıyor
  Örnek : Buharlı Güç Santrali

1. Temel Kavramlar-Isı Makineleri



İşin tümü her zaman ısıl enerjiye dönüştürülebilir, fakat bunun tersi doğru değildir.



Isı makinesi aldığı ısının bir bölümünü işe dönüştürür, geri kalanını düşük sıcaklıktaki bir ısıl kuyuya verir.

$$\text{Isıl verim} = \frac{\text{Elde edilen net iş}}{\text{Toplam giren ısı}}$$

$$W_{net,\,çıkan} = Q_H - Q_L$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net,\,çıkan}}{Q_H}$$

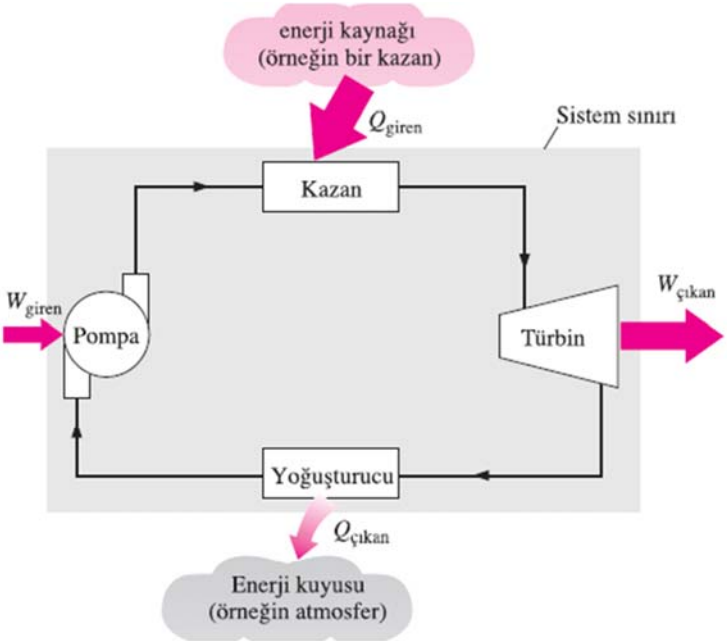
$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

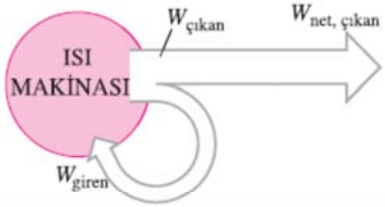
Makineler ısıyı işe dönüştürürler.

1. Yüksek sıcaklıktaki bir kaynaktan (güneş enerjisi, kazanlar, nükleer reaktörler vb.) ısı alırlar .
2. Geri kalan atık ısıyı düşük sıcaklıktaki bir kuyuya (atmosfer, akarsular, vb.) verirler.
3. Bir çevrim gerçekleştirerek çalışırlar.

Isı makineleri ve bir çevrime göre çalışan diğer makineler, çevrimi gerçekleştirirken ısı alışverişini yapabilecekleri ortam olarak genellikle bir akışkan içerirler. Bu akışkana **iş akışkanı** denir.

1. Temel Kavramlar-Isı Makineleri





Isı makinesinin yaptığı işin bir bölümü, sürekli çalışmayı sağlamak için çevrim içinde kullanılır.

$$W_{net,\,çıkan} = W_{çıkan} - W_{giren} \qquad \text{(kJ)}$$

$$W_{net,\,çıkan} = Q_{giren} - Q_{çıkan} \qquad \text{(kJ)}$$

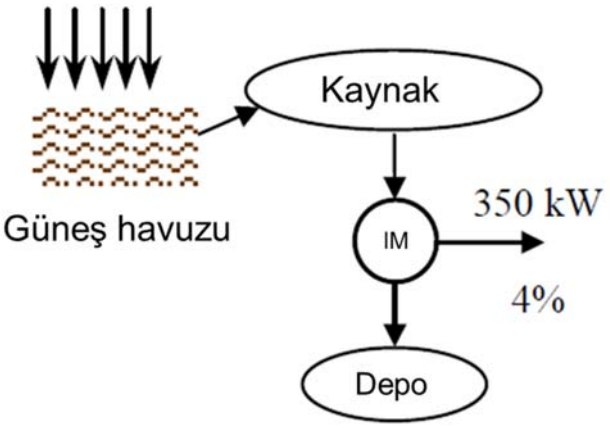
Q_{giren}= Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından (kazandan) suya geçen ısı miktarı.
$Q_{çıkan}$= Yoğuşturucuda buhardan düşük sıcaklıktaki kuyuya (atmosfer, akarsular vb.) geçen ısı miktarı.
$W_{çıkan}$= Türbinde genişlerken buhar tarafından üretilen iş miktarı.
W_{giren}= Suyu kazan basıncına sıkıştırmak için gereken iş miktarı.

1. Temel Kavramlar-Isı Makineleri

ÖRNEK:

Güneş havuzu adı verilen büyük ısı kütlelerinde toplanan güneş enerjisi elektrik üretmek amacıyla kullanılabilir. Eğer bu tür güç santralinin ısıl verimi %4, ürettiği net güç 350kW ise birim zamanda toplanması gereken ortalama güneş enerjisi miktarını hesaplayınız.

Çözüm:



$$\dot{Q}_H = \frac{\dot{W}_{net}}{\eta_{th}} = \frac{350}{0.04} = 8750\ kW$$

1. Temel Kavramlar-Isı Makineleri

ÖRNEK: Kömür yakarak çalışan bir buharlı güç santrali, %32 ısıl verimle 300MW net güç üretmektedir. Kazandaki gerçek kütlesel hava-yakıt oranı 12 kg hava/kg yakıt olarak belirlenmiştir. Kömürün ısıl değeri 28000 kJ/kg olduğuna göre;

a) 24 saatlik sürede tüketilen kömür miktarını;
b) Kazana birim zamanda giren hava kütlesini hesaplayınız.

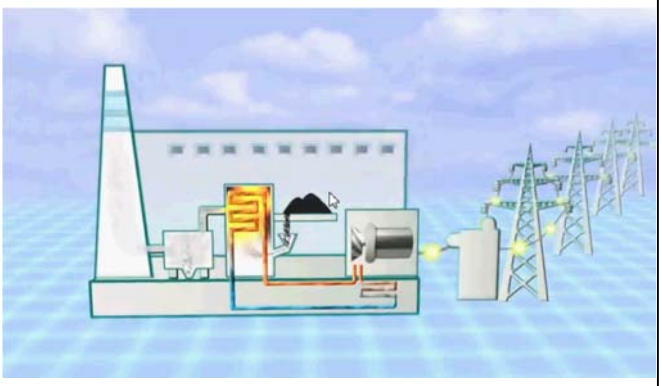
Çözüm:

a) $$\dot{Q}_{in} = \frac{\dot{W}_{net,out}}{\eta_{th}} = \frac{300\ \text{MW}}{0.32} = 937.5\ \text{MW}$$

$$Q_{in} = \dot{Q}_{in}\Delta t = (937.5\ \text{MJ/s})(24 \times 3600\ \text{s}) = 8.1 \times 10^7\ \text{MJ}$$

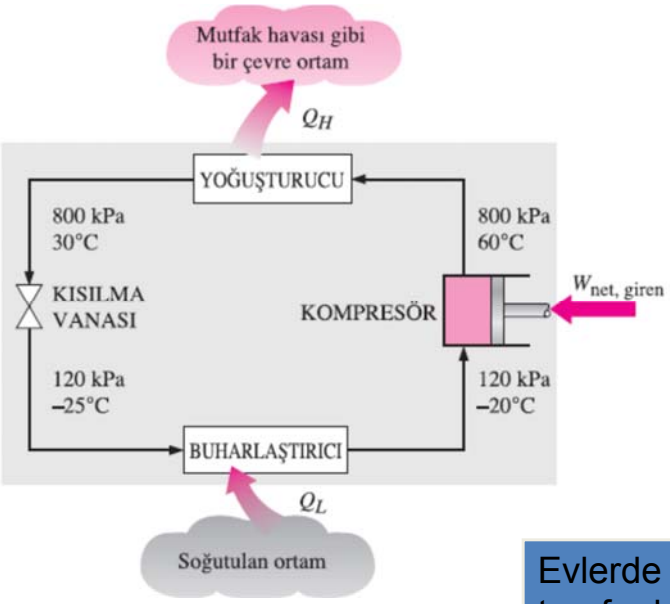
$$m_{coal} = \frac{Q_{in}}{q_{HV}} = \frac{8.1 \times 10^7\ \text{MW}}{28\ \text{MJ/kg}} = \mathbf{2.893 \times 10^6\ kg}$$

$$\dot{m}_{coal} = \frac{m_{coal}}{\Delta t} = \frac{2.893 \times 10^6\ \text{kg}}{24 \times 3600\ \text{s}} = 33.48\ \text{kg/s}$$



b) $$\dot{m}_{air} = (\text{AF})\dot{m}_{coal} = (12\ \text{kg air/kg fuel})(33.48\ \text{kg/s}) = \mathbf{401.8\ kg/s}$$

1. Temel Kavramlar-Soğutma Makineleri

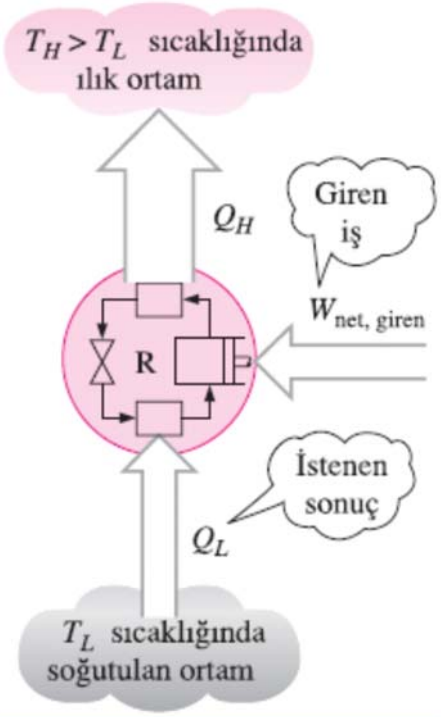


Bir soğutma sisteminin ana elemanları ve tipik çalışma koşulları.

- Düşük sıcaklıklı bir ortamdan yüksek sıcaklıklı bir ortama ısı geçişi kendiliğinden oluşmaz ve **soğutma makineleri** adı verilen özel makinelerin kullanımını gerektirir.
- Isı makineleri gibi soğutma makineleri de bir çevrim gerçekleştirerek çalışan makinelerdir.
- Soğutma çevriminde kullanılan iş akışkanı **soğutucu akışkan** olarak adlandırılır.
- En yaygın kullanılan soğutma çevrimi, buhar- sıkıştırmalı soğutma çevrimidir.

Evlerde kullanılan bir buzdolabında, soğutucu akışkan tarafından ısının alındığı dondurucu bölüm, buharlaştırıcı işlevini görür. Buzdolabının arkasında bulunan ve ısının soğutucu akışkandan mutfak havasına geçmesine yarayan borular ise yoğuşturucu olarak görev yapar.

1. Temel Kavramlar-Soğutma Makineleri



Bir soğutma makinesinin verimi, **etkinlik katsayısı** ile ifade edilir ve **COP_{SM}** ile gösterilir.
Soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdan ısı (Q_L) *çekmektir.*

$$COP_{SM} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_L}{W_{net,giren}}$$

$$W_{net,\,giren} = Q_H - Q_L \quad \text{(kJ)}$$

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

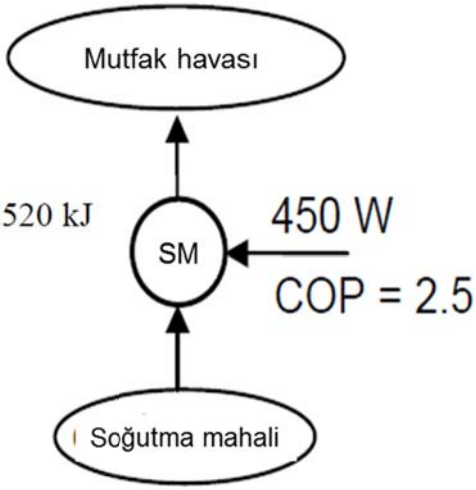
Bir soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdan Q_L *ısısını çekmektir.*

COP_{SM} 'in değeri birden büyük olabilir mi?

1. Temel Kavramlar-Soğutma Makineleri

ÖRNEK:

450 kW gücünde ve COP değeri 2.5 olan bir buzdolabı her biri 10 kg kütlesindeki 5 karpuzu 8°C'ye soğutacaktır. Karpuzlar başlangıçta 20°C sıcaklıkta ise istenilen sıcaklığa ne zaman gelebilirler? (Karpuzun özgül ısısı 4.2 kJ/kg°C olarak suyun özgül ısısına eşit alınabilir.)



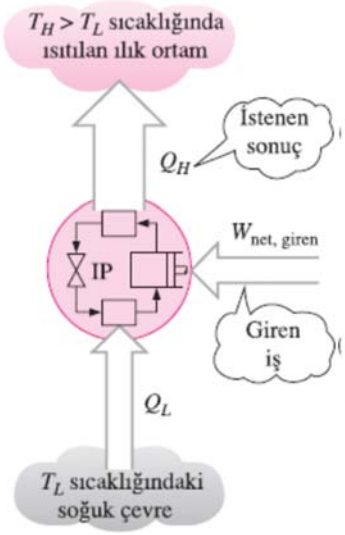
Çözüm:

$$Q_L = (mc\Delta T)_{\text{watermelons}} = 5 \times (10\text{ kg})(4.2\text{ kJ/kg}\cdot{}^\circ\text{C})(20-8)^\circ\text{C} = 2520\text{ kJ}$$

$$\dot{Q}_L = (\text{COP}_R)(\dot{W}_{\text{net,in}}) = (2.5)(0.45\text{ kW}) = 1.125\text{ kW}$$

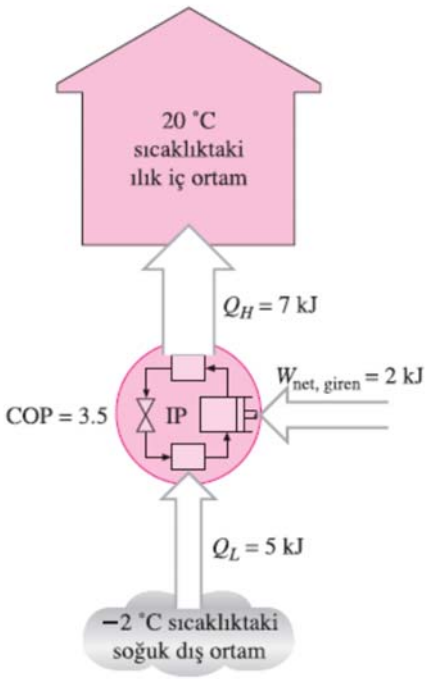
$$\Delta t = \frac{Q_L}{\dot{Q}_L} = \frac{2520\text{ kJ}}{1.125\text{ kJ/s}} = 2240\text{ s} = \mathbf{37.3\ dk}$$

1. Temel Kavramlar-Isı Pompaları



Bir ısı pompasının amacı, ılık ortama Q_H ısısını vermektir.

Bir ısı pompasına giren iş, soğuk dış ortamdan alınan ısıl enerjinin, ılık iç ortama verilmesini sağlar.



$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_H}{W_{\text{net,giren}}}$$

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \text{COP}_{\text{SM}} + 1$$

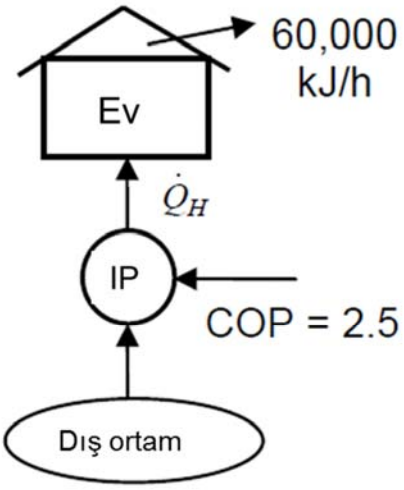
Q_L ve Q_H 'ın sabit değerleri için

COP_{IP} 'in değeri birden daha küçük olabilir mi?

1. Temel Kavramlar-Isı Pompaları

ÖRNEK: Bir evin iç sıcaklığı ısı pompası kullanılarak 23°C'de sabit tutulmaktadır. Evin duvarlarından çevreye olan ısı kaybı 60000 kJ/h; evin içindeki insanların, lambaların ve diğer elektrikli cihazların yaydığı ısı miktarı 4000 kJ/h'dır. Isı pompasının COP değeri 2.5 olduğuna göre, ısı pompasını çalıştırmak için gerekli olan gücü bulunuz.

Çözüm:



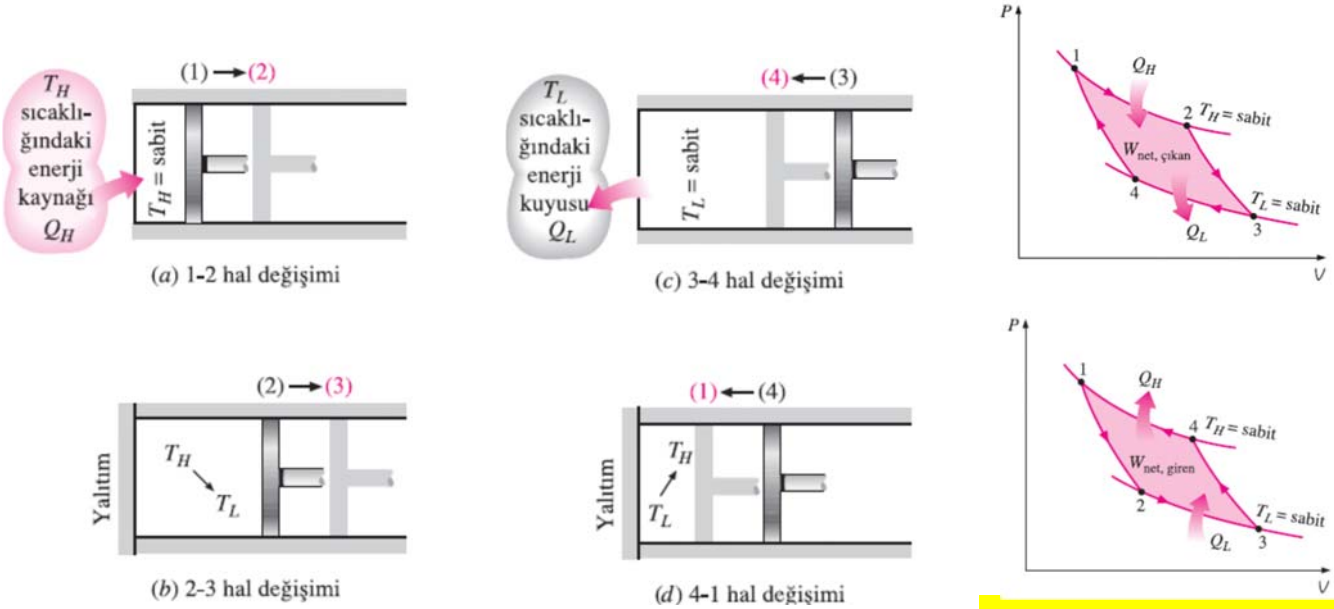
$$\dot{Q}_H = 60{,}000 - 4{,}000 = 56{,}000 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{W}_{\text{net,in}} = \frac{\dot{Q}_H}{\text{COP}_{\text{HP}}} = \frac{56{,}000 \text{ kJ/h}}{2.5}\left(\frac{1 \text{ kW}}{3600 \text{ kJ/h}}\right) = \mathbf{6.22\ kW}$$

1. Temel Kavramlar-Carnot Çevrimi

[redacted]

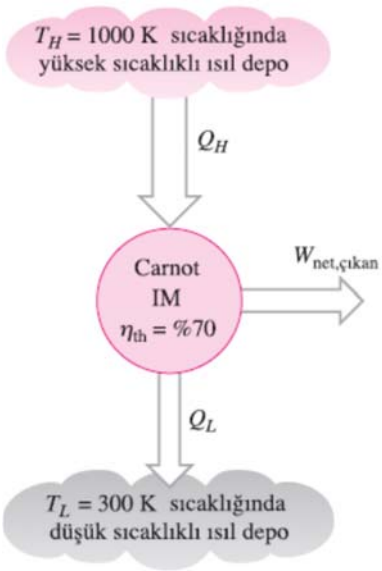
1. Temel Kavramlar-Carnot Çevrimi



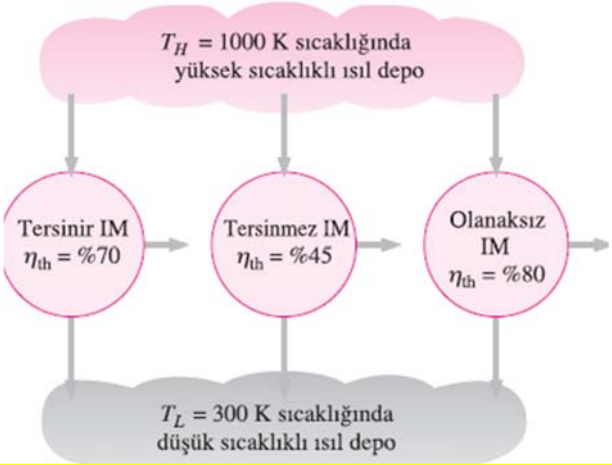
Carnot ve ters Carnot çevrimlerinin *P-V* diyagramı.

Tersinir sabit sıcaklıkta genişleme (1-2 hal değişimi, T_H=*sabit)*
Tersinir adyabatik genişleme (2-3 hal değişimi, sıcaklık T_H'den T_L'ye düşmektedir)
Tersinir sabit sıcaklıkta sıkıştırma (3-4 hal değişimi, T_L=sabit)
Tersinir adyabatik sıkıştırma (4-1 hal değişimi, sıcaklık T_L'den T_H'ye yükselmektedir)

1. Temel Kavramlar-Carnot Çevrimi



Carnot ısı makinesi, aynı yüksek ve düşük sıcaklıklı ısıl depolar arasında çalışan ısı makineleri içinde en yüksek verime sahip olanıdır.



Aynı yüksek ve düşük sıcaklıklı ısıl depolar arasında çalışan ısı makinelerinden hiçbirinin verimi, tersinir ısı makinesinin veriminden yüksek olamaz.

Herhangi bir ısı makinesi

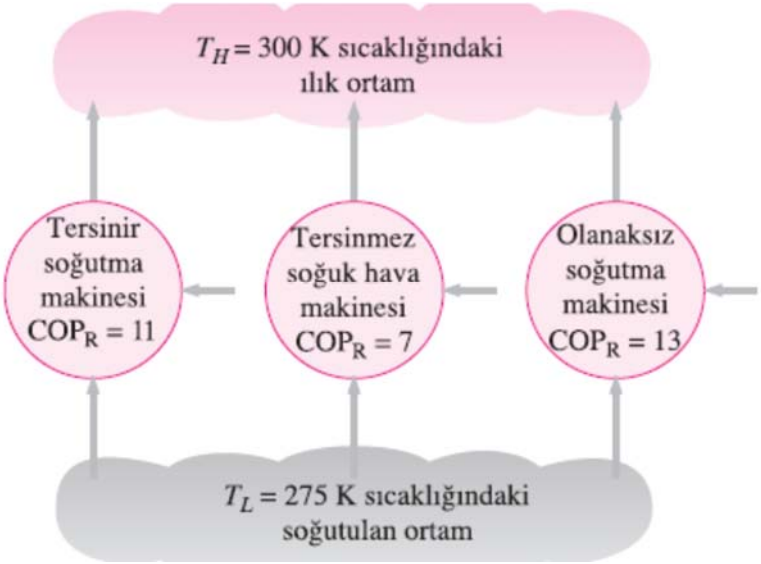
$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

Carnot ısı makinesi

$$\eta_{th,tr} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\eta_{th} \begin{cases} < \eta_{th,tr} & \text{tersinmez ısı makinesi} \\ = \eta_{th,rev} & \text{tersinir ısı makinesi} \\ > \eta_{th,tr} & \text{olanaksız ısı makinesi} \end{cases}$$

1. Temel Kavramlar-Carnot Çevrimi



Herhangi bir soğutma makinesi veya ısı pompası

$$COP_R = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

$$COP_{HP} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

Carnot soğutma makinesi veya ısı pompası

$$COP_{SM,\,tr} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$COP_{IP,\,tr} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

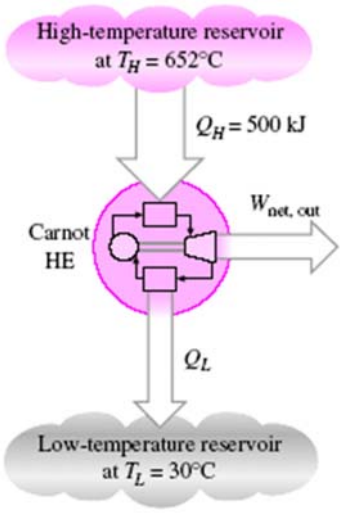
Hiçbir soğutma makinesi aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan tersinir bir soğutma makinesinden daha yüksek bir COP değerine sahip olamaz.

ÖRNEK

Şekilde gösterilen Carnot ısı makinesi, 652°C sıcaklıktaki bir ısıl enerji deposundan 500 kJ enerji almakta ve 30°C sıcaklıktaki bir ısıl enerji deposuna ısı vermektedir,
(a) Carnot makinesinin ısıl verimini,
(b) Düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposuna verilen ısıyı hesaplayın.

Çözüm (a) Carnot ısı makinesi tersinir bir makinedir, bu nedenle ısıl verimi:

$$\eta_{th,\,C} = \eta_{th,\,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{(30 + 273)\ \text{K}}{(652 + 273)\ \text{K}} = 0.672$$



(b) Tersinir bir ısı makinesi tarafından düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposuna verilen ısı:

$$Q_{L,\,rev} = \frac{T_L}{T_H} Q_{H,\,rev} = \frac{(30 + 273)\ \text{K}}{(652 + 273)\ \text{K}} (500\ \text{kJ}) = 164\ \text{kJ}$$

Böylece, incelenen Carnot ısı makinesi her çevrimde aldığı 500 kJ ısının 163.8 kJ'lük bölümünü düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposuna vermektedir.

ÖRNEK

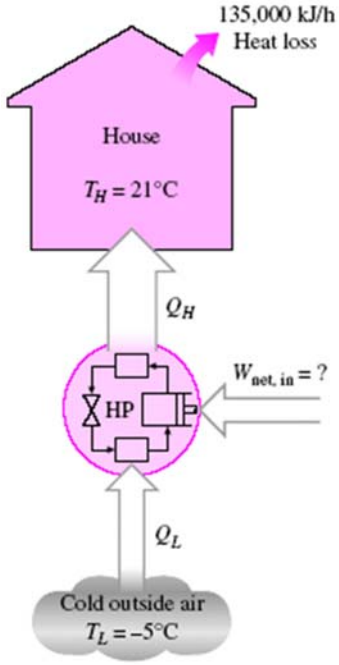
Bir evi ısıtmak için ısı pompası kullanılmaktadır. Evin içi sürekli olarak 21°C sıcaklıkta tutulmaktadır. Dışarıda sıcaklık -5°C iken evin ısı kaybı 135000 kJ/h'dir. Verilen koşullarda ısı pompasını çalıştırmak için en az ne kadar güç gerekecektir?

Çözüm

Evin içini istenen sıcaklıkta tutabilmek için, ısı pompası kaybedilen ısıl enerji kadar ısıl enerjiyi eve sağlamak zorundadır. Başka bir deyişle, ısı pompası eve (yüksek sıcaklıktaki ısıl enerji deposuna) Q_H = 135000 kJ/h = 37.5 kW ısı vermek durumundadır.

$$\mathrm{COP}_{\mathrm{HP,rev}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H} = \frac{1}{1 - (-5 + 273\ \mathrm{K})/(12 + 273\ \mathrm{K})} = 11.3$$

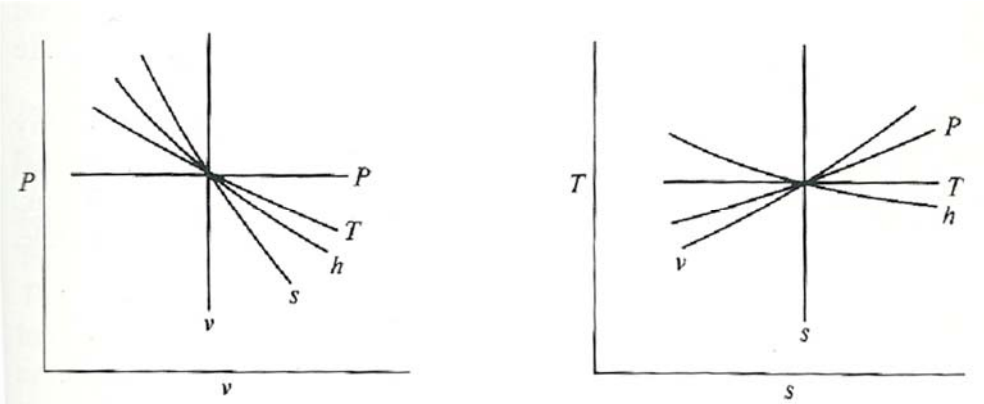
$$\dot{W}_{\mathrm{net,in}} = \frac{Q_H}{\mathrm{COP}_{\mathrm{HP}}} = \frac{37.5\ \mathrm{kW}}{11.3} = 3.32\ \mathrm{kW}$$



Isı pompası evin ısı gereksinimini 3.32 kW elektrik gücü tüketerek karşılamaktadır. Eğer bu evde elektrikli ısıtıcılar kullanılsaydı, güç gereksinimi bu değerin 11.3 katı olan 37.5 kW olurdu. Bunun nedeni, elektrikli ısıtıcılarda elektriğin ısıya dönüşüm oranının 1:1 olmasıdır. Fakat ısı pompasıyla dışarıdan alınan ısıl enerjinin bir soğutma çevrimiyle eve aktarılması sadece 3.32 kW güç gerektirmektedir.

1. Temel Kavramlar-Termodinamik Çevrimler

Tüm ısı makineleri, belirli bir ideal çevrime yaklaştırılarak kolaylıkla çözülmeye çalışılırlar. Bu çevrimlerin anlaşılması, işletme ve performans arttırımı için oldukça önemlidir. Herhangi bir termodinamik çevrim, ilk haline dönen bir akışkanın bulunduğu bir dizi termodinamik prosesten oluşmaktadır. Bu proseslerde belli bir özelik sabit tutulmaktadır. (İzotermal: sabit sıcaklıkta; izobarik: sabit basınçta; izometrik/izokorik: sabit hacimde; abyabatik: ısı geçişinin olmadığı durumda; izantropik: sabit entropide; kısılma: sabit entalpide). Aynı zamanda; termodinamiğin 1. kanuna göre tüm termodinamik çevrimlerde işin kapalı integrali, ısının kapalı integraline eşittir. $\oint \delta W = \oint \delta Q$



Sabit özelik eğrilerinin eğim ilişkileri (Saat yönünde P-T-h-s-v sıralaması)

1. Temel Kavramlar-Termodinamik Çevrimler

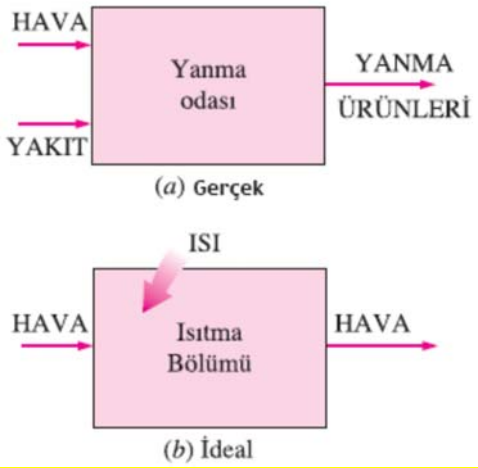
Sıklıkla karşılaşılan ideal termodinamik çevrimler

Çevrim Adı	1-2 Sıkıştırma	2-3 Isı Alımı	3-4 Genişleme	4-1 Isı Atımı
İçten yanmalı güç çevrimleri				
Otto	izantropik	izokorik	izantropik	izokorik
Dizel	izantropik	izobarik	izantropik	izokorik
Brayton	izantropik	izobarik	izantropik	izobarik
Dıştan yanmalı güç çevrimleri				
Carnot	izantropik	izotermal	izantropik	izotermal
Stirling	izotermal	izokorik	izotermal	izokorik
Ericsson	izotermal	izobarik	izotermal	izobarik
Rankine	izantropik	izobarik	izantropik	izobarik

2. Gaz Çevrimleri

- Carnot Çevrimi Sadi Carnot, 1824
  Tümden tersinir; En ideal çevrim; 4 hal değişimi
- Otto Çevrimi Beau de Rochas, Nikolaus A. Otto, 1876
  İçten tersinir; Kıvılcım ateşlemeli otomobil motorları için ideal çevrim; 4-strok çevrim (2-mekanik çevrim); Sabit hacimde ısı geçişleri
- Diesel Çevrimi Rudolph Diesel, 1890
  İçten tersinir; Sıkıştırma ateşlemeli otomobil motorları için ideal çevrim; Yanma işlemi daha uzun: sabit basınçta çevrime ısı geçişi; Sabit hacimde dış ortama ısı geçişi
- Stirling ve Ericsson Çevrimleri
  Tümden tersinir; Stirling: sabit hacimde rejenerasyon; Ericsson: sabit basınçta rejenerasyon (sistem içi ısı geçişi)
- Brayton Çevrimi George Brayton, 1870
  İçten tersinir; Gaz Türbinleri için ideal çevrim; Kompresör ve Türbin ile sıkıştırma ve genişleme işlemleri

2. Gaz Çevrimleri



İdeal çevrimlerde yanma işleminin yerini sisteme ısı geçişi alır.

Hava Standartı Kabuller

1. İş akışkanı, ideal bir gaz olarak kabul edilen ve kapalı bir çevrimde sürekli olarak dolaştığı varsayılan havadır.
2. Çevrimi oluşturan hal değişimlerinin tümü içten tersinirdir.
3. Yanma işleminin yerini, bir dış kaynaktan çevrime ısı girişi alır .
4. Egzoz işleminin yerini, iş akışkanının tekrar ilk haline dönmesini sağlayan, çevrimden ısı çıkışı alır.

Soğuk hava standardı kabulleri : Havanın özgül ısılarının *oda sıcaklığındaki* (25°C) değerlerinde sabit kaldığıdır. Bu kabul yapıldığında, hava standardı kabulleri, **soğuk hava standardı kabulleri** diye adlandırılır

İdeal hava çevrimi : Hava standardı kabullerinin uygulandığı bir çevrime sıklıkla **ideal hava çevrimi** (**hava standardı çevrimi**) denir.

2. Gaz Çevrimleri

SORU 9-16: Kapalı bir sistemde gerçekleşen ideal hava çevrimi aşağıdaki dört hal değişiminden oluşmaktadır. Oda sıcaklığındaki özgül ısıları sabit kabul ederek (c_p=1.005kJ/kgK ve c_v=0.718kJ/kgK);

1-2: 100kPa basınç ve 27°C sıcaklıktan; 1MPa basınca izantropik sıkıştırma;

2-3: Sabit basınçta 2800 kJ/kg ısı girişi;

3-4: 100kPa basınca kadar sabit hacimde ısı çıkışı;

4-1: İlk hale gelene kadar sabit basınçta ısı çıkışı.

a) P-v ve T-s diyagramında çevrimi gösteriniz.

b) Çevrimin en yüksek sıcaklığını hesaplayınız.

c) Çevrimin ısıl verimini belirleyiniz.

2. Gaz Çevrimleri

SORU 9-19: Kapalı bir sistemde 0.003 kg havayla gerçekleşen ideal hava çevrimi aşağıdaki üç hal değişiminden oluşmaktadır. Oda sıcaklığındaki özgül ısıları sabit kabul ederek (c_p=1.005kJ/kgK ve c_v=0.718kJ/kgK);

1-2: 95kPa basınç ve 17°C sıcaklıktan; 380kPa basınca kadar sabit hacimde sisteme ısı girişi;

2-3: 95kPa'a kadar izantropik genişleme;

3-1: Sabit basıçta ısı çıkışıyla sistemin ilk haline dönmesi.

a) P-v ve T-s diyagramında çevrimi gösteriniz.

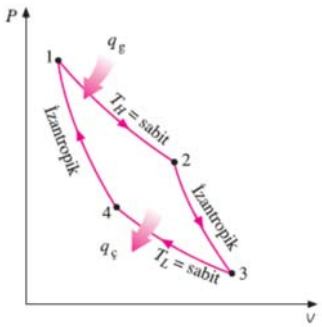
b) Çevrimin net işini kJ olarak hesaplayınız.

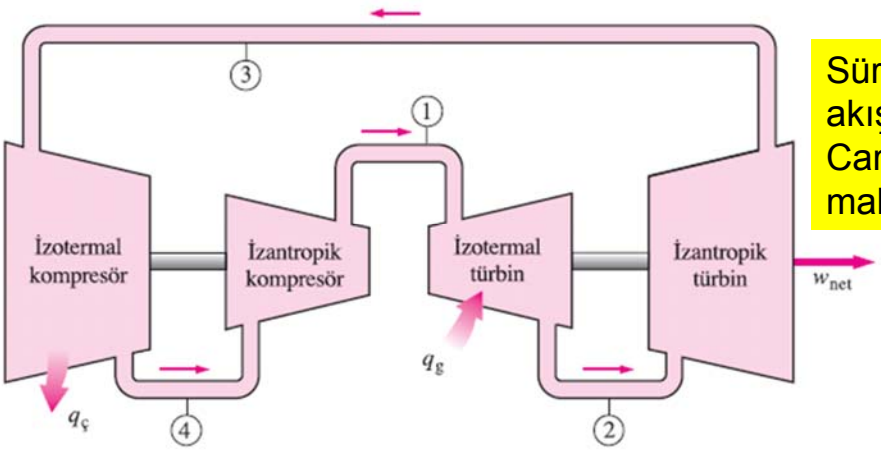
c) Çevrimin ısıl verimini belirleyiniz.

2. Gaz Çevrimleri – Carnot Çevrimi ve Önemi

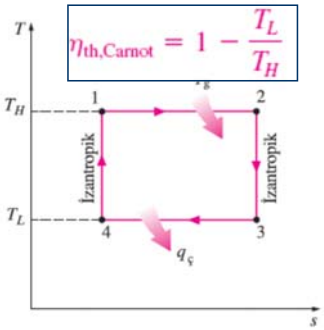
Carnot çevrimi tümden tersinir dört hal değişiminden oluşur. Bunlar, sabit sıcaklıkta (izotermal) sisteme ısı girişi, sabit entropide (izantropik) genişleme, sabit sıcaklıkta sistemden ısı çıkışı ve sabit entropide sıkıştırmadır.

İdeal ve Gerçek Çevrimler İçin: *Sisteme ısının sağlandığı ortamın ortalama sıcaklığı yükseldikçe veya sistemden ısının atıldığı ortamın ortalama sıcaklığı düştükçe, ısıl verim artmaktadır.*





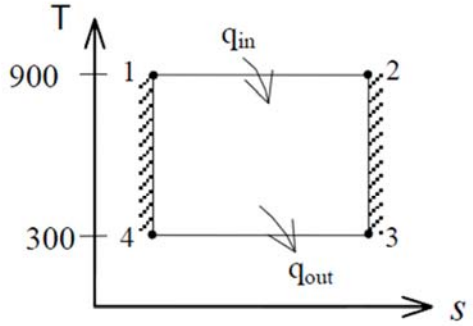
Sürekli-akışlı bir Carnot makinesi.



Carnot çevriminin *P-v* ve *T-s* diyagramları.

2. Gaz Çevrimleri – Carnot Çevrimi ve Önemi

ÖRNEK: Kapalı bir sistemde 0.0003 kg havayla gerçekleşen bir Carnot çevriminin sıcaklık sınırları 300K ve 900K; en düşük ve en yüksek basınçlar 20kPa ve 2000kPa'dır. Sabit özgül ısılar kabulü ile çevrimin net işini bulunuz. (Havaya ait R=0.287kJ/kgK; c_p=1.005kJ/kgK ve c_v=0.718kJ/kgK olarak verilmektedir.)



Çözüm:

$$\frac{T_2}{T_3} = \left(\frac{P_2}{P_3}\right)^{(k-1)/k}$$

$$P_2 = P_3\left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{k/(k-1)} = (20\text{ kPa})\left(\frac{900\text{ K}}{300\text{ K}}\right)^{1.4/0.4} = 935.3\text{ kPa}$$

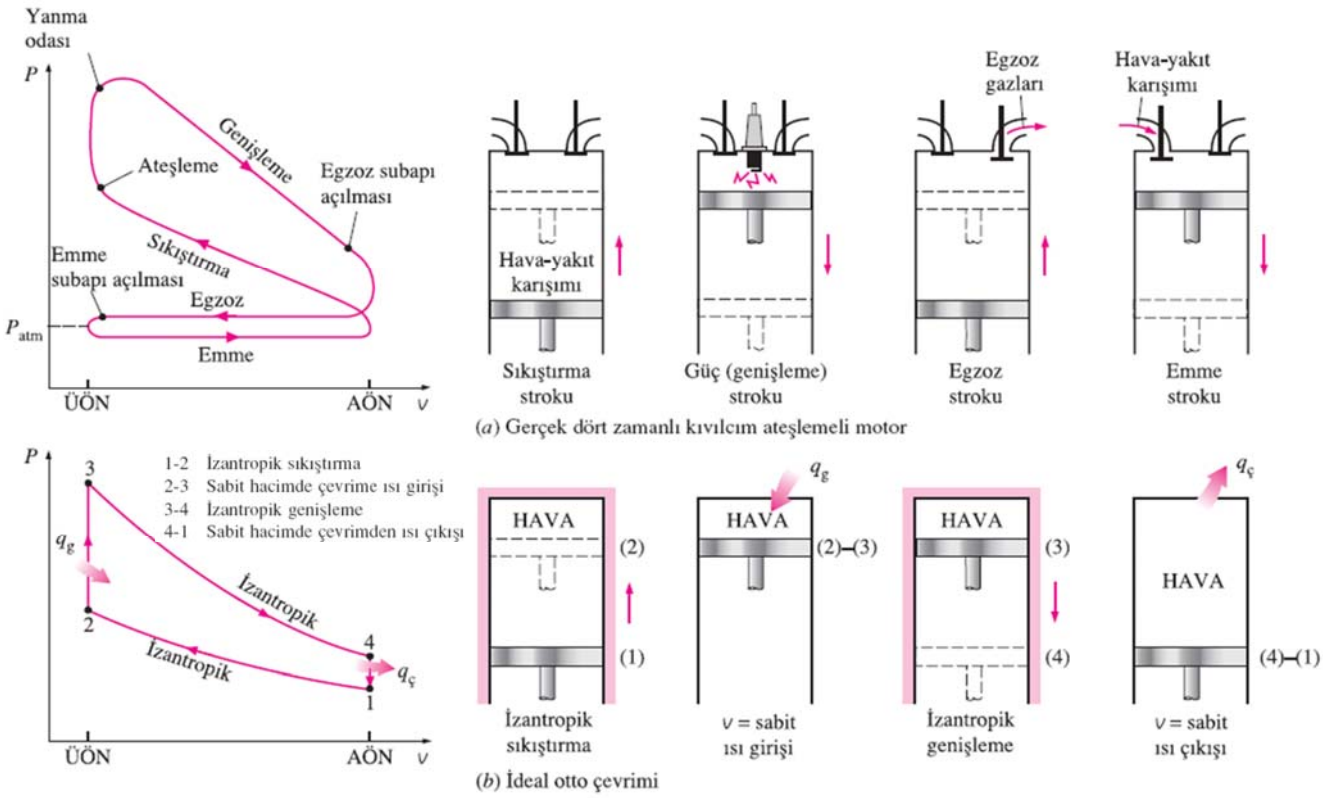
$$s_2 - s_1 = c_p \ln\frac{T_2}{T_1}^{\nearrow 0} - R\ln\frac{P_2}{P_1} = -(0.287\text{ kJ/kg}\cdot\text{K})\ln\frac{935.3\text{ kPa}}{2000\text{ kPa}} = 0.2181\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$$Q_{in} = mT_H(s_2 - s_1) = (0.003\text{ kg})(900\text{ K})(0.2181\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}) = 0.5889\text{ kJ}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300\text{ K}}{900\text{ K}} = 66.7\%$$

$$W_{net,out} = \eta_{th}Q_{in} = (0.667)(0.5889\text{ kJ}) = \mathbf{0.393\ \ kJ}$$

2.1. Otto Çevrimi

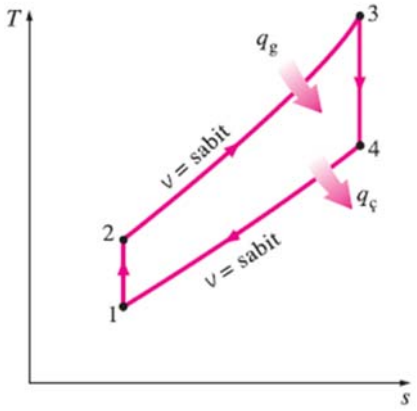


Buji-ateşlemeli motorların ideal ve gerçek çevrimleriyle *P-v* diyagramları

2.1. Otto Çevrimi

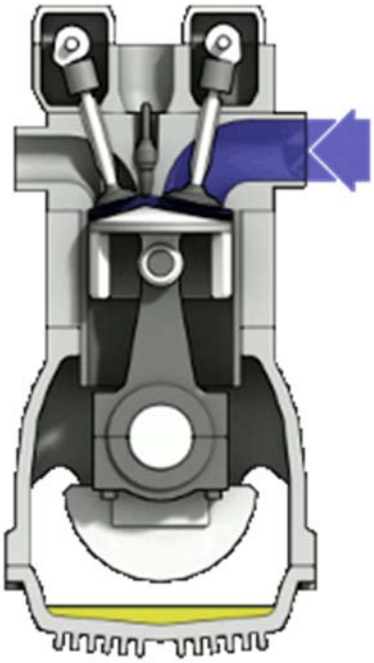
Dört zamanlı çevrim
1 çevrim = 4 strok = 2 devir
İki zamanlı çevrim
1 çevrim= 2 strok = 1 devir

1-2 İzantropik sıkıştırma
2-3 Sabit hacimde çevrime ısı girişi
3-4 İzantropik genişleme
4-1 Sabit hacimde çevrimden ısı çıkışı

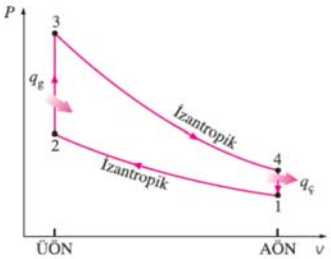


İdeal Otto çevriminin *T-s* diyagramı

1



2.1. Otto Çevrimi



$$(q_g - q_ç) + (w_g - w_ç) = \Delta u$$

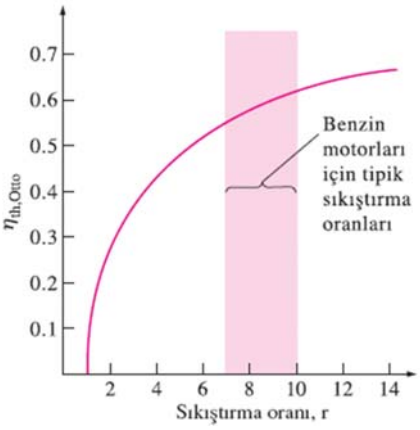
$$q_g = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2)$$

$$q_ç = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1)$$

$$\eta_{th,Otto} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)}$$

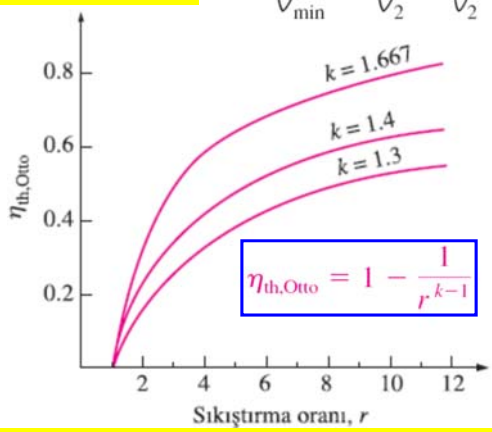
$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \frac{T_4}{T_3}$$

Sıkıştırma oranı $r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2}$



Otto motorlarında sıkıştırma oranı, kendiliğinden tutuşma ve motor vuruntusu nedeniyle sınırlandırılır.

İş akışkanının özgül ısılarının oranı *k* büyüdükçe ideal Otto çevriminin ısıl verimi artar.



İdeal Otto çevriminin ısıl veriminin sıkıştırma oranıyla değişimi.

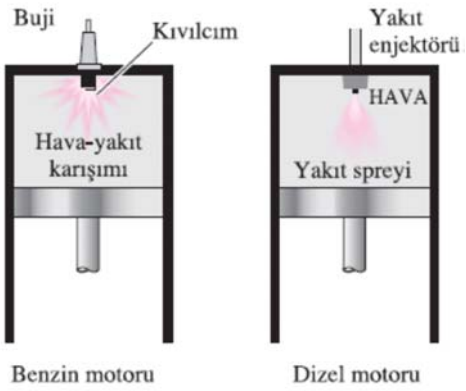
2.1. Otto Çevrimi

SORU 9-32: İdeal bir Otto çevriminin sıkıştırma oranı 8'dir. Sıkıştırma işleminin başlangıcında havanın basıncı 95kPa; sıcaklığı 27°C olup, sabit hacimde çevrime ısı girişi 750kJ/kg'dır. Özgül ısıların sıcaklıkla değişimini dikkate alarak (Tablo A-17);

a) Çevrime ısı girişi sonunda sıcaklık ve basıncı;
b) Çevrimin net işini;
c) Isıl verimini;
d) Ortalama efektif basıncını hesaplayınız.
e) Aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan Carnot çevriminin ısıl verimini hesaplayınız.

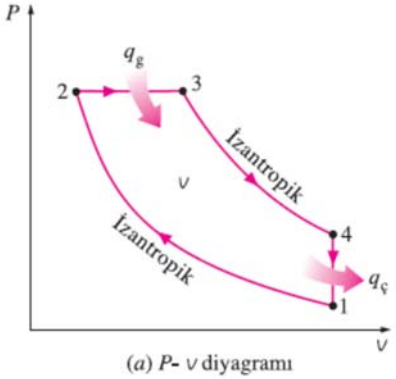
2.2. Dizel Çevrimi

Dizel motorlarında , sıkıştırma stroku süresince yalnızca hava sıkıştırıldığından, kendiliğinden tutuşma olasılığı yoktur. Bu yüzden diesel motorları, çok daha yüksek sıkıştırma oranlarında (tipik olarak 12 ile 24 aralığında) çalışacak şekilde tasarlanırlar.

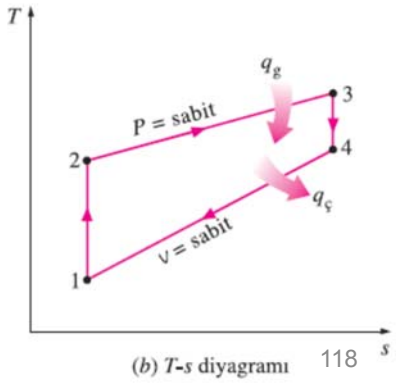


Dizel motorlarında bujinin yerini yakıt enjektörü almış olup, sıkıştırma stroku süresince yalnızca hava sıkıştırılır.

- **1-2** İzantropik sıkıştırma
- **2-3** Sabit basınçta ısı geçişi
- **3-4** İzantropik genişleme
- **4-1** Sabit hacimde ısı atılması

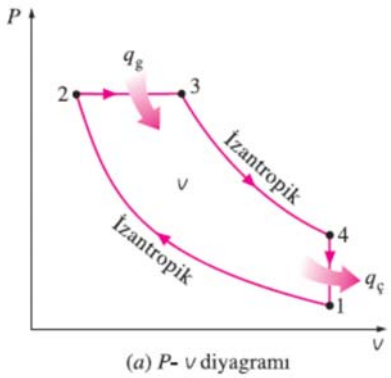


(a) P- v diyagramı

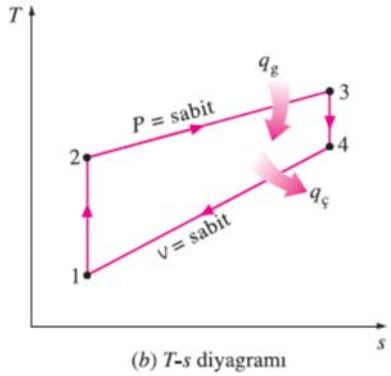


(b) T-s diyagramı

2.2. Dizel Çevrimi



(a) P- v diyagramı



(b) T-s diyagramı

$$q_g - w_{b,ç} = u_3 - u_2 \rightarrow q_g = P_2(v_3 - v_2) + (u_3 - u_2)$$
$$= h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2)$$

$$-q_ç = u_1 - u_4 \rightarrow q_ç = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1)$$

$$\eta_{th,Diesel} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{kT_2(T_3/T_2 - 1)}$$

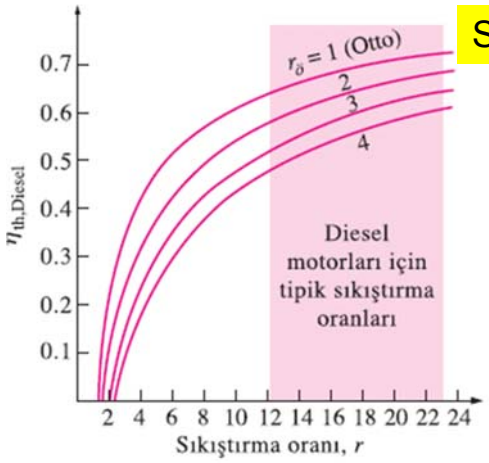
Kesme oranı $r_c = \frac{V_3}{V_2} = \frac{v_3}{v_2}$

Sıkıştırma oranı $r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2}$

$$\eta_{th,Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}\left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)}\right]$$

aynı sıkıştırma oranı için

$$\eta_{th,Otto} > \eta_{th,Diesel}$$



İdeal Diesel çevriminin ısıl veriminin, sıkıştırma oranına ve kesme oranına göre değişimi (k = 1.4).

2.2. Dizel Çevrimi

SORU 9-47: Havayla çalışan ideal bir Dizel çevriminin sıkıştırma oranı 16; ön genişleme oranı 2'dir. Sıkıştırma işleminin başlangıcında havanın basıncı 95kPa; sıcaklığı 27°C'dir. Özgül ısıların sıcaklıkla değişimini dikkate alarak (Tablo A-17);

a) Çevrime ısı girişi sonunda sıcaklık ve basıncı;

b) Çevrimin net işini;

c) Isıl verimini;

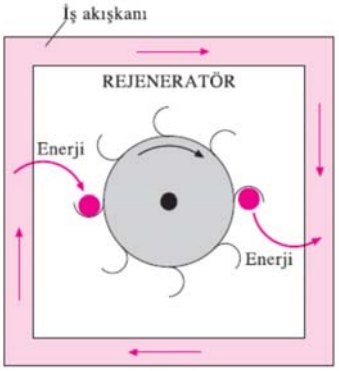
d) Ortalama efektif basıncını hesaplayınız.

e) Aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan Carnot çevriminin ısıl verimini hesaplayınız.

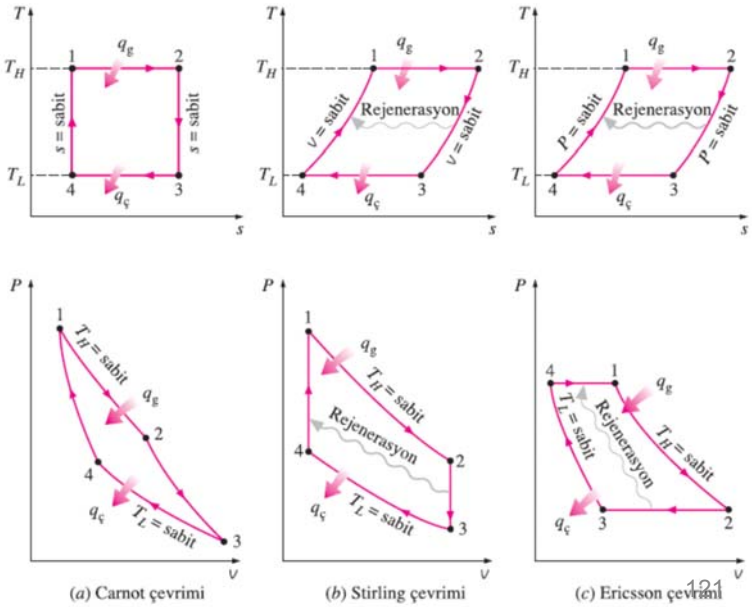
2.3. Stirling ve Ericsson Çevrimleri

Stirling çevrimi

1-2 *T* = *sabit*, genişleme (dış kaynaktan sisteme ısı girişi)
2-3 *v* = *sabit*, rejenerasyon (iş akışkanından rejeneratöre sistem içi ısı geçişi)
3-4 *T* = *sabit*, sıkıştırma (sistemden dış ortamdaki kuyuya ısı atılışı)
4-1 *v* = *sabit*, rejenerasyon (rejeneratörden iş akışkanına sistem içi ısı geçişi)



Rejeneratör, iş akışkanından çevrimin bir bölümünde enerji alıp, diğer bir bölümünde bu enerjiyi iş akışkanına (faizsiz olarak) tekrar geri veren bir ısı değiştiricisidir.



(*a*) Carnot çevrimi (*b*) Stirling çevrimi (*c*) Ericsson çevrimi

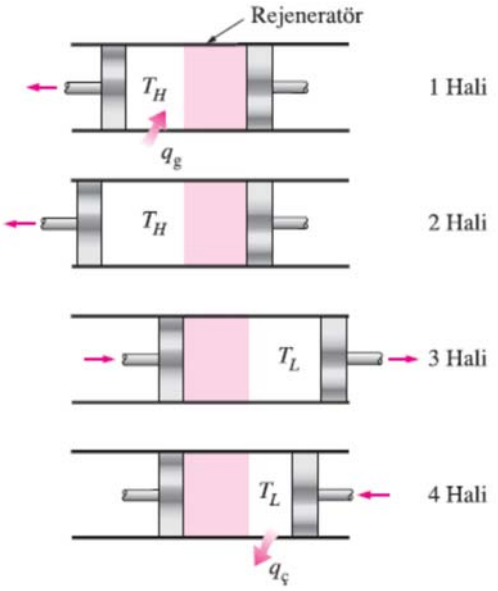
2.3. Stirling ve Ericsson Çevrimleri

Stirling ve Ericsson çevrimlerinin verdiği mesaj şudur :
Rejenerasyon verimliliği artırabilir.

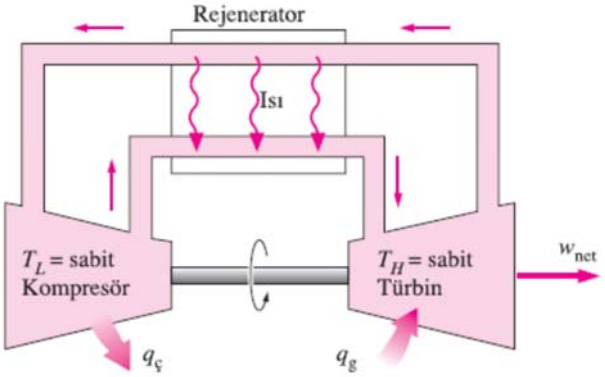
Stirling ve Ericsson çevrimlerinin her ikisi de Carnot çevrimi gibi tümden tersinirdir

$$\eta_{th,Stirling} = \eta_{th,Ericsson} = \eta_{th,Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Ericsson çevrimi, Stirling çevrimine çok benzerdir. Stirling çevriminde yer alan iki sabit hacimdeki hal değişiminin yerini bu çevrimde iki sabit basınçta hal değişimi almaktadır.



Stirling çevriminin işleyişi.



Sürekli-akışlı bir Ericsson motoru.

2.3. Stirling ve Ericsson Çevrimleri

Stirling ve Ericsson çevrimlerinin uygulamada gerçekleştirilmesi zordur. Çünkü rejeneratör de dahil olmak üzere, tüm elemanlardan ısı geçişli diferansiyel bir sıcaklık farkında gerçekleşmektedir.

Isı geçişlerinin gerçekleşmesi için sonsuz büyüklükte yüzey alanları veya sonsuz uzunlukta süre gerekmektedir. Bu sınırlamalar nedeniyle Stirling ve Ericsson çevrimleri uzun süredir yalnızca kuramsal açıdan ilgi çekmiştir. Fakat daha yüksek verime sahip olmaları ve emisyon kontrolünün daha kolay yapılabilir olması, son zamanlarda bu çevrimlere olan ilgiyi giderek artırmaktadır. Ford Motor şirketi, General Motors şirketi ve Hollanda'daki Phillips Araştırma Laboratuvarlarında, kamyonlar, otobüsler ve hatta otomobiller için uygun Stirling motorları başarıyla gerçekleştirilmiştir. Fakat bu motorların benzin ve diesel motorlarıyla rekabet edebilmesi için henüz daha çok araştırma ve geliştirmeye gerek vardır.

2.3. Stirling ve Ericsson Çevrimleri

Stirling ve Ericsson motorlarının her ikisi de dıştan yanmalı motorlardır.

1. **Dıştan yanmanın sağladığı bazı üstünlükler vardır.**
2. **Isıl enerji kaynağı olarak çok çeşitli yakıtlar kullanılabilir.**
3. **Yanma için daha uzun süre harcanabilir. Böylece yanma daha iyi tamamlanabilir ve buna bağlı olarak hem havayı kirletme oranı azaltılırken hem de yakıtın enerjisinden daha iyi yararlanılır.**
4. **Bu motorlar kapalı bir çevrime göre çalışabilirler. Böylece kararlılık, kimyasal reaksiyona girmeme, ısıl iletkenlik gibi özellikler bakımından en uygun iş akışkanı çevrimde kullanılabilir.**
5. **Hidrojen ve helyum gazları, bu motorlarda yaygın olarak kullanlan iş akışkanlarıdır.**
6. **Uygulamadaki fiziksel sınırlamalar ve zorluklara karşın, Stirling ve Ericsson çevrimleri tasarım mühendislerine, rejenerasyonun verimi artırabileceğine ilişkin güçlü bir mesaj vermektedir.**
7. **Günümüz gaz türbinlerinde ve buharlı güç santrallerinde rejenerasyondan yaygın olarak yararlanılması bir rastlantı değildir.**

Brayton çevrimi, Ericsson çevrimine oldukça benzemektedir.

2.3. Stirling ve Ericsson Çevrimleri

SORU 9-62: İş akışkanı olarak helyum kullanan bir ideal Ericsson çevriminin çalıştığı sıcaklık sınırları 300K ve 1650K; basınç sınırları da 175kPa ve 1400kPa'dır. İş akışkanının kütlesel debisi 7kg/s olduğuna göre (sabit özgül ısılar kabulü ile c_p=5.1927kJ/kgK ve c_v=3.1156kJ/kgK);

a) Çevrimin ısıl verimini;

b) Rejeneratörde birim zamanda meydana gelen ısı geçiş miktarını;

c) Çevrimin net güç çıkışını bulunuz.

d) Aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan Carnot çevriminin ısıl verimini hesaplayınız.

2.3. Stirling ve Ericsson Çevrimleri

SORU 9-64: İş akışkanı olarak helyum kullanan bir ideal Stirling motorunun çalıştığı sıcaklık sınırları 300K ve 2000K; basınç sınırları da 150kPa ve 3MPa'dır. İş akışkanının kütlesel debisi 0.12kg/s olduğuna göre (sabit özgül ısılar kabulü ile c_p=5.1927kJ/kgK ve c_v=3.1156kJ/kgK);

a) Çevrimin ısıl verimini;

b) Rejeneratörde birim zamanda meydana gelen ısı geçiş miktarını;

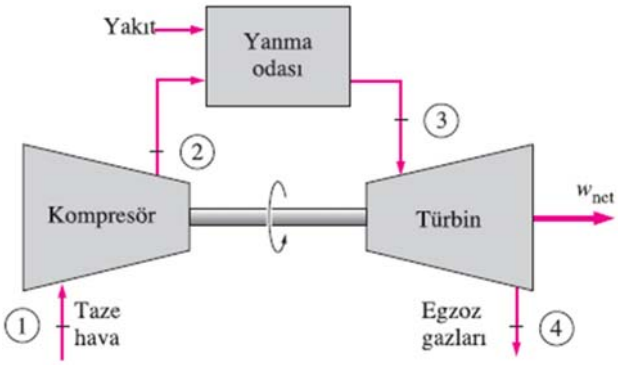
c) Çevrimin güç çıkışını bulunuz.

d) Aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan Carnot çevriminin ısıl verimini hesaplayınız.

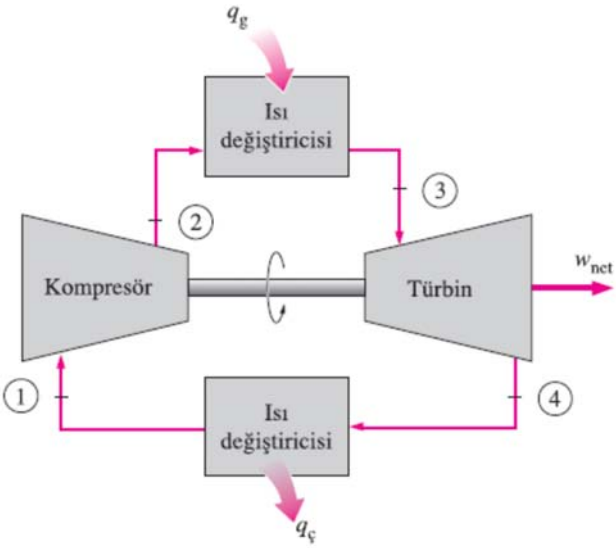
2.4. Brayton Çevrimi (Gaz Türbinleri)

Yanma işleminin yerini sabit basınçta bir dış kaynaktan ısı girişi, egzoz işleminin yerini de sabit basınçta çevre havaya ısı atılması işlemi alır. İş akışkanının kapalı bir çevrimde dolaştığı bu ideal çevrime **Brayton** çevrimi denir ve aşağıda sıralanan dört içten tersinir hal değişiminden oluşur:

1-2 İzantropik sıkıştırma (bir kompresörde)
2-3 Sabit basınçta ısı girişi
3-4 İzantropik genişleme (bir türbinde)
4-1 Sabit basınçta ısı çıkışı



Açık çevrime göre çalışan bir gaz türbini.

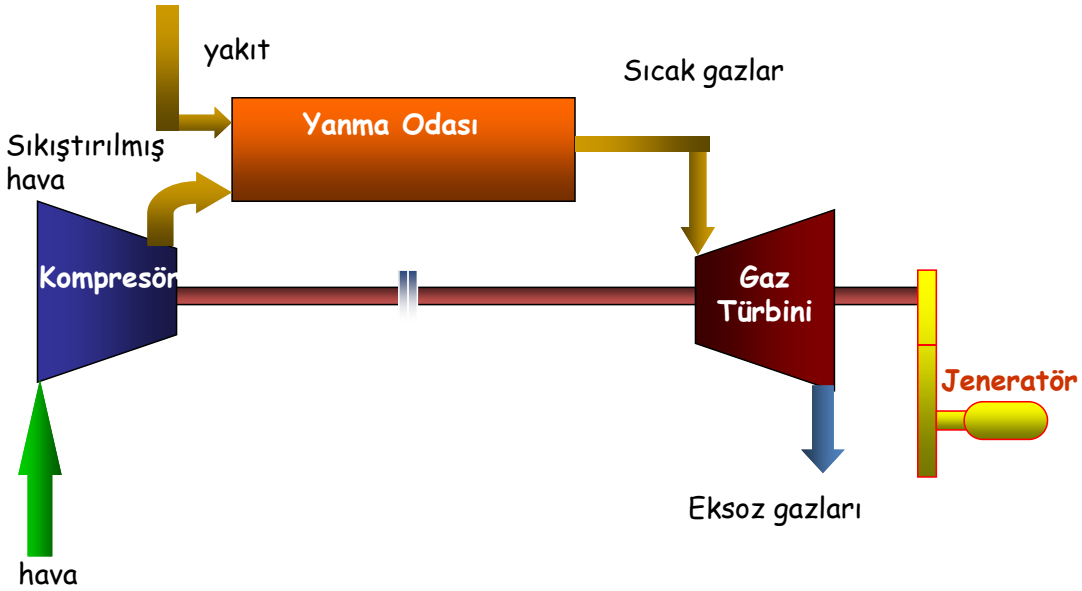


Kapalı çevrime göre çalışan bir gaz türbini.

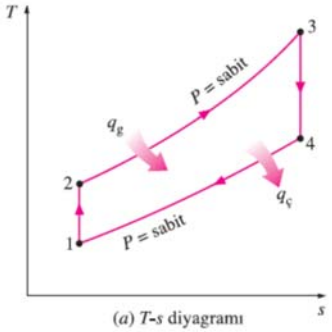
2.4. Brayton Çevrimi (Gaz Türbinleri)

Brayton çevrimi aşağıda sıralanan dört içten tersinir hal değişiminden oluşur:

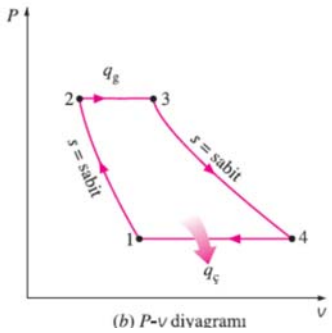
1-2 İzantropik sıkıştırma (bir kompresörde)
2-3 Sabit basınçta ısı girişi
3-4 İzantropik genişleme (bir türbinde)
4-1 Sabit basınçta ısı çıkışı



2.4. Brayton Çevrimi (Gaz Türbinleri)



(a) T-s diyagramı



(b) P-v diyagramı

İdeal Brayton çevriminin T-s ve P-v diyagramları.

$$(q_g - q_ç) + w_g - w_ç) = h_ç - h_g$$

$$q_g = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2)$$

$$q_ç = h_4 - h_1 = c_p(T_4 - T_1)$$

$$\eta_{th,Brayton} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g} = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)}$$

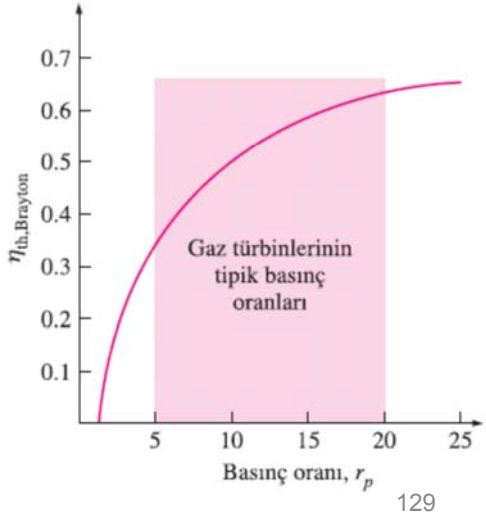
Basınç oranı

$$r_p = \frac{P_2}{P_1}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{(k-1)/k} = \frac{T_3}{T_4}$$

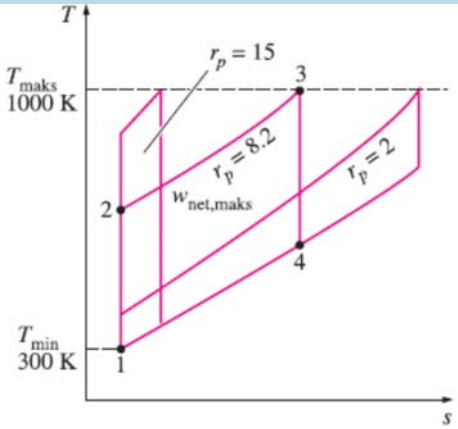
$$\eta_{th,Brayton} = 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}}$$

İdeal Brayton çevriminin ısıl veriminin basınç oranına göre değişimi.



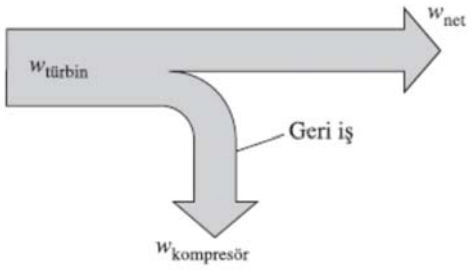
2.4. Brayton Çevrimi (Gaz Türbinleri)

Gaz türbinleri günümüzde yaygın olarak *uçaklarda* ve *elektriksel güç üretiminde* kullanılmaktadır.



Çevrimdeki en yüksek sıcaklık yanma sonunda (3 halinde) oluşmaktadır ve türbin kanat malzemesinin dayanabileceği en yüksek sıcaklıkla sınırlıdır. Bu kısıtlama çevrimin basınç oranını da sınırlamaktadır.

Gaz türbinlerinde hava, yakıtın yanması için gerekli oksitleyiciyi sağlar ve çeşitli elemanlardaki sıcaklıkları güvenli sınırlar içinde tutabilmek için soğutucu görevi yapar. İkinci işlevin yerine getirilebilmesi için, gaz türbinlerinde tam yanma için gerekenden daha fazla hava kullanılır.Kütlesel hava-yakıt oranının 50 veya üzerinde olması olağandır.



Belirli T_{min} ve T_{maks} için Brayton çevriminin net işi artan basınç oranıyla önce artar, $r_p = [(T_{max}/T_{min})^{k/[2(k-1)]}]$, basınç oranında en yüksek değerine ulaşır ve sonra tekrar azalır.

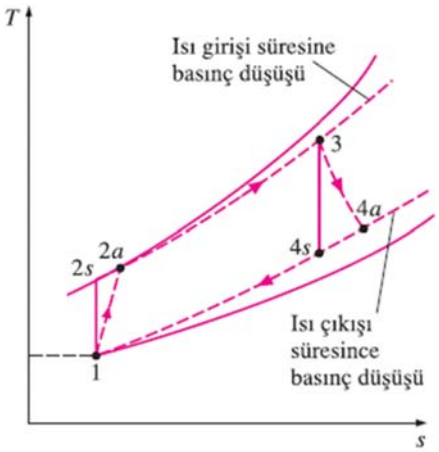
Kompresörü çalıştırmak için kullanılan işin türbin işine oranına, geri iş oranı denir.

2.4. Brayton Çevrimi (Gaz Türbinleri)

1. **Türbin giriş (veya yanma) sıcaklığının artırılması:**
2. **Turbomakinelerin verimlerinin artırılması:**
3. **Temel çevrimde bazı değişikliklerin yapılması:**

Gerçek Gaz Türbini Çevriminin İdeal Çevrimden Farklılığı

Sebepleri: Türbin ve kompresörlerdeki tersinmezlikler, basınç düşüşleri, ısı kayıpları.



Kompresör ve Türbinin adyabatik Verimleri

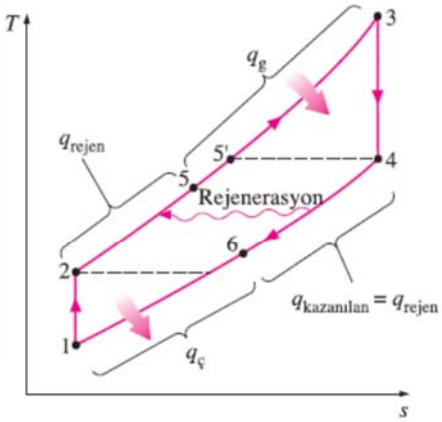
$$\eta_K = \frac{w_s}{w_a} \cong \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \qquad \eta_T = \frac{w_a}{w_s} \cong \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}}$$

Gerçek gaz türbini çevriminin tersinmezlikler nedeniyle ideal Brayton çevriminden sapması.

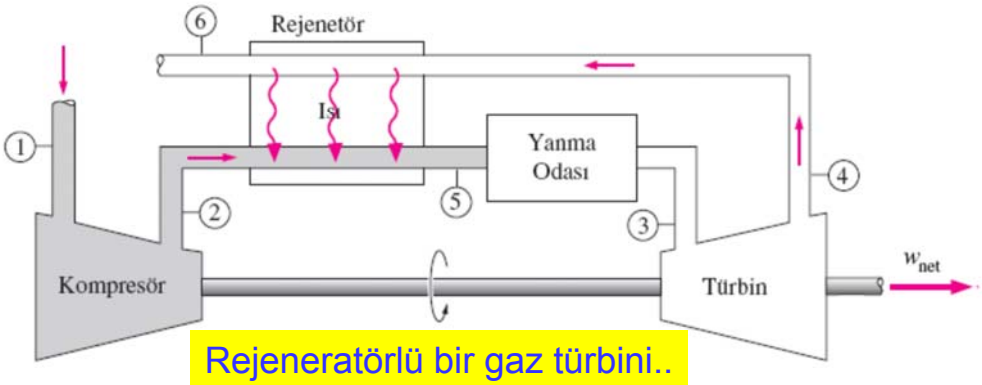
2.4. Brayton Çevrimi (Gaz Türbinleri)

Gaz türbinlerinde türbinden çıkan egzoz gazlarının sıcaklığı, genellikle kompresörden çıkan havanın sıcaklığından çok daha yüksektir. Kompresörden çıkan yüksek basınçlı hava rejeneratör veya rekuperatör adı verilen ters akışlı bir ısı değiştiricisinde türbinden çıkan yanma sonu gazlarıyla ısıtılabilir

Brayton çevriminin ısıl verimi rejeneratör kullanımıyla artar. Çünkü aynı net işi elde etmek için çevrime verilmesi gereken ısı (ve dolayısıyla yakıt) gereksinimi azalır.



Rejenerasyonlu bir Brayton çevriminin T-s diyagramı.



Rejeneratörlü bir gaz türbini..

2.4. Brayton Çevrimi (Gaz Türbinleri)

SORU 9-74: İş akışkanı hava olan basit bir Brayton çevriminin basınç oranı 12; kompresör giriş sıcaklığı 1000K'dir. Türbin ve kompresörün izentropik verimlerinin a) %100 ve b) %70 olması durumlarında, 70MW net güç için havanın sahip olması gereken kütlesel debiyi bulunuz. Oda sıcaklığındaki özgül ısıların sabit olduğunu kabul ediniz. (c_p=1.005kJ/kgK ve c_v=0.718kJ/kgK)

2.4. Brayton Çevrimi (Gaz Türbinleri)

SORU 9-75: Bir gaz türbinli güç santrali basit ideal Brayton çevrimine göre çalışmakta ve iş akışkanı olarak hava kullanılmaktadır. Hava kompresöre 95kPa basınç ve 290K sıcaklıkta; türbine ise 760kPa basınç ve 1100K sıcaklıkta girmektedir.

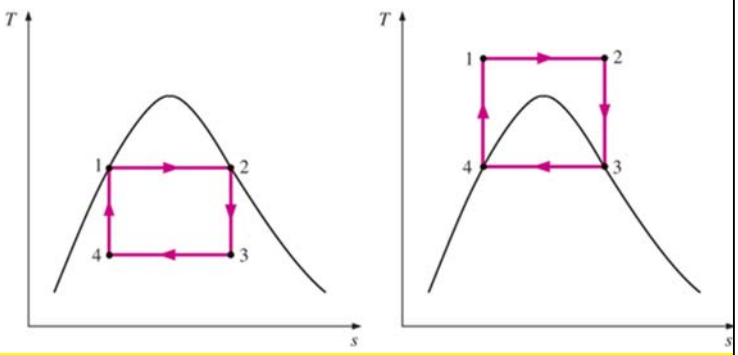
a) Oda sıcaklığındaki özgül ısıların sabit olduğunu varsayarak;
b) Özgül ısıların sıcaklıkla değişimini dikkate alarak santralin gücünü bulunuz.

3. Buhar Çevrimleri

Belirli iki sıcaklık sınırı arasında çalışan en yüksek verimli çevrim Carnot çevrimidir buharlı güç santralleri için ideal bir çevrim değildir. Çünkü;

1-2 hal değişimi: Çevrimde kullanılabilecek en yüksek sıcaklığı önemli ölçüde kısıtlar (bu değer su için 374°C'dir). Çevrimin en yüksek sıcaklığının bu şekilde sınırlanması, ısıl verimin de sınırlanması anlamına gelir. 2-3 hal değişimi. Genişleme işlemi sırasında buharın kuruluk derecesi azalır. Sıvı zerreciklerinin türbin kanatlarına çarpması, türbin kanatlarında aşınmaya ve yıpranmaya yol açar. 4-1hal değişimi: İzantropik sıkıştırma işlemi sıvı-buhar karışımının doymuş sıvı haline sıkıştırılmasını gerektirmektedir. Bu işlemle ilgili iki zorluk vardır. Birincisi, yoğuşmanın 4 halinde istenen kuruluk derecesine sahip olarak son bulacak şekilde hassas olarak kontrol edilmesi kolay değildir. İkincisi, iki fazlı akışkanı sıkıştıracak şekilde bir kompresörün tasarlanması uygulamada zordur

1-2 Kazanda izotermal ısı geçişi
2-3 Türbinde izantropik sıkıştırma
3-4 Kondenserde izotermal ısı çıkışı
4-1 Kompresörde izantropik sıkıştırma



İki Carnot buhar çevriminin T-s diyagramları

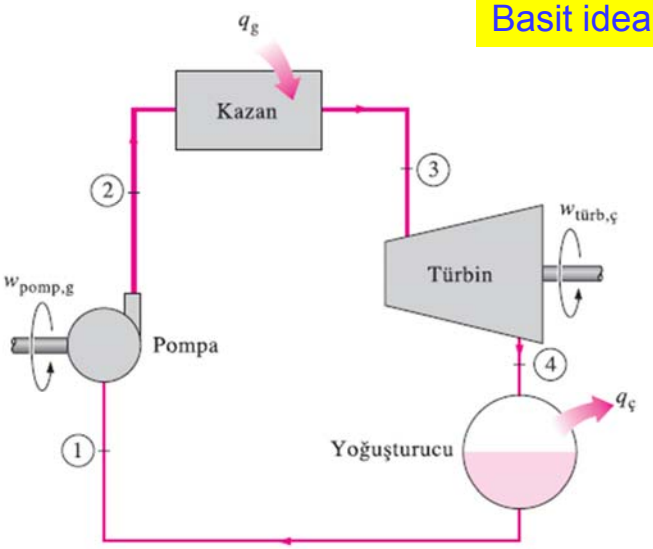
3.1. Buhar Çevrimleri – Rankine Çevrimi

Carnot çevriminin uygulanmasında karşılaşılan sorunların bir çoğu, kazanda suyun kızgın buhar haline ısıtılması ve yoğuşturucuda doymuş sıvı haline soğutulmasıyla giderilebilir.

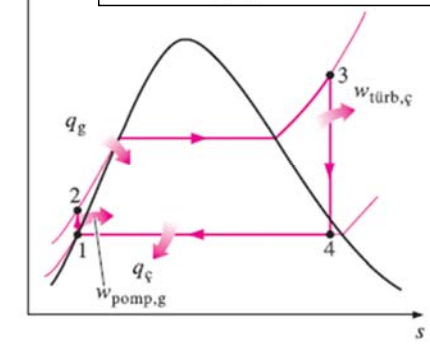
Oluşan bu çevrim, buharlı güç santrallerinin ideal çevrimi olan **Rankine çevrimidir.**

İdeal Rankine çevrimi, içten tersinmezliklerin olmadığı dört hal değişiminden oluşur:

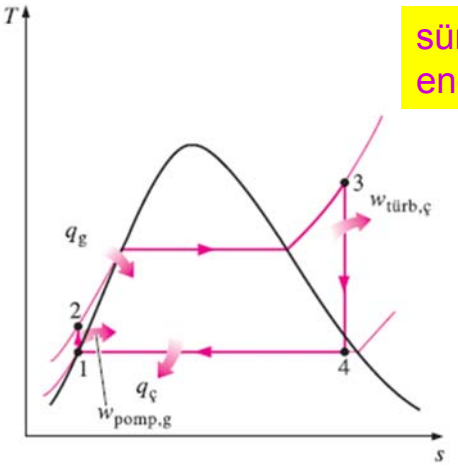
Basit ideal Rankine çevrimi



1-2	Pompada izantropik sıkıştırma
2-3	Kazanda sabit basınçta ısı girişi
3-4	Türbinde izantropik genişleme
4-1	Yoğuşturucuda sabit basınçta ısı atılması



3.1. Buhar Çevrimleri – Rankine Çevrimi



sürekli akışlı enerji denklemi

$$(q_g - q_ç) + (w_g - w_ç) = h_{çıkış} - h_{giriş}$$

Pompa ($q = 0$): $w_{pomp,g} = h_2 - h_1$

veya,

$$w_{pomp,g} = v(P_2 - P_1)$$

burada

$$h_1 = h_{f\,@\,P_1} \quad \text{ve} \quad v \cong v_1 = v_{f\,@\,P_1}$$

dir.

Kazan ($w = 0$): $q_g = h_3 - h_2$

Türbin ($q = 0$): $w_{türb,ç} = h_3 - h_4$

Yoğuşturucu ($w = 0$): $q_ç = h_4 - h_1$

Rankine çevriminin *ısıl verimi*

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada

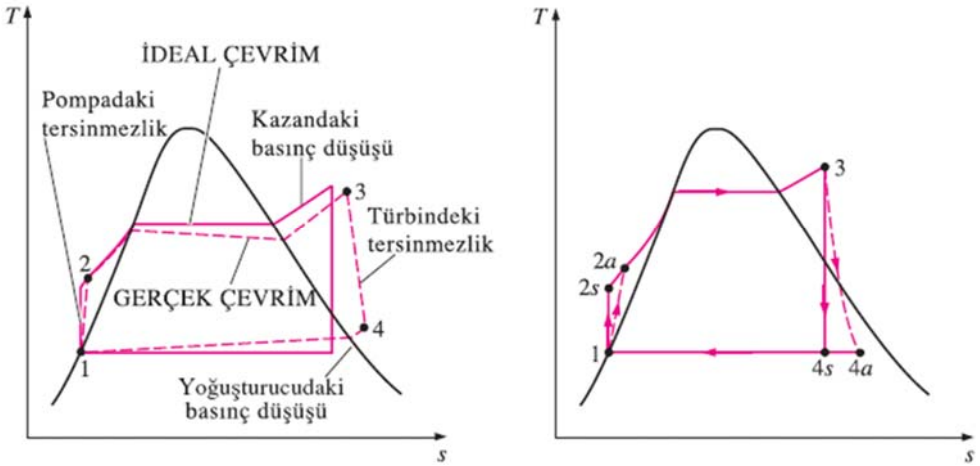
$$w_{net} = q_g - q_ç = w_{türb,ç} - w_{pomp,g}$$

olmaktadır.

Isıl verim aynı zamanda, çevrime ısı girişini gösteren eğrinin altında kalan alana oranı şeklinde de yorumlanabilir.

3.1. Buhar Çevrimleri – Rankine Çevrimi

Çeşitli tersinmezliklerden dolayı gerçek buharlı güç santrallerinin çevrimi, ideal Rankine çevriminden farklıdır.
Sürtünme ve çevreye olan ısı kayıpları tersinmezliklerin başlıca iki kaynağıdır.



İzantropik verimler

$$\eta_P = \frac{w_s}{w_a} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$$

$$\eta_T = \frac{w_a}{w_s} = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}}$$

(a) Gerçek buharlı güç çevriminin ideal Rankine çevriminden farklılığı. (b) Pompa ve türbindeki tersinmezliklerin ideal Rankine çevrimi üzerindeki etkileri.

3.1. Buhar Çevrimleri – Rankine Çevrimi

SORU 10-15: 210 MW gücünde buharlı güç santrali, basit Rankine çevrimine göre çalışmaktadır. Buhar türbine 10 Mpa basınç ve 500°C sıcaklıkta girmekte ve yoğuşturucuda 10 kPa basınçta soğutulmaktadır. Çevrimi doymuş sıvı ve doymuş buhar eğrilerinin yer aldığı bir T-s diyagramında göstererek;

a) Türbin çıkışında buharın kuruluk derecesini,

b) Çevrimin ısıl verimini,

c) Buharın kütlesel debisini bulunuz.

3.1. Buhar Çevrimleri – Rankine Çevrimi

SORU 10-21: Basit ideal Rankine çevrimine göre çalışan bir buharlı güç santralinin net gücü 45 MW'tır. Su buharı türbine 7 Mpa basınç ve 500°C sıcaklıkta girmekte, yoğuşturucuda 10 kPa basınçta soğutulmaktadır. Yoğuşturucunun soğutulmasında kullanılan göl suyunun yoğuşturucu borularındaki kütlesel debisi 2000 kg/s'dir. Çevrimi doymuş sıvı ve doymuş buhar eğrilerinin yer aldığı bir T-s diyagramında göstererek;

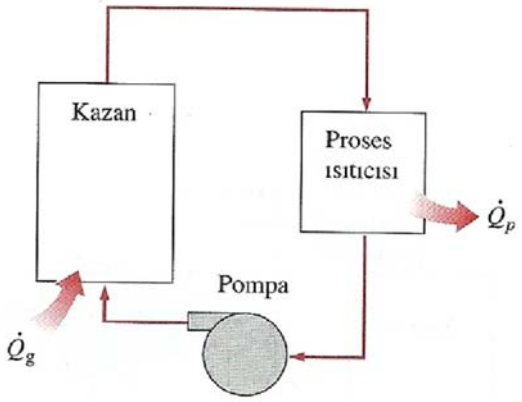
a) Çevrimin ısıl verimini,

b) Buharın kütlesel debisini bulunuz.

c) Soğutma suyunun sıcaklığındaki yükselme miktarını hesaplayınız.

3. 2. Buhar Çevrimleri – Bileşik Isı-Güç Sistemleri

Mühendislik sistemlerinin büyük bir bölümü, enerji girdisi olarak, enerjinin ısıl enerji biçimine gereksinim duyar. Bu ısıya ***proses ısısı*** denir. Bu endüstrilerdeki proses ısısı genellikle 5 ile 7 atm basınç ve 150 ile 200°C sıcaklıklar arasındaki buharla sağlanır. Buharı oluşturmak için gerekli ısı genellikle kömür, petrol, doğal gaz veya başka bir yakıtın bir kazanda yakılmasıyla elde edilir.



Basit bir proses ısı santrali.

Isıl işlemlerin yoğun olduğu endüstriler aynı zamanda büyük miktarlarda elektrik gücü de tüketirler.

Varolan iş potansiyelini atık ısı olarak atmak yerine, güç üretimi için kullanmak yerinde olur.

Belirli endüstriyel işlemler için proses-ısı gereksinimlerini karşılarken, aynı zamanda elektrik de üreten santraller geliştirilmiştir. geliştirilmiştir. Bu santrallere bileşik ısı-güç (kojenerasyon) santralleri denir.

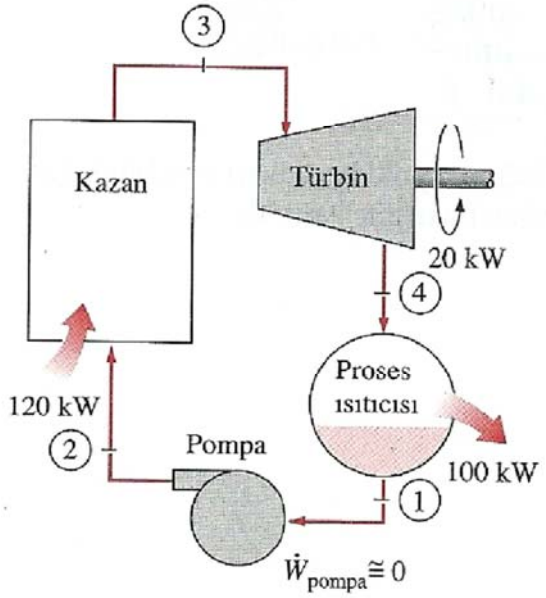
Kojenerasyon: *enerjinin birden fazla yararlı biçiminin (proses ısısı ve elektrik gücü gibi) aynı enerji kaynağından üretilmesi*dir.

3. 2. Buhar Çevrimleri – Bileşik Isı-Güç Sistemleri

Enerjiden yararlanma oranı

$$\epsilon_y = \frac{\text{üretilen net güç + Proses ısısı}}{\text{Girilen toplam ısı}} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{Q}_p}{\dot{Q}_g}$$

$$\epsilon_y = 1 - \frac{\dot{Q}_ç}{\dot{Q}_g}$$

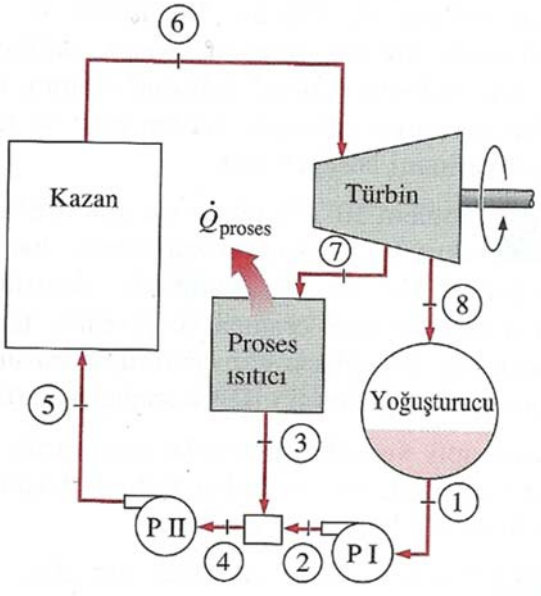


İdeal bileşik ısı-güç (kojenerasyon) santrali.

Buhar türbinli ideal bileşik ısı-güç santralinin enerjiden yararlanma oranı, yüzde 100 olmaktadır.

Gerçek bileşik ısı-güç santrallerinde bu oran yüzde 80 düzeylerindedir.

Bazı yeni bileşik ısı-güç santrallerinde enerjiden yararlanma oranı daha yüksek değerlere de çıkabilmektedir.

3. 2. Buhar Çevrimleri – Bileşik Isı-Güç Sistemleri

SORU 10-66: Su buharı bir bileşik ısı-güç santralinin türbinine 7 MPa basınç ve 500°C sıcaklıkta girmektedir. 30 kg/s olan buhar debisinin dörtte biri, 600 kPa basınçta türbinden ayrılarak ısıl işlemlerde kullanılmaktadır. Buharın geri kalanı, 10 kPa basınca kadar genişlemeye devam etmektedir. Türbinde ayrılarak ısıl işlemlerde kullanılan buhar, yoğuşturulduktan sonra, sabit basınçta kazan besleme suyuyla karıştırılmakta ve karışım 7 MPa kazan basıncına pompalanmaktadır. Borulardaki basınç düşüşü ve ısı kayıpları gözardı edilerek ve türbinle pompanın izantropik olduğu varsayılarak, santralin net gücünü ve enerjiden yararlanma oranını belirleyiniz.