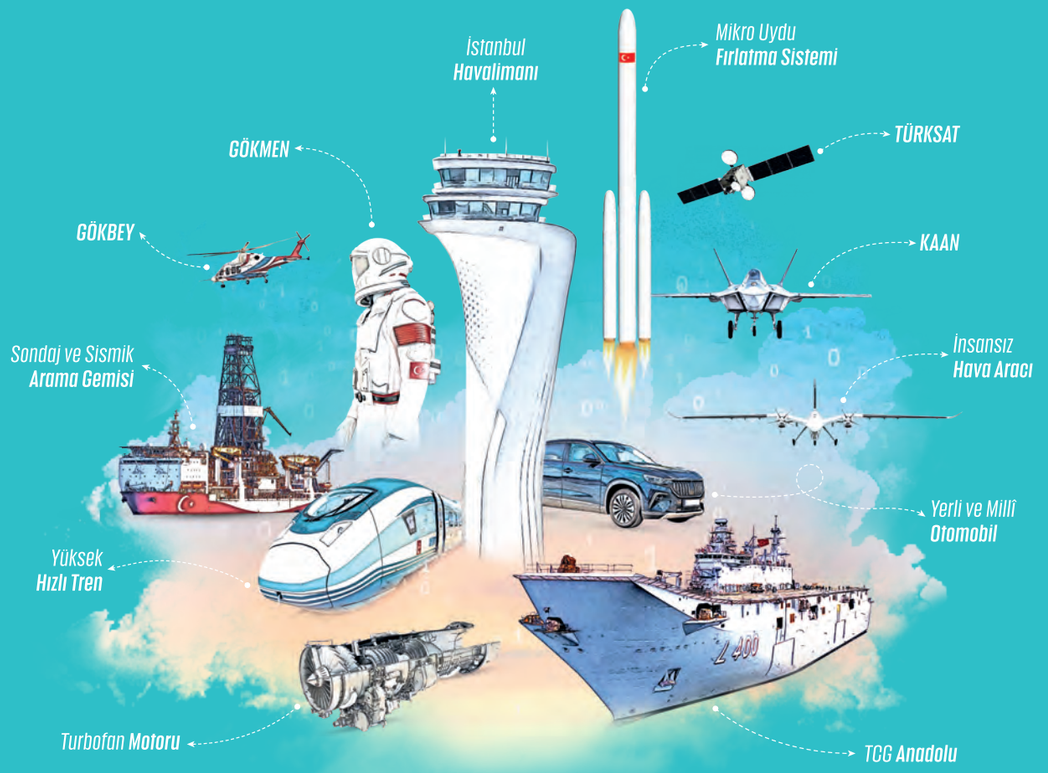
Bu kitaba sığmayan daha neler var!

eba
www.eba.gov.tr

Karekodu okut, bu kitapla ilgili EBA içeriklerine ulaş!

Teknoloji Yolculuğumuz



BU DERS KİTABI MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞINCA ÜCRETSİZ OLARAK VERİLMİŞTİR.
PARA İLE SATILAMAZ.

ISBN: 978-975-11-6952-5

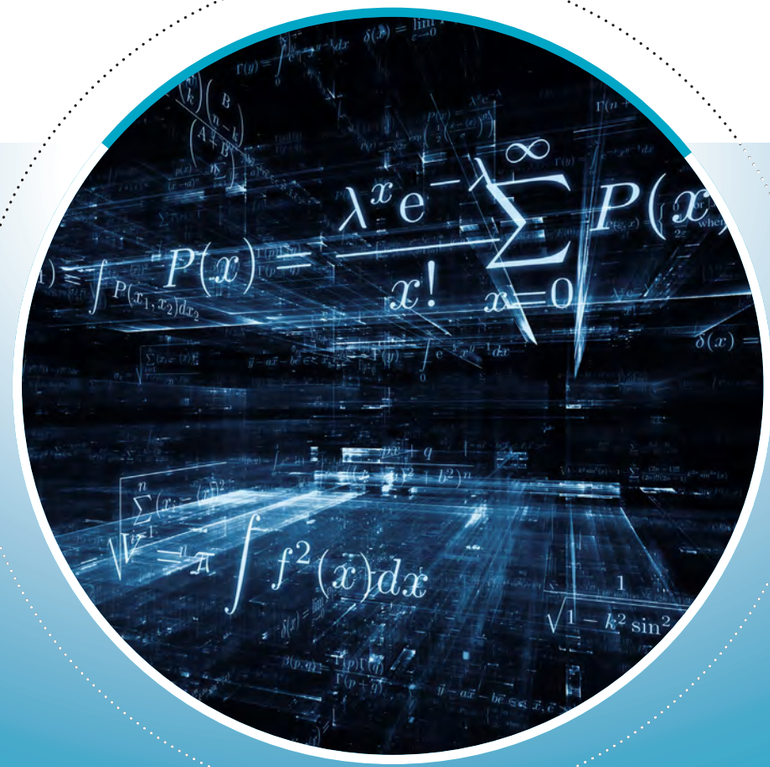
Bandrol Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmeliğin Beşinci Maddesinin İkinci Fıkrası Çerçevesinde Bandrol Taşıması Zorunlu Değildir.

DENİZCİLİK ALANI MEKANİK VE TERMODİNAMİK 11

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

DENİZCİLİK ALANI

MEKANİK VE TERMODİNAMİK



11 DERS MATERYALİ

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

DENİZCİLİK /GEMİ MAKİNELERİ İŞLETME

MEKANİK VE TERMODİNAMİK

11

Ders Materyali

Yazarlar

Bilge KARACA

Cemal KELEŞOĞLU

MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI 8333
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAPLAR DİZİSİ 2225

Her hakkı saklıdır ve Millî Eğitim Bakanlığına aittir. Ders materyalinin metin, soru ve şekilleri kısmen de olsa hiçbir surette alınıp yayımlanamaz.

HAZIRLAYANLAR

Dil Uzmanı

Dr. Nurhan GÜNER

Görsel Tasarım Uzmanı

Hatice DUMLU AK

ISBN: 978-975-11-6952-5

Millî Eğitim Bakanlığının 24.12.2020 gün ve 18433886 sayılı oluru ile Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğünce ders materyali olarak hazırlanmıştır.



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

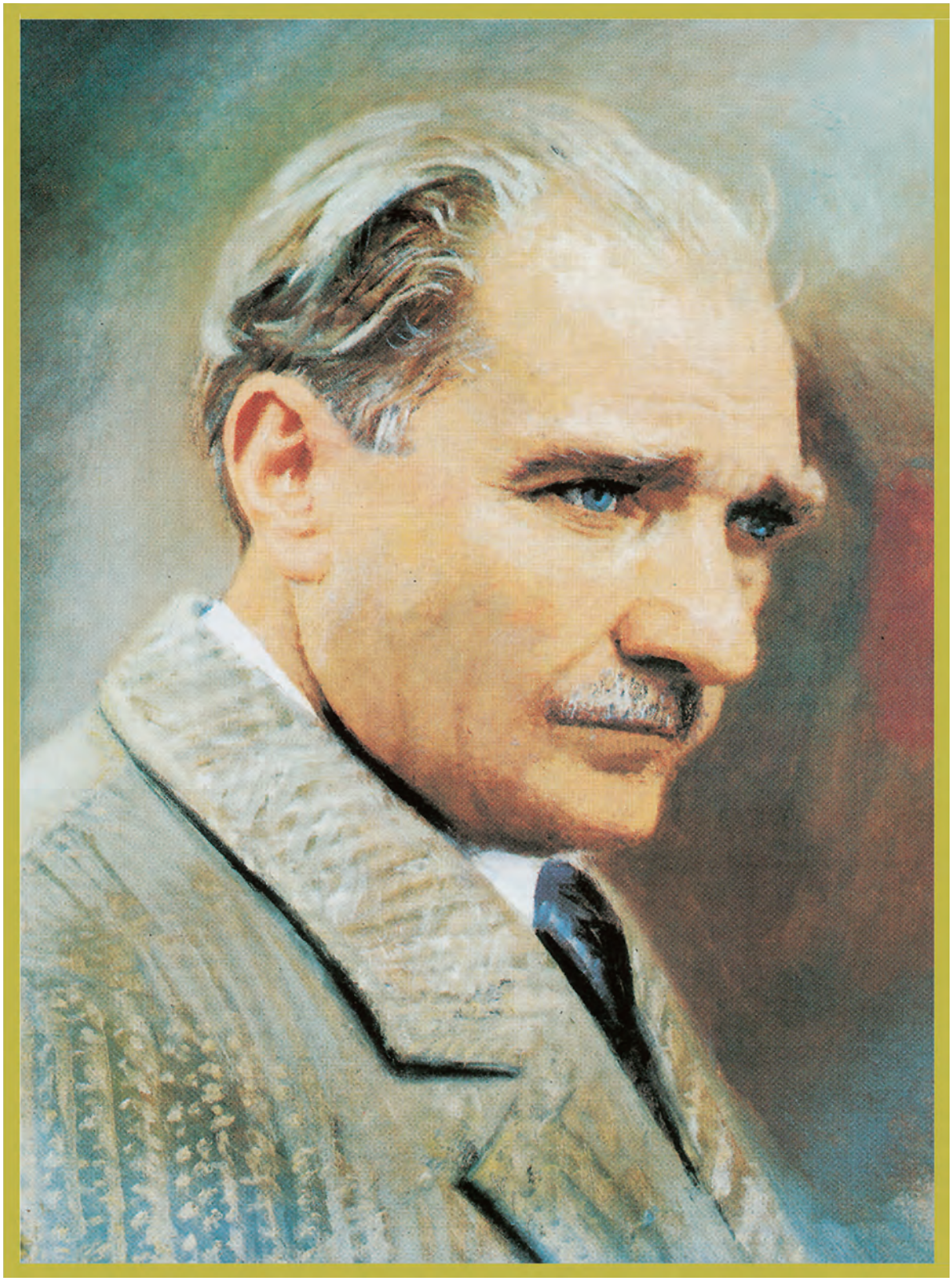
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

DERS MATERYALİNİN TANITIMI 13
KISALTMALAR VE SEMBOLLER 14

1. ÖĞRENME BİRİMİ

1. ÖĞRENME BİRİMİ STATİK 16
1. MOMENT HESAPLAMALARI 18
1.1. Noktaya Göre Moment Alma 19
1.2. Denge Sistemlerine Göre Moment Hesaplama 20
1.3. Dolaylı Yüklere Göre Moment Hesaplama 22
1.4. Açılı Yüklere Göre Moment Hesaplama 23
2. MESNET HESAPLAMA 24
2.1. Mafsallı Mesnetler 24
2.2. Hareketli Mesnetler 26
2.3. Ankastre Mesnetler 27
3. AĞIRLIK MERKEZİ BULMA 28
3.1. Ağırlık Merkezinin Analitik Metotla Bulunması 29
3.2. Ağırlık Merkezinin Grafik Metotla Bulunması 29
3.2.1. Kuvvet Poligonu 29
3.2.2. İp Poligonu 30
3.3. Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması 31
3.3.1. Düzgün Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması 31
3.3.2. İçi Boş Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması 31
3.3.3. Üst Üste Katlanmış Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması 32
3.3.4. Bileşik Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Grafik Metotla Bulunması 32
3.3.5. Bileşik Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Analitik Metotla Bulunması 33
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 36

2. ÖĞRENME BİRİMİ

2. ÖĞRENME BİRİMİ DAYANIM 40
1. DAYANIM VE GERİLİM 40
1.1. Cisimlere Uygulanan Dış Yükler 41
1.1.1. Statik Yükler 41
1.1.2. Periyodik (Dinamik) Yükler 41
1.1.3. Zorlamalar ve Olağanüstü Yükler 41
1.2. Gerilim (Gerilme) 42
1.2.1. Emniyet Katsayısı 42
1.2.2. Emniyetli Gerilim 42
2. BASILMA DAYANIMI (BASMA GERİLİMİ) 43
2.1. Basılmaya Zorlanan Elemanlar 44
2.2. Basılma Dayanımı Hesaplamaları 44
2.2.1. Direkt Yüklere Göre Basılma Dayanımının Hesaplanması 44
2.2.2. Dolaylı Yüklere Göre Basılma Dayanımının Hesaplanması 45
3. ÇEKİLME DAYANIMI 46
3.1. Hooke Kanunu 46
3.2. Çekilmeye Zorlanan Elemanlar ve Çekilme Dayanımı Hesaplamaları 48

İÇİNDEKİLER

2. ÖĞRENME BİRİMİ

4. KESİLME DAYANIMI 50
4.1. Kesilmeye Zorlanan Elemanlar ve Kesilme Dayanımının Hesaplanması 51
5. EĞİLME DAYANIMI 53
5.1. Eğilmede Yükleme Çeşitleri 55
5.1.1. Noktasal Yükler 55
5.1.2. Yayılı Yükler 55
5.1.3. Karışık Yükleme 55
5.2. Eğilmede Atalet ve Dayanım Momenti Hesaplamaları 56
5.3. Eğilme Dayanımı Hesaplamaları ve Eğilme Diyagramı Çizilmesi 56
5.3.1. Noktasal Yüklere Göre Kesme Diyagramı 57
5.3.2. Yayılı Yüklere Göre Kesme Diyagramı 57
5.3.3. Moment Diyagramının Çizilmesi 58
6. BURULMA DAYANIMI 61
6.1. Burulma Momentinin Bulunması 62
6.2. Polar Atalet ve Dayanım Momentinin Bulunması 62
6.3. Millerin Burulma Dayanımının Hesaplanması 63
7. BURKULMA (FLAMBAJ) DAYANIMI 64
7.1. Burkulma Dayanımı Hesaplamaları 65
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 68

3. ÖĞRENME BİRİMİ

3. ÖĞRENME BİRİMİ HIZ VE İVME 72
1. HAREKETLERLE İLGİLİ HESAPLAMALAR 72
1.1. Konum 72
1.2. Yer Değiştirme 72
1.3. Hız 73
1.4. Ortalama Hız 75
1.5. Sürat 76
1.6. Anlık Hız (Ani Hız) 76
1.7. Bağıl Hız 77
1.8. İvme 80
1.8.1. Ortalama İvme 81
1.8.2. Ani (Anlık) İvme 81
1.9. Doğrusal Hareket Çeşitleri 82
1.9.1. Düzgün Doğrusal Hareket 82
1.9.2. Düzgün Değişen Doğrusal Hareket 83
1.10. Serbest Düşme 84
1.10.1. Duran Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi 84
1.10.2. Aşağı Doğru Atılan Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi 84
1.10.3. Yukarı Doğru Atılan Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi 85
1.11. Atış Hareketleri 86
1.11.1. Yatay Atış Hareketi 86
1.11.2. Eğik Atış Hareketi 87

3. ÖĞRENME BİRİMİ

2. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KANUNU İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR 89
2.1. Kayma Sürtünmesi.....90
2.1.1. Statik Sürtünme Kuvveti 90
2.1.2. Kinetik Sürtünme Kuvveti 91
2.2. Eğik Düzlem 91
2.2.1. Sürtünmesiz Eğik Düzlem.....91
2.2.2. Sürtünmeli Eğik Düzlem.....92
2.3. Newton'un İkinci Hareket Kanunu (Dinamiğin Temel Yasası) 93
3. MADDESEL NOKTANIN DİNAMİĞİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR 95
3.1. Merkezkaç Kuvvet 95
3.2. İş 96
3.3. Güç 98
3.4. Enerji 98
3.4.1. Kinetik Enerji 99
3.4.2. Potansiyel Enerji 99
3.5. Mekanik Enerjinin Korunumu 101
3.6. İtme (İmpuls) 102
3.7. Momentum 102
3.8. Dönme Momenti (Tork) 103
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 104

4. ÖĞRENME BİRİMİ

4. ÖĞRENME BİRİMİ TERMODİNAMİK KANUNLAR VE GAZLAR..108
1. TERMODİNAMİK ÖZELLİKLER 109
1.1. Büyüklükler ve Birimleri 109
1.2. Termodinamik Sistem 110
1.3. Sistemin Özellikleri 111
1.4. Enerji ve İş 112
1.5. Termodinamik Denge 114
1.6. Isı ve Sıcaklık 114
1.7. Hâl, Hâl Değişimi ve Çevrim 119
1.8. Basınç 120
1.9. Diğer Termodinamik Büyüklükler 122
2. ISI TRANSFERİ 123
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 128

5. ÖĞRENME BİRİMİ

5. ÖĞRENME BİRİMİ ÇEVRİMLER 132

1. TERMODİNAMİK KANUNLAR 132

1.1. Mol Kavramı 133

1.2. Avogadro Kanunu 134

1.3. Boyle-Mariotte Kanunu 135

1.4. Charles Kanunu 136

1.5. Gay-Lussac Kanunu 137

1.6. İdeal Gaz Kanunu 138

1.7. Gazların Hâl Değişimleri 140

1.7.1. Sabit Hacimde (İzokorik) Hâl Değişimi 140

1.7.2. Sabit Basınçta (İzobarik) Hâl Değişimi 141

1.7.3. Sabit Sıcaklıkta (İzotermal) Hâl Değişimi 142

1.7.4. Adyabatik (İzentropik) Hâl Değişimi 143

1.7.5. Çok Değişkenli (Politropik) Hâl Değişimi 145

1.8. Termodinamik Kanunlar 146

1.8.1. Termodinamiğin Sıfırıncı Kanunu 146

1.8.2. Termodinamiğin Birinci Kanunu 146

1.8.3. Termodinamiğin İkinci Kanunu 148

1.8.4. Termodinamiğin Üçüncü Kanunu 149

2. SOĞUTMA ÇEVRİMLERİ 150

3. BUHAR ÇEVRİMLERİ 155

3.1. Carnot Buhar Çevrimi 155

3.2. Rankine Çevrimi 156

4. GAZ ÇEVRİMLERİ 159

4.1. Gaz Güç Çevrimleri 159

4.1.1. Carnot Güç Çevrimi 160

4.1.2. Otto Çevrimi 162

4.1.3. Dizel Çevrimi 168

4.1.4. Karma (İkili) Çevrim 174

4.1.5. Brayton (Gaz Türbin Motorları) Çevrimi 178

4.2. Gerçek Dizel Motor Çevrimleri 180

4.2.1. İki Stroklu Gerçek Dizel Motor Çevrimi 180

4.2.2. Dört Stroklu Gerçek Dizel Motor Çevrimi 182

5. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE GÜÇ 183

5.1. İndike (İç) Güç 183

5.2. Efektif (Yararlı) Güç 184

5.3. Pervane Gücü 185

6. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE VERİM 186

6.1. Mekanik Verim 186

6.2. Isıl (Termik) Verim 186

6.3. Efektif (Yakıt) Verim 187

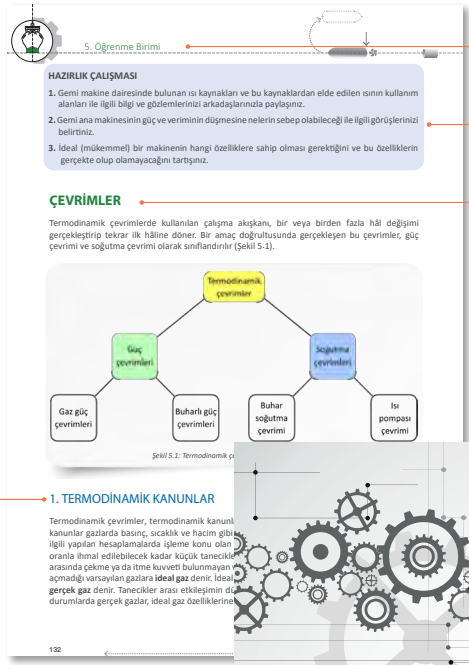
6.4. Hacimsel (Volumetrik) Verim 187

7. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE YAKIT TÜKETİMİ 188

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 191

KAYNAKÇA 195

CEVAP ANAHTARI 196


5. Öğrenme Birimi

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

1. Gemi makine dairesinde bulunan ısı kaynakları ve bu kaynaklardan elde edilen ısının kullanım alanları ile ilgili bilgi ve gözlemlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.
2. Gemi ana makinesinin güç ve veriminin düşmesine nelerin sebep olabileceği ile ilgili görüşlerinizi belirtiniz.
3. İdeal (mükemmel) bir makinenin hangi özelliklere sahip olması gerektiğini ve bu özelliklerin gerçekte olup olamayacağını tartışınız.

ÇEVRİMLER

Termodinamik çevrimlerde kullanılan çalışma akışkanı, bir veya birden fazla hâl değişimi gerçekleştirip tekrar ilk hâline döner. Bir amaç doğrultusunda gerçekleşen bu çevrimler, güç çevrimi ve soğutma çevrimi olarak sınıflandırılır (Şekil 5.1).

Şekil 5.1: Termodinamik ç

1. TERMODİNAMİK KANUNLAR

Termodinamik çevrimler, termodinamik kanunl
kanunlar gazlarda basınç, sıcaklık ve hacim gibi
ilgili yapılan hesaplamalarda işleme konu olan
oranla ihmal edilebilecek kadar küçük tanecikle
arasında çekme ya da itme kuvveti bulunmayan
açmadığı varsayılan gazlara **ideal gaz** denir. Ideal
gerçek gaz denir. Tanecikler arası etkileşimin dü
durumlarda gerçek gazlar, ideal gaz özelliklerine

132

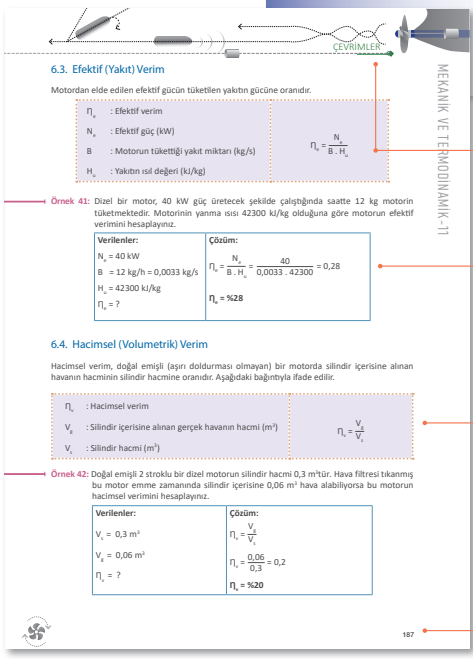

3. ÖĞRENME BİRİMİ

HIZ VE İVME

KONULAR

1. HAREKETLERLE İLGİLİ HESAPLAMALAR
2. SÜRTÜNMEVE SÜRTÜNME KANUNU İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR
3. MADDESEL NOKTANIN DİNAMİĞİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

KOD=16587


ÇEVRİMLER

MEKANİK VE TERMODİNAMİK-II

6.3. Efektif (Yakıt) Verim

Motordan elde edilen efektif gücün tüketilen yakıtın gücüne oranıdır.

η_e : Efektif verim
N_e : Efektif güç (kW)
B : Motorun tükettiği yakıt miktarı (kg/s)
H_u : Yakıtın ısıl değeri (kJ/kg)

$$\eta_t = \frac{N_e}{B \cdot H_u}$$

Örnek 41: Dizel bir motor, 40 kW güç üretecek şekilde çalıştığında saatte 12 kg motorin tüketmektedir. Motorinin yanma ısısı 42300 kJ/kg olduğuna göre motorun efektif verimini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
N_e = 40 kW B = 12 kg/h = 0,0033 kg/s H_u = 42300 kJ/kg η_t = ?	$\eta_t = \frac{N_e}{B \cdot H_u} = \frac{40}{0,0033 \cdot 42300} = 0,28$ η_t = %28

6.4. Hacimsel (Volumetrik) Verim

Hacimsel verim, doğal emişli (aşırı doldurması olmayan) bir motorda silindir içerisine alınan havanın hacminin silindir hacmine oranıdır. Aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_v : Hacimsel verim
V_e : Silindir içerisine alınan gerçek havanın hacmi (m^3)
V_s : Silindir hacmi (m^3)

$$\eta_v = \frac{V_e}{V_s}$$

Örnek 42: Doğal emişli 2 stroklu bir dizel motorun silindir hacmi 0,3 m^3'tür. Hava filtresi tıkanmış bu motor emme zamanında silindir içerisine 0,06 m^3 hava alabiliyorsa bu motorun hacimsel verimini hesaplayınız.

Verilenler:	Çözüm:
V_s = 0,3 m^3 V_e = 0,06 m^3 η_v = ?	$\eta_v = \frac{V_e}{V_s}$ $\eta_v = \frac{0,06}{0,3} = 0,2$ η_v = %20

187

Konu Alt Başlığı

Öğrenme Birimi Numarası

Hazırlık Çalışması

Konu Başlığı

Karekod okuyucu ile taratarak resim video, animasyon, soru ve çözümleri vb. ilave kaynaklara ulaşabileceğiniz karekod. Detaylı bilgi için http://kitap.eba.gov.tr/karekod

Öğrenme Birimi Numarası

Öğrenme Birimi Adı

Öğrenme Birimi Konuları

Öğrenme Birimi Karekod

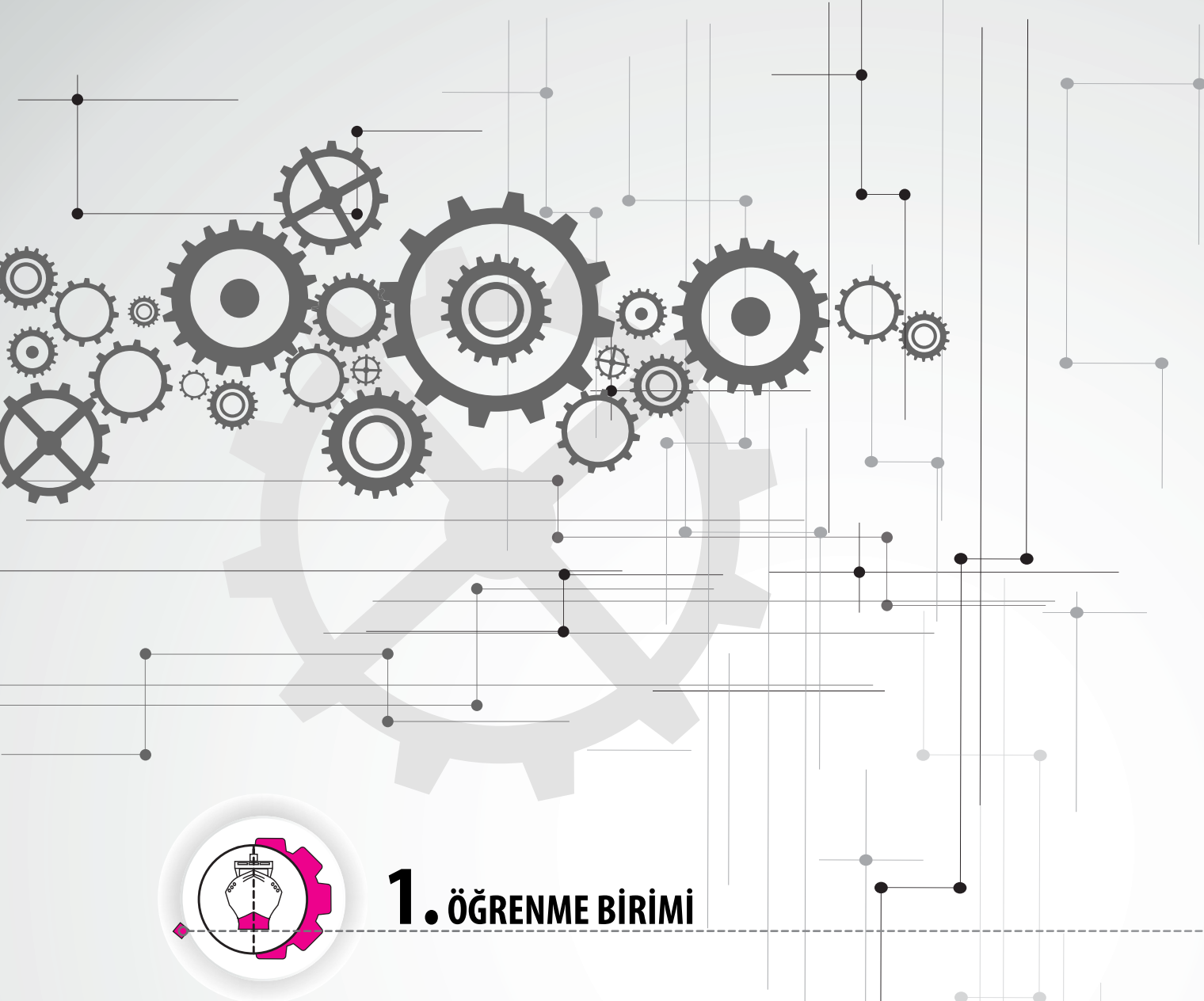
Öğrenme Birimi Adı

Örnek Soru ve Çözümü

Kısaltmalar ve Formüller

Sayfa Numarası

A	: Alan	N	: Tanecik sayısı
a	: İvme	N	: Güç
B	: Motorun tükettiği yakıt miktarı	N_A	: Avogadro sayısı
b_e	: Özgül yakıt tüketimi	P	: Basınç
COP_{SM}	: Soğutma etkinlik katsayısı	P	: Momentum
COP_{IP}	: Isıtma etkinlik katsayısı	q	: Özgül ısı
c_p	: Sabit basınçta özgül ısı	Q	: Isı
c_v	: Sabit hacimde özgül ısı	r_c	: Sıkıştırma oranı
E	: Elastiklik modülü	r_p	: Basınç artış oranı
E_k	: Kinetik enerji	r_v	: Kesme oranı
E_p	: Potansiyel enerji	R	: Gaz sabiti
E.K.S.	: Emniyet katsayısı	R_u	: Evrensel gaz sabiti
F	: Kuvvet	s	: Entropi
f_s	: Sürtünme kuvveti	t	: Zaman
G	: Ağırlık	T	: Sıcaklık
g	: Yerçekimi ivmesi	u	: Özgül iç enerji
h	: Özgül entalpi	U	: İç enerji
h	: Sıvının derinliği	v	: Özgül hacim
h	: Isı taşınım katsayısı	V	: Hacim
H	: Entalpi	V	: Hız
H_u	: Yakıtın ısıl değeri	W	: İş
I	: Atalet momenti	W	: Kesitin dayanım momenti
I	: İtme (İmpuls)	Z	: Silindir sayısı
k	: Adyabatik üs	ρ	: Sıvının yoğunluğu
k	: Isı iletim katsayısı	η	: Verim
k	: Sürtünme katsayısı	ϒ	: Özgül ağırlık
L	: Kalınlık	ε	: Yayma katsayısı
m	: Kütle	σ	: Stefan-Boltzman sabiti
M	: Moment	σ	: Gerilim
M	: Mol kütlesi	τ	: Kesilme dayanımı
n	: Mol sayısı	τ	: Burulma dayanımı
n	: Motor devri	τ	: Tork



1. ÖĞRENME BİRİMİ

STATİK

Neler Öğreneceksiniz?

1. MOMENT HESAPLAMALARI

2. MESNET HESAPLAMA

3. AĞIRLIK MERKEZİ BULMA

KOD=16585

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

1. Geleneksel çocuk oyunlarından olan dokuztaş oyunu iki grupla oynanan bir oyundur ve üst üste dizilen benzer büyüklükteki dokuz yassı taşa atılan topun taşları devirmesi ile başlar. Oyunun amacı, taşları deviren grubun işbirliği içerisinde ve diğer grup tarafından topla vurulmadan taşları yeniden dengeli bir şekilde üst üste yerleştirmesidir. Bu yapılırken taşların devrilmemesi ve denge durumlarını koruyabilmeleri için nelere dikkat edilmesi gerekebileceği ile ilgili fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

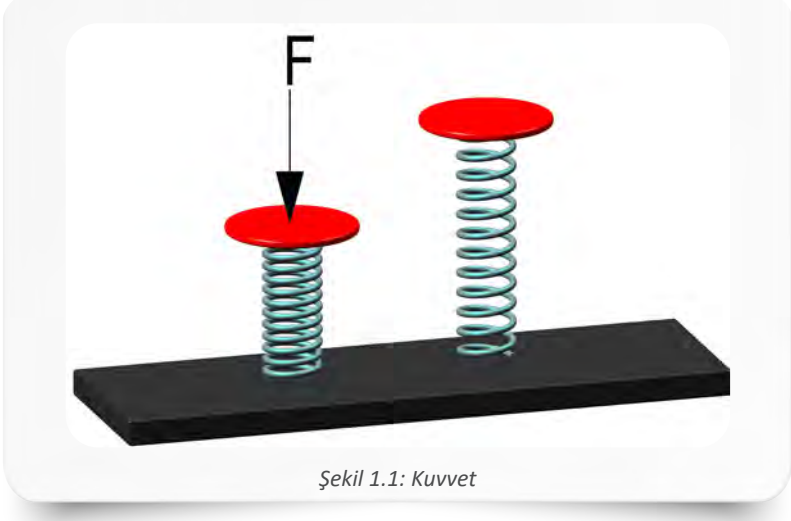
2. Uzun bir tahta parçası ve bir dayanaktan yapılmış olan tahterevallinin iki ucuna, farklı ağırlıklarda iki cisim yerleştirilmektedir. Bu tahterevallinin denge durumunu koruyabilmesi için neler yapılabileceği ile ilgili düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

STATİK

Makine işletim sistemleri üzerinde cıvata, saplama, somun, supap ve dişli gibi zorlu çalışma şartlarına dayanabilecek çok sayıda parça ve malzeme vardır. Bu malzeme ve parçaların işlevlerini kaybetmeden uzun süre görev yapabilmesi için cisimlerin dış kuvvetlere gösterdiği tepkinin bilinmesi gerekir. Cisimler dış kuvvetlerin etkisi ile şekil değiştirebilir ve aşınmaya uğrayabilir.

Kuvvetin etkisi ile cisimlerde meydana gelen şekil değişimi çok az ise önemsenmeyebilir ve sistemin denge durumu, hiç değişiklik olmamış gibi incelenebilir. Kuvvetler etkisindeki cisimlerin denge durumunu inceleyen bilim dalına **statik** denir. Statik, kuvvet etkiyen cismin şekil değişikliğini göz önünde bulundurmaz ve kuvvetler etkisindeki cismi tam katı olarak kabul eder. Statik prensiplerinin anlaşılabilmesi; moment, mesnet ve ağırlık merkezi bulma hesaplamalarının yapılabilmesi için kuvvet ve cisimler arasındaki ilişkinin bilinmesi gerekir.

Cisimlerin denge durumunu değiştiren veya değiştirmeye zorlayan sebebe **kuvvet** denir. Kuvvet **F** ile gösterilir. Duran bir cismin itilince hareket etmesi, cisme uygulanan itme artırılınca cismin hızlanması, itmenin ortadan kalkması ile cismin durması gibi hareket değişikliklerinin nedeni kuvvettir. Ayrıca üzerine baskı uygulanan yayın kısalması (Şekil 1.1), sıkıştırılan bir cismin baskıyla ezilmesi ve çekilen bir lastiğin uzaması da kuvvetin etkisi ile meydana gelen şekil değişikliklerine verilebilecek örneklerdir.

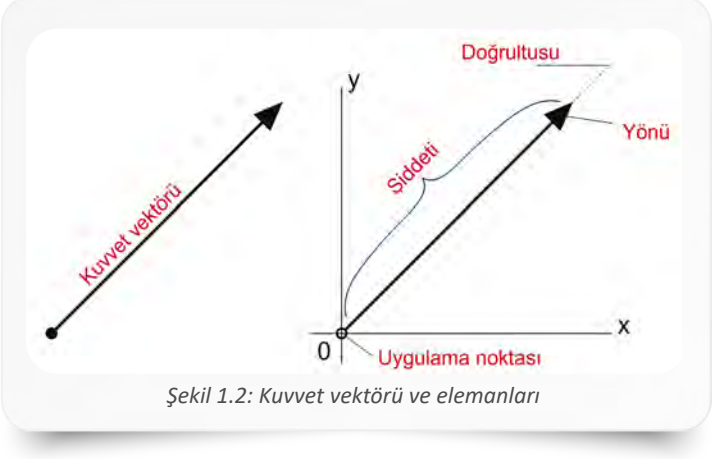


Şekil 1.1: Kuvvet

Mekanikte kuvvet, iç ve dış kuvvetler olmak üzere ikiye ayrılır. Bir cismin moleküllerinin birbirine yaptığı etkiye **iç kuvvet** denir ve bunlarla dayanım bilgisi ilgilenir. Bir cisme dışardan etkiyen yüklere ise **dış kuvvet** denir. Dış kuvvetler, cismin üzerine binen ağırlık gibi cisme doğrudan etki edebilir veya mesnet tepkilerinde olduğu gibi cisimlerin birbiriyle bağlanması sonucu meydana gelebilir.

Kuvvetin Elemanları ve Vektörleri

Statik prensiplerine göre kuvvet, doğrultusu boyunca istenilen yere taşınabilir. **Kuvvet (F)**, ok işareti ile yönü belirtilmiş bir doğru parçası olan vektörel bir büyüklüktür. Bir kuvvet vektörünün şiddeti, cisme uygulanan kuvvetin büyüklüğünü; doğrultusu, cisme uygulanan kuvvetin konumunu ve yönü de kuvvetin etkilediği tarafı ifade eder. Vektör; şiddeti, yönü ve doğrultusu belirtilerek belli bir noktaya etki ettirilmemişse **serbest vektör**, belli bir noktaya etki ettirilmişse **sınırlandırılmış (sabitleştirilmiş) vektör** adını alır. Sınırlandırılmış kuvvet vektörünün cisme etki ettiği nokta, uygulama (tatbik) noktasını ifade eder ve dördüncü eleman olarak kabul edilir (Şekil 1.2).

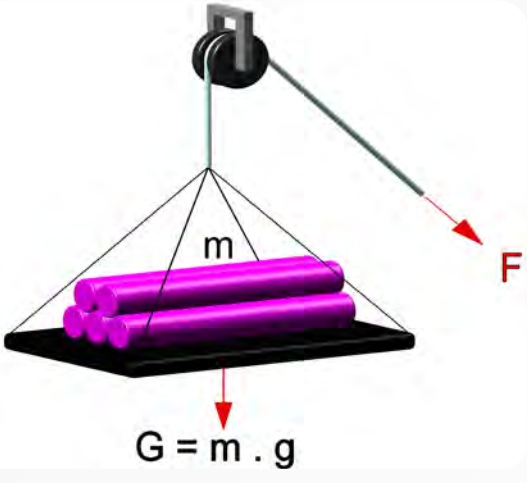


Şekil 1.2: Kuvvet vektörü ve elemanları

Kuvvet Birimleri

Kütle ve ağırlık genellikle birbiri ile karıştırılan ancak birbirinden farklı iki kavramdır. **Kütle (m)**, bir cismin değişmez madde miktarıdır. **Ağırlık (G)** ise bir cisme uygulanan yer çekimi kuvvetidir. Cismin kütlesi bulunduğu yere göre değişmez, aynı kalır; ancak ağırlığı bulunduğu yere göre değişiklik gösterir. Örneğin insanın dünyadaki kütlesi uzayda da aynıdır, değişmez; fakat ağırlığı değişir. İnsan ağırlığı, uzayda dünyadakinden daha azdır. Bunun nedeni yer çekimi ivmesinin değişmesidir.

Yer çekimi belirlenirken Fransa'da bulunan iridyumlu platinden yapılmış silindirin ağırlığı ve onu yere çeken kuvvet esas alınmıştır. Buna göre **yer çekimi ivmesi (g)** 9,81 m/s² olarak belirlenmiştir; ancak hesaplamalarda kolaylık sağlanması için 10 m/s² kabul edilir. Şekil 1.3'te kütle ve ağırlık arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 1.3: Kütle ve ağırlık

Uluslararası Birimler Sistemi'nde (SI) kütle birimi kilogram (kg), kuvvet birimi de newton (N) kabul edilmektedir. Ağırlık birimi de kg.m/s^{2}dir ve N'ye eşittir. Kuvvet ve kütle birimlerinin birbiri yerine kullanılması ise hatalıdır.

Mutlak ve çekimsel birim sitemlerinde kullanılan kuvvet birimleri şunlardır:

- Mutlak CGS (Santimetre-Gram-Saniye) birim sistemine göre : din (dyne)
- Mutlak MKS (Metre-Kilogram-Saniye) birim sistemine göre : newton (N)
- Çekimsel CGS (Santimetre-Gram-Saniye) birim sistemine göre : gram-kuvvet (g_f)
- Çekimsel MKS (Metre-Kilogram-Saniye) birim sistemine göre : kilogram-kuvvet (kg_f)

Örnek 1: Yer çekimi ivmesinin 4 m/s^2 olduğu yerdeki bir cismin ağırlığı 80 N ise kütlesi kaç kg'dır?

Verilenler:	**Çözüm:**
G = 80 N g = 4 m/s^2	G = m . g 80 = m . 4 **m = $\frac{80}{4}$ = 20 kg olur.**

1. MOMENT HESAPLAMALARI

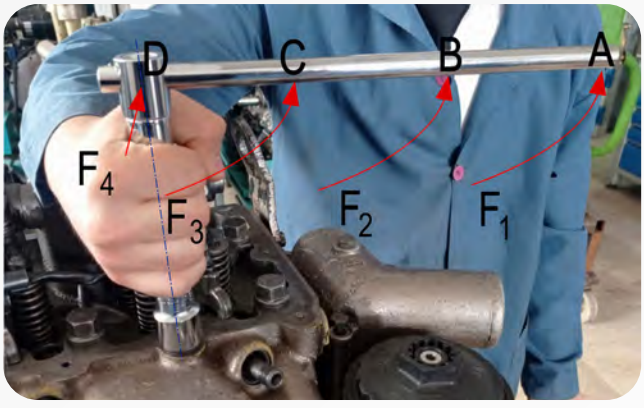
Kuvvetin cisim üzerindeki döndürme etkisine **moment** denir. Vektörel bir büyüklük olan moment **M** ile gösterilir. Momentin oluşabilmesi için cisme etki eden kuvvetin doğrultusu, döndürme noktasının dışından geçmelidir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4: Moment

Görsel 1.1'de görülen T kol dört farklı noktadan kuvvet uygulanarak döndürülmeye çalışıldığında T kolun **A** noktasından F_1 kuvveti ile rahat döndürüldüğü ve eksen etrafında döndüğü görülür. T kol, **B** noktasından F_2 kuvveti ile döndürülmek istenildiğinde biraz zorlanıldığı, **C** noktasından F_3 kuvveti ile döndürülmek istenildiğinde ise zorluk derecesinin daha da arttığı görülür. **D** noktasında

(eksen), uygulanan kuvvet ne kadar artırılırsa artırılsın T kolun dönme hareketi yapmadığı tespit edilir (Görsel 1.1).

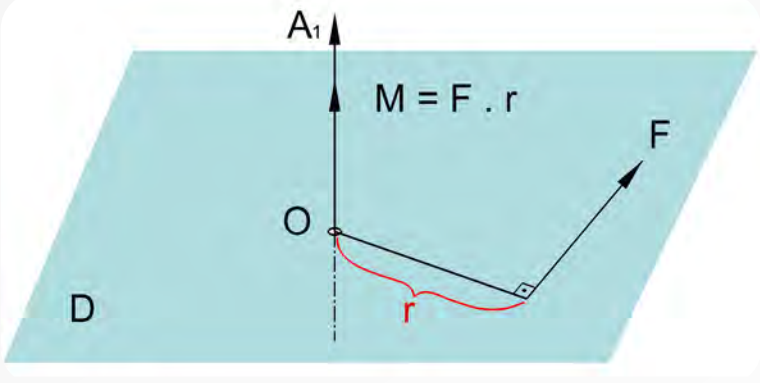


Görsel 1.1: T kolun farklı noktalardan döndürülmesi

Bu örnekten de anlaşılacağı üzere, moment oluşabilmesi için kuvvet uygulanan cismin bir eksen etrafında dönmesi gerekir. Bir kuvvet, doğrultusu üzerinde kaydırılırsa da momentin değeri korunur.

1.1. Noktaya Göre Moment Alma

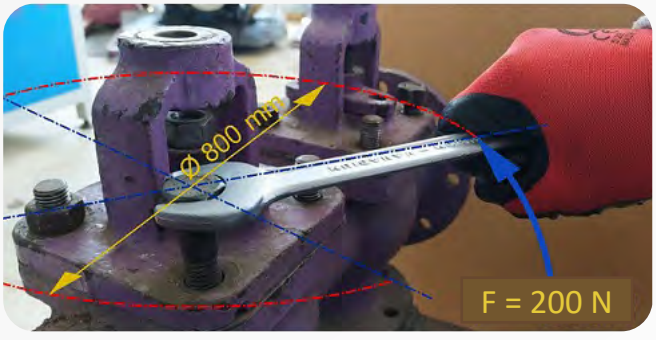
Bir kuvvetin **(F)** etki ettirildiği cismi, bir nokta **(O)** veya sabit eksen etrafında döndürme eğilimine, kuvvetin noktaya veya eksene göre momenti denir. Cisme etkiyen kuvvet, cismi kendi etrafında döndürme eğilimindedir. **O** noktasındaki eksenden kuvvetin doğrultusuna (tesir çizgisi) inilen dikme, kuvvet kolu **(r)** olarak adlandırılır. Buradan eksene veya noktaya göre momentin değeri, kuvvetin büyüklüğü ile kuvvet kolunun çarpımına eşit **(M = F . r)** bulunur. Bir noktaya göre alınan momentlerin toplamı **Σ** işareti ile belirtilir. Bir **O** noktasına göre alınan momentlerin toplamı ise ΣM_o şeklinde gösterilir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5: Noktaya göre moment

Moment = Kuvvet . Kuvvet kolu M = F . r (N . m)	F = Kuvvet (N) r = Kuvvet kolu (m)

Örnek 2: Görsel 1.2'de görülen cıvata açıkağız anahtar ile sıkılmaktadır. Cıvata üzerinde meydana gelen momenti hesaplayınız.



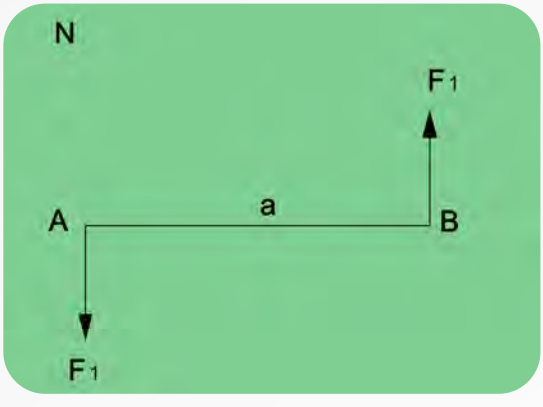
Görsel 1.2: Cıvata üzerinde meydana gelen moment

Verilenler:	**Çözüm:**
D = 800 mm = 0,8 m	M = F . r
r = 400 mm = 0,4 m	M = 200 . 0,4
F = 200 N	**M = 80 N . m olur.**

Bir düzlem üzerinde birden fazla kuvvet olduğunda kuvvetlerin yönlerinin belirlenmesi gerekir. Kuvvet yönü belirlenirken saat yönünün (-) negatif, saat yönünün tersinin pozitif (+) alınması alışılagelmiş bir durum olsa da bu genelgeçer bir kural değildir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, yönlerin moment hesaplanmaya başlanırken seçilmesi ve hesaplama işlemi boyunca aynı şekilde kullanılmasıdır. Aksi hâlde moment doğru hesaplanamaz.

1.2. Denge Sistemlerine Göre Moment Hesaplama

Şiddetleri eşit, birbirine paralel ve zıt yönlü kuvvetlerin meydana getirdiği sisteme **kuvvet çifti** denir. Şekil 1.6'da görülen kuvvet çifti örneğinde **a** kuvvet çifti kolunu, **N** kuvvet düzlemini ifade etmektedir.



Şekil 1.6: Kuvvet çifti

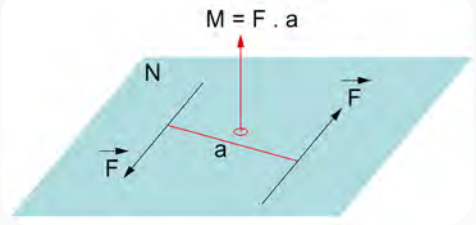
Bir kuvvet çifti, değerleri ve elemanları sabit kalmak üzere başka bir kuvvet çifti ile değiştirilebilir; kendi düzlemi üzerinde başka bir noktaya kaydırılabilir ve bulunduğu düzleme paralel başka düzleme doğru hareket ettirilebilir.

T kol ile cıvata sökülüp takılırken T kolun kollarına uygulanan eşit yüklü ve zıt yönlü kuvvetler, kuvvet çiftine örnek verilebilir (Görsel 1.3).



Görsel 1.3: T kol ile cıvata sökme ve takma işlemi

Kılavuz ile vida çekme işlemi de kuvvet çiftine örnektir. Kılavuzun dönüş yönü, moment vektörünün dönüş yönüdür. Şekil 1.7'de kuvvet çiftinin dönüş yönü görülmektedir.

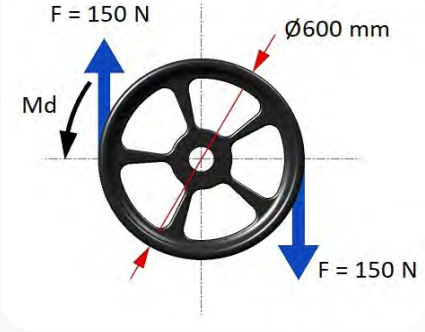


Şekil 1.7: Kuvvet çiftinin dönüş yönü

Moment vektörel bir büyüklük olduğundan kuvvet çiftinin de moment vektörleri ile gösterilmesi moment hesaplamalarında kolaylık sağlar.

Örnek 3: Şekil 1.8'deki kasnağı döndüren 150 N şiddetindeki kuvvet çiftinin meydana getirdiği momenti hesaplayınız.

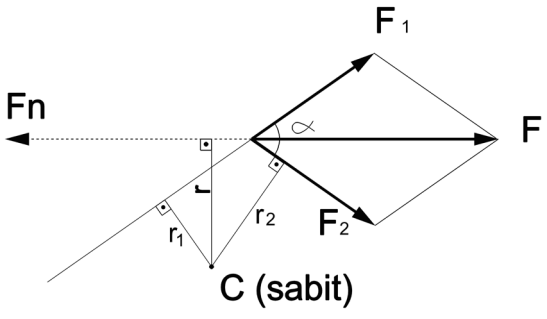
Verilenler:	**Çözüm:**
D = 600 mm = 0,6 m r = 300 mm = 0,3 m F_1 = 150 N F_2 = 150 N M_d = ?	Kasnak bir kuvvet çifti tarafından döndürülmeye çalışılmaktadır. M = F . r **M = 150 . 0,6 = 90 N . m olur.** Aşağıdaki yöntem kullanılarak da çözüme ulaşılabilir. $\Sigma M_A = 0$ $M_d = 0,3 . 150 + 0,3 . 150$ $M_d = 45 + 45$ **M_d = 90 N . m olarak bulunur.**



Şekil 1.8: Kasnağı döndüren kuvvet çifti

Bileşkenin Sıfır Olması Şartı (Kuvvetler Çokgeninin Kapalı Olması Hâli)

İki veya daha fazla kuvvetin herhangi bir noktaya göre momentlerinin toplamı, bu kuvvetlerin yerini tutan bileşke kuvvetin aynı noktaya göre momentine eşittir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9: Varignon prensibi

Sistemin dengede olabilmesi için bileşke momentin sıfır olması gerekir.

$F = F_n$ (Varignon prensibi)

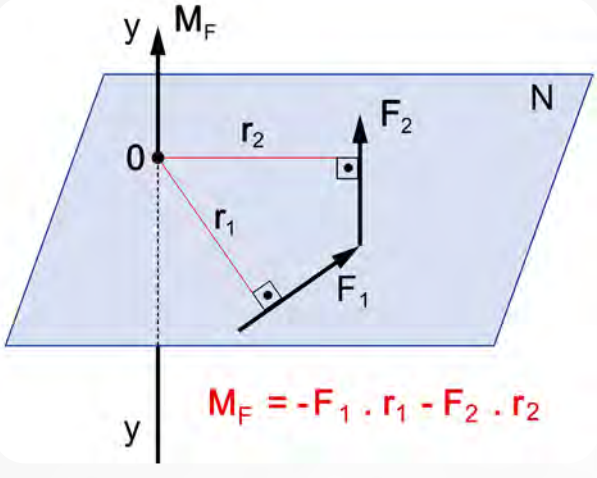
$\Sigma M_c = 0$ (Varignon teoremi prensibi)

$F_n \cdot r + F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 = 0$

Bu bilgiler ışığında denge sistemine göre moment hesaplamaları, $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$ ve $\Sigma M = 0$ denklemleri kurularak yapılabilir.

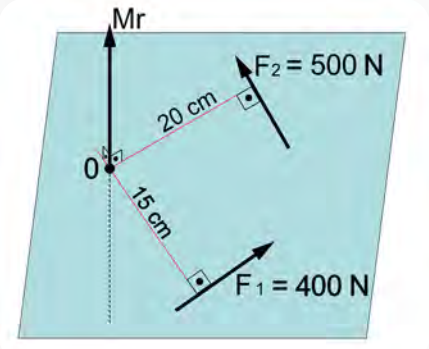
1.3. Dolaylı Yüklere Göre Moment Hesaplama

Makine içerisinde meydana gelen hareket enerjisi ve üretilen kuvvet; mil, kol, dişli gibi makine parçaları ile kullanım yerine iletilir. İletim sırasında üretilen kuvvetin tamamı sisteme yansımaz. Montaj durumlarına göre, makine parçalarının kuvvetten bileşenleri kadar etkilenmesi durumuna **dolaylı yük** denir. Şekil 1.10'daki **N** düzlemi **y-y** eksenine diktir. F_1 ve F_2 kuvvetleri **N** düzlemi üzerinde bulundukları için iz düşümleri de kendileri kadardır. Bu nedenle **0** noktasına dolaylı yük olarak etkileri kendi şiddetleri kadardır.



Şekil 1.10: Dolaylı yüklere göre moment

Örnek 4: Şekil 1.11'de görülen kuvvetlerin y-y eksenine göre momentini hesaplayınız.

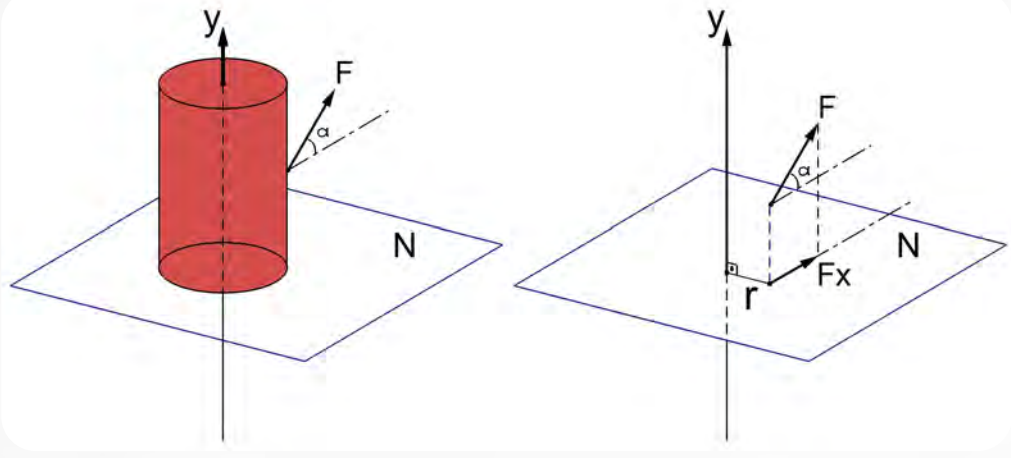


Şekil 1.11: Kuvvetlerin y-y eksenine göre momenti

Verilenler:	**Çözüm:**
F_1 = 400 N	Düzlem y-y eksenine dik olduğundan kuvvetlerin iz düşümleri kendileri kadardır.
F_2 = 500 N	
r_1 = 15 cm	$Mr = F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2$
r_2 = 20 cm	$Mr = 400 \cdot 15 + 500 \cdot 20$
	$Mr = 6000 + 10000$
	Mr = 16000 N . cm = 160 N . m olur.

1.4. Açılı Yüklere Göre Moment Hesaplama

Cisme belirli bir açı ile etki eden kuvvetin cisim üzerindeki etkisi, açının değeri ile çarpımına eşittir. Şekil 1.12'deki silindir **N** düzlemine dik olduğu için, **F** kuvveti doğrudan döndürme etkisi yapamaz. Burada **F** kuvvetinin **N** düzlemine iz düşümü kuvveti etkili olur.



Şekil 1.12: Açılı yüklere göre moment

Açılı yüklere göre moment hesaplamaları aşağıdaki formüller kullanılarak yapılabilir.

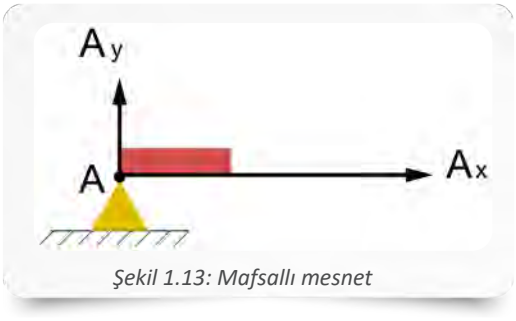
$F_x = F \cdot \cos\alpha$ $M_y - y = F_x \cdot r$	y-y eksenine göre moment M_y - y = F . r . cosα olur.

2. MESNET HESAPLAMA

Bir cismin dış kuvvetlerin etkisi altında ötelenmesini ve dönmesini engellemek amacıyla kullanılan dayanak veya sabit bağlantılara **mesnet** adı verilir. Mesnet tepkilerinin bulunabilmesi için mesnetlerin incelenmesi gerekir. Bir mesnet, cismin herhangi bir yönde hareket etmesini engelliyorsa o cisim üzerinde tepki kuvveti oluşturur. Statiğin temel prensipleri gereğince **etki** ve **tepki** birbirine eşittir.

2.1. Mafsallı Mesnetler

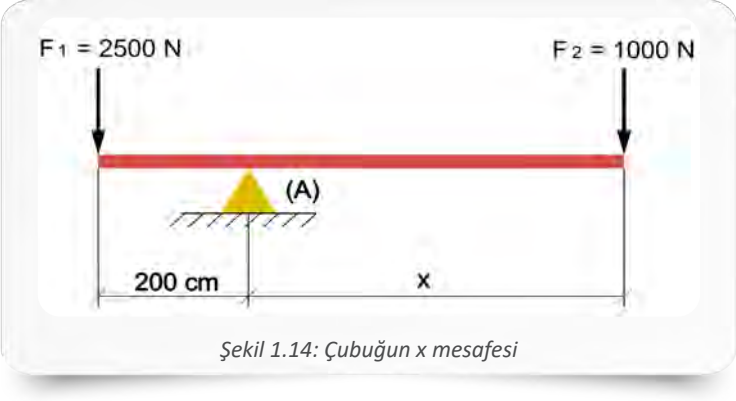
Bir pim ile sabitlenmiş, x ve y eksenleri yönünde hareket edemeyen, ancak serbestçe dönebilmesine izin verilen mesnetlerdir. Mafsallı mesnetler bu yapıları nedeniyle x ve y eksenleri yönünde iki kuvvet taşıyabilirler.



Şekil 1.13: Mafsallı mesnet

Mafsallı mesnetler serbestçe dönebildikleri için moment tepkisi oluşmaz. Mesnet tepkilerinin yönleri sabit değildir. Hesaplamalarda mesnetteki A_x ve A_y tepkilerinin yönleri, ilk başta rastgele belirlenir. Rastgele belirlenen yönlere göre $\Sigma F_x = 0$ ve $\Sigma F_y = 0$ denklemiyle hesaplama yapılır. İşlem sonucunda değer pozitif (+) çıkarsa tepki yönü doğru seçilmiştir, negatif (-) çıkarsa tepki yönü yanlış seçilmiştir. Bu durumda, tepki yönü düzeltilerek işlem yeniden yapılır (Şekil 1.13).

Örnek 5: Şekil 1.14'teki sistemin denge durumunu koruyabilmesi için x uzunluğunun kaç cm olması gerektiğini hesaplayınız.

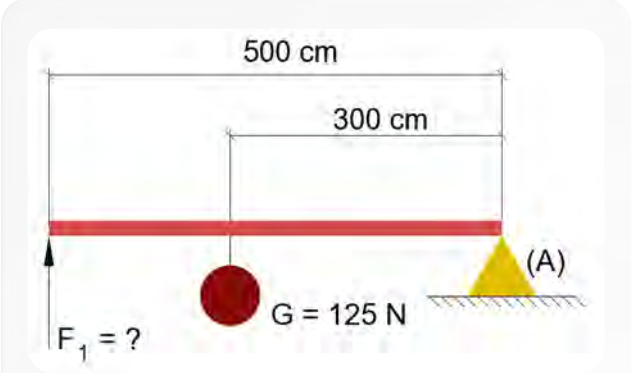


Şekil 1.14: Çubuğun x mesafesi

Verilenler:	**Çözüm:**
$F_1 = 2500$ N	$\Sigma M = 0$
$F_2 = 1000$ N	$2500 \cdot 200 - 1000 \cdot x = 0$
$L_1 = 200$ cm	$500000 - 1000x = 0$
	$500000 = 1000x$
	$x = \frac{500000}{1000}$
	x = 500 cm olur.

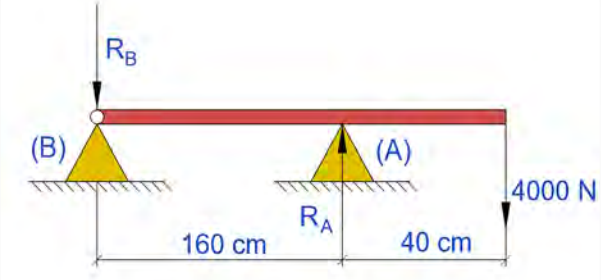
Örnek 6: Şekil 1.15'teki mafsallı kol sisteminin denge durumunu koruyabilmesi için gereken F_1 kuvvetini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$F_G = 125$ N	$\Sigma M_A = 0$
$X_F = 500$ cm	$F_G \cdot x_G - F_1 \cdot x_F = 0$
$x_G = 300$ cm	$125 \cdot 300 - F_1 \cdot 500 = 0$
$F_1 = ?$	$37500 - F_1 \cdot 500 = 0$
	$37500 = 500 \cdot F_1$
	$F_1 = \frac{37500}{500}$
	$F_1 = 75$ N bulunur.



Şekil 1.15: Mafsallı kol sistemi

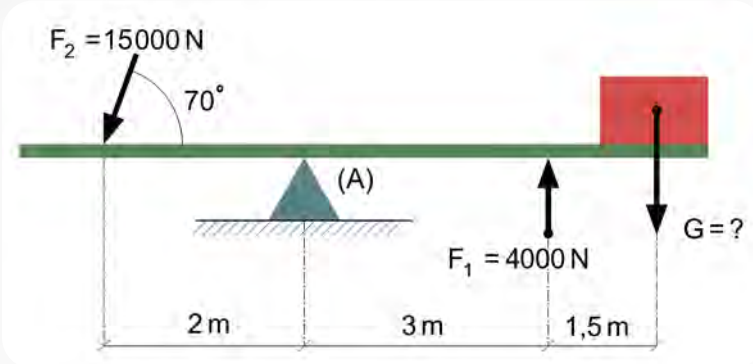
Örnek 7: Şekil 1.16'da görülen çubuğun A ve B mesnetlerinde meydana gelen aksi tesirleri hesaplayınız.



Şekil 1.16: Aksi tesirlerin hesaplanması

Verilenler:	**Çözüm:**
$x_1 = 160$ cm	$\Sigma F_Y = 0$ denkleminden
$x_2 = 40$ cm	$-4000 + R_A + R_B = 0$
$F = 4000$ N	$RA + RB = 4000$
$R_A = ?$	$\Sigma M_B = 0$ denkleminden
$R_B = ?$	$4000 \cdot 2 - R_A \cdot 1{,}6 = 0$
	$8000 = 1{,}6 \cdot R_A$
	$R_A = \frac{8000}{1{,}6} = 5000$ N
	$R_A + R_B = 4000$
	$5000 + R_B = 4000$
	$R_B = 4000 - 5000$
	$R_B = -1000$ N aşağı doğru.
	$R_A = 5000$ N yukarı doğru.

Örnek 8: Şekil 1.17'de görülen sistem, denge durumunda olduğuna göre G yükünü hesaplayınız.

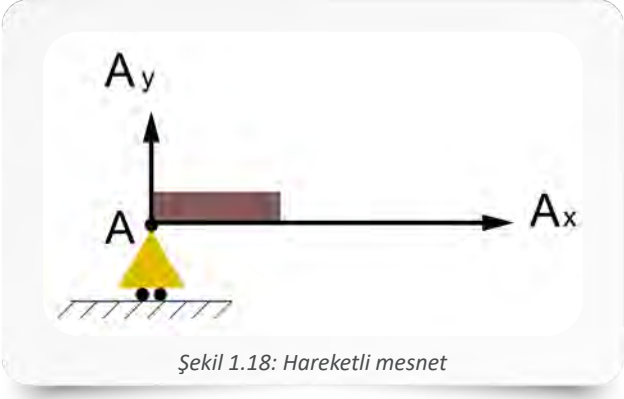


Şekil 1.17: Denge sistemleri

Verilenler:	**Çözüm:**
Cos 70° = 0,342	$\Sigma M_A = 0$
Sin 70° = 0,94	$-G \cdot 4,5 + F_1 \cdot 3 + F_2 \cdot \text{Sin}\alpha \cdot 2 = 0$
F_1 = 4000 N	$4000 \cdot 3 + 15000 \cdot 0,94 \cdot 2 = 4,5 \cdot G$
F_2 = 15000 N	$12000 + 28200 = 4,5 \cdot G$
G = ?	$40200 = 4,5 \cdot G$
	$G = \frac{40200}{4,5}$
	G = 8933,33 N olur.

2.2. Hareketli Mesnetler

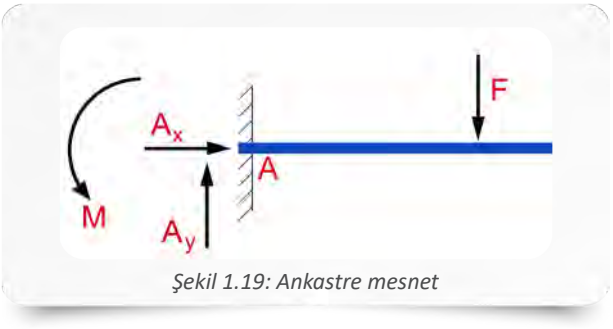
Kayar mesnet oldukları için sadece düşey konumda yük taşıyabilirler. Bu mesnetlerde düşey konumda harekete izin verilmediği için hareketin engellendiği yönde $\mathbf{A_y}$ tepkisi oluşur (Şekil 1.18).



Şekil 1.18: Hareketli mesnet

2.3. Ankastre Mesnetler

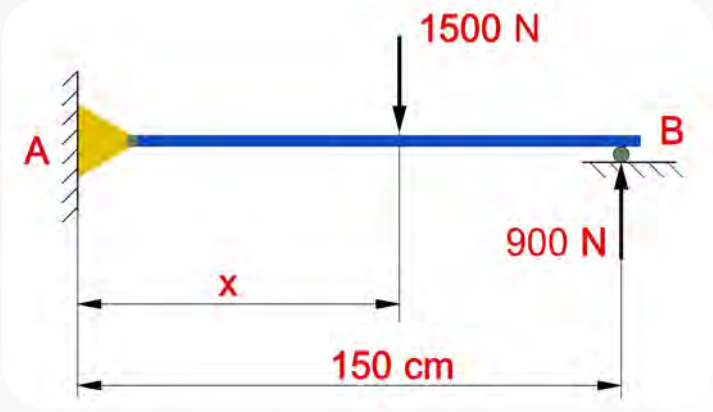
En sınırlayıcı mesnet türüdür. Bir ucu sabitlenmiş, diğer ucu serbest olan bu mesnetin her iki eksen üzerindeki hareketi ve dönmesi engellenmiştir. Dönme hareketi gibi x ve y eksenindeki hareketi de engellendiği için mesnette **A_x**, **A_y** ve **M** tepkileri meydana gelir (Şekil 1.19).



Şekil 1.19: Ankastre mesnet

Mafsallı mesnetlerde iki bilinmeyenli denklemlerle hesaplama yapılır. Ankastre mesnetler ise üç bilinmeyenli oldukları için **$\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$** ve **$\Sigma M = 0$** denklemleri kurularak hesaplama yapılır.

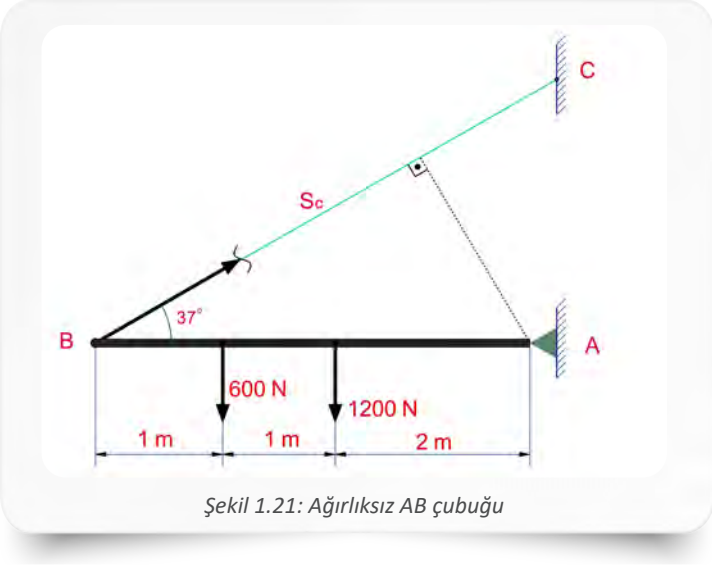
Örnek 9: A noktasından sürtünmesiz pimle bağlı AB çubuğunun B dayanma yerindeki aksi tesirinin 900 N olabilmesi için 1500 N'luk kuvvetin A ucundan ne kadar uzağa etki ettirilmesi gerektiğini hesaplayınız (Şekil 1.20).



Şekil 1.20: Aksi tesir uzaklığı

Verilenler:	**Çözüm:**
$F_1 = 900$ N	$\Sigma M_A = 0$ denkleminden
$F_2 = 1500$ N	$1500 \cdot x - 900 \cdot 150 = 0$
$L_1 = 150$ cm	$1500 \cdot x = 900 \cdot 150$
$L_2 = ?$	$1500\,x = 135000$
	$x = \frac{135000}{1500}$
	x = 90 cm bulunur.

Örnek 10: Ağırlıksız AB çubuğu Şekil 1.21'de görüldüğü gibi yüklenmiştir. BC ipini geren kuvveti hesaplayınız.



Şekil 1.21: Ağırlıksız AB çubuğu

Verilenler:	**Çözüm:** Sistemin denge durumunu koruyabilmesi için, herhangi bir eksene göre toplam momentinin sıfıra eşit olması gerekir. Moment ekseni A'dan geçirilecek olursa
$F_1 = 1200$ N	$\Sigma M_A = 0$
$F_2 = 600$ N	$1200 \cdot 2 + 600 \cdot 3 - Sc \cdot 4 \cdot \sin 37° = 0$
$\sin 37° = 0{,}6$	$Sc = \dfrac{2400 + 1800}{4 \cdot 0{,}6}$
	$Sc = \dfrac{4200}{2{,}4}$ = 1750 N bulunur.

3. AĞIRLIK MERKEZİ BULMA

Bir cismin ağırlık merkezinin bilinmesi, cismin denge durumunun korunabilmesi açısından önemlidir. Cismin moleküllerine etkiyen yerçekimi kuvvetlerinin bileşkesinin tatbik noktasına **ağırlık merkezi** denir. Ağırlık merkezine kütle merkezi de denilebilir ama kütle merkezi yer çekiminden bağımsızdır. Bileşke kuvvet, cismin ağırlık merkezinden geçer (Şekil 1.22). Ağırlık merkezinden asılan cisim, her konumda dengededir. Ağırlık merkezi analitik ve grafik metotlar kullanılarak bulunabilir.



Şekil 1.22: Ağırlık merkezi

3.1. Ağırlık Merkezinin Analitik Metotla Bulunması

Cisimler uzunluk, genişlik ve derinliği olan üç boyutlu nesneler oldukları için ağırlık merkezlerinin uzaydaki yeri x, y ve z koordinatlarına göre belirlenmelidir.

Homojen bir cismin ağırlık merkezi bulunurken geometrik şekli dikkate alınır. Simetrik cisimlerde ise ağırlık merkezi, simetri eksenlerinin kesiştiği noktadır. Cismi meydana getiren malzemenin simetrik ve homojen (türdeş) olmaması durumunda cismin ağırlık merkezi, yoğun olan tarafta bulunur.

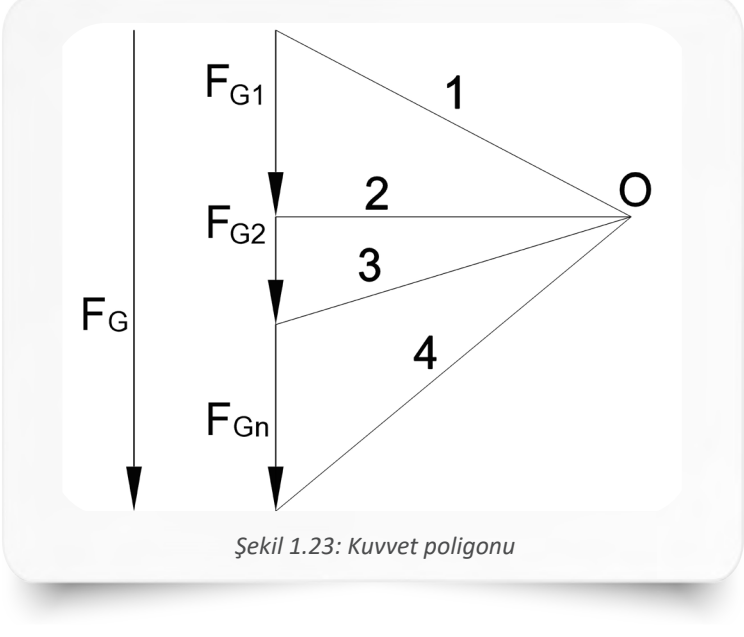
- **Çizgilerin ağırlık merkezi:** Cisim, tel çubuk şeklindeyse ağırlık merkezi çubuğun boyuna bağlı olarak bulunur.
- **Yüzeylerin ağırlık merkezi:** Sac, levha, ince plaka gibi kalınlıkları ihmal edilebilecek cisimlerin ağırlık merkezi, iki boyutlu bir cisimmiş gibi düşünülerek hesaplanır.
- **Hacimlerin ağırlık merkezi:** Cismin hacmi dikkate alınarak da ağırlık merkezi hesaplanabilir. Üç boyutlu cisimlerde ağırlık merkezi bulunurken cismin hacmi, ağırlık yerine kullanılabilir.

3.2. Ağırlık Merkezinin Grafik Metotla Bulunması

Aynı düzlem üzerinde yer alan paralel kuvvetlerin bileşkesi hesaplanırken grafik metot kullanılır. Bu metot, kuvvet poligonu ve ip poligonu olmak üzere iki aşamadan oluşur.

3.2.1. Kuvvet Poligonu

Bileşkenin şiddetini, yönünü ve doğrultusunu gösterir (Şekil 1.23).



Şekil 1.23: Kuvvet poligonu

3.2.2. İp Poligonu

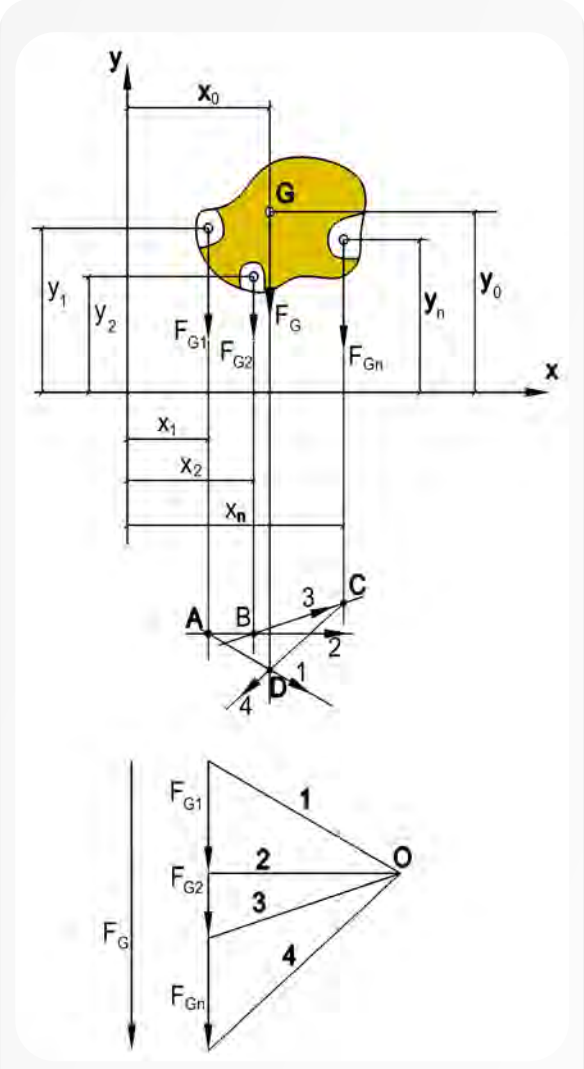
Bu yöntemin uygulanabilmesi için önce kuvvet poligonu çizilir. Ardından cisme etkiyen kuvvetler belirli bir ölçek ile uç uca eklenerek bileşke kuvvet (F_G) bulunur. Poligon dışındaki herhangi bir yerden bir **O** noktası belirlenerek $\mathbf{F_{G1}}$, $\mathbf{F_{G2}}$ ve $\mathbf{F_{Gn}}$ kuvvetleri sırası ile başlangıç ve bitiş noktalarından **O** noktası ile birleştirilir (Şekil 1.24). Birleştirme sonucunda oluşan çizgilere **ışın** denir. İp poligonu aşağıdaki adımlar izlenerek oluşturulur.

a) Kuvvet poligonunda bir kuvveti çevreleyen ışınlar, ip poligonunda aynı kuvvet üzerinde kesişirler (Şekil 1.24). Cisme etkiyen $\mathbf{F_{G1}}$ kuvvetinin düşey çizgisi üzerinde bir **A** noktası belirlenir. Kuvvet poligonunda $\mathbf{F_{G1}}$ e ait olan **1** ve **2** numaralı ışınlar, ip poligonunda **A** noktasından geçerler. Buna göre, kuvvet poligonu üzerindeki **1** numaralı ışına paralel olmak üzere **A** noktasından geçen bir doğru çizilir.

b) Daha sonra **2** numaralı ışına paralel ve **A** noktasından geçen bir doğru çizilir. **2** numaralı ışın aynı zamanda $\mathbf{F_{G2}}$ ye ait olduğundan doğru uzatılır ve $\mathbf{F_{G2}}$ kuvvetinin düşey çizgisi ile kesiştirilerek **B** noktası elde edilir.

c) $\mathbf{F_{G2}}$ye ait olan **3** numaralı ışın da kendisine paralel olacak ve **B** noktasından geçecek şekilde çizilir. **3** numaralı ışın aynı zamanda $\mathbf{F_{Gn}}$ kuvvetine de ait olduğu için uzatılarak $\mathbf{F_{Gn}}$ kuvvetinin düşey çizgisi ile kesiştirilir ve elde edilen **C** noktasından kuvvet poligonundaki **4.** ışına paralel olan bir doğru çizilir.

ç) **1** ve **4** numaralı ışınlar, aynı zamanda $\mathbf{F_G}$yi sınırladıkları için uzatılarak kesiştirilir ve **D** noktası bulunur. Cismin ağırlık merkezi **D** noktasından geçen düşey çizgi üzerindedir. Ağırlık merkezinin tam yerinin bulunabilmesi için kuvvetler çokgeninin **y** koordinatı tarafından uygulanması gerekir. Buradan elde edilecek çizgi ile daha önce bulunan ve **D** noktasından geçen çizginin kesiştiği nokta, uygulama noktasıdır.



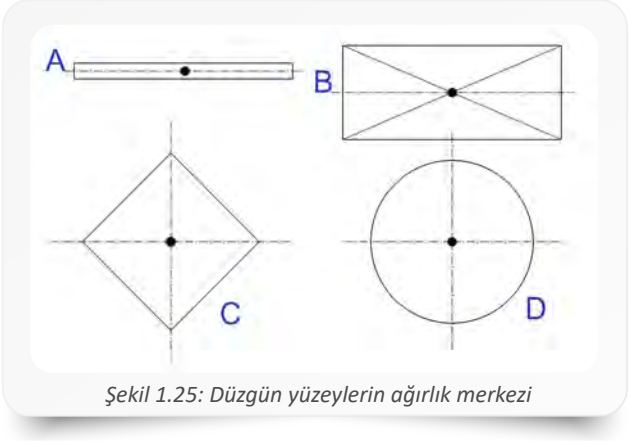
Şekil 1.24: İp poligonu

3.3. Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması

Cisimlerin ağırlık merkezi yüzeylerine göre belirlenecekse cisimler iki boyutlu olarak incelenir. Düzgün, içi boş, katlanmış veya bileşik yüzeylerin ağırlık merkezleri farklı yöntemlerle bulunur.

3.3.1. Düzgün Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması

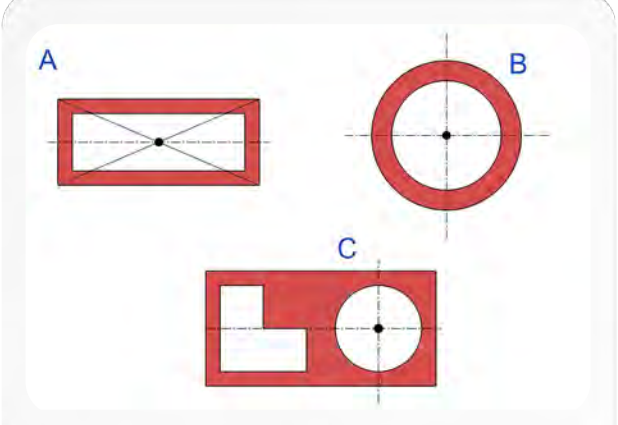
Kare, dikdörtgen, eşkenar dörtgen gibi düzgün yüzeylerin ağırlık merkezi, simetri eksenlerinin kesiştiği nokta üzerindedir. İnce ve düzgün bir çubuğun ağırlık merkezi çubuğun orta noktasıdır. Dairenin ağırlık merkezi ise eksen çizgilerinin kesiştiği merkez noktasıdır (Şekil 1.25).



Şekil 1.25: Düzgün yüzeylerin ağırlık merkezi

3.3.2. İçi Boş Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması

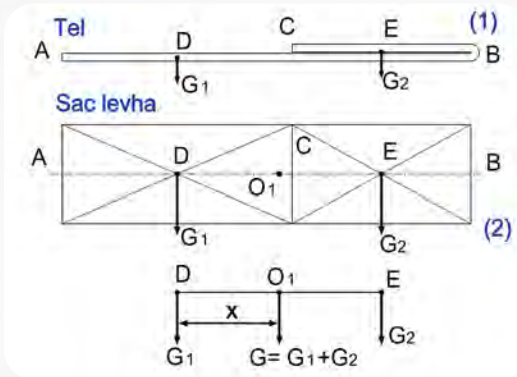
Düzgün şekilli içi boş yüzeylerin ağırlık merkezleri de simetri eksenlerinin kesiştiği nokta üzerindedir. Dairenin ağırlık merkezi, dairenin merkez noktasıdır. Ağırlık merkezinin uygulama noktası cismin boşaltılmış kısmına gelse bile burası etki ettiği nokta olarak kabul edilir. Boşaltılan kısmın simetrik olmaması durumunda ağırlık merkezi grafik veya analitik metotla bulunur ve boşaltılan kısımlar denklemde negatif (-) olarak işaretlenir. Cismin ağırlık merkezi, dolu olan kısma doğru kayar (Şekil 1.26).



Şekil 1.26: İçi boş yüzeylerin ağırlık merkezi

3.3.3. Üst Üste Katlanmış Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Bulunması

Tel çubuk, sac levha gibi cisimler katlanırsa katlanan kısımda ağırlık farkı oluşur. Bu nedenle üst üste katlanmış yüzeylerin ağırlık merkezi hesaplanırken cismin ağırlığı esas alınır. Cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi bulunur, grafik ve analitik metot uygulanarak hesaplama yapılır. Bu yöntemler yerine daha pratik bir şekilde hesaplama yapılabilmesi için katlanmış yüzeyler, vektörel bir çizgi ile ifade edilerek $G_1 . DO_1 = G_2 . EO_1$ denklemi kullanılabilir (Şekil 1.27).



Şekil 1.27: Üst üste katlanmış yüzeylerin ağırlık merkezi

3.3.4. Bileşik Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Grafik Metotla Bulunması

Bileşik veya düzgün olmayan yüzeylerin ağırlık merkezleri grafik metotla (Şekil 1.28) bulunurken şu işlem basamakları izlenir.

a) Bileşke cismi meydana getiren düzlemsel yüzey, basit yüzeylere ayrılarak ağırlık merkezleri işaretlenir.

b) Ayrılan her basit yüzeyin alanı ile doğru orantılı kuvvetler seçilir.

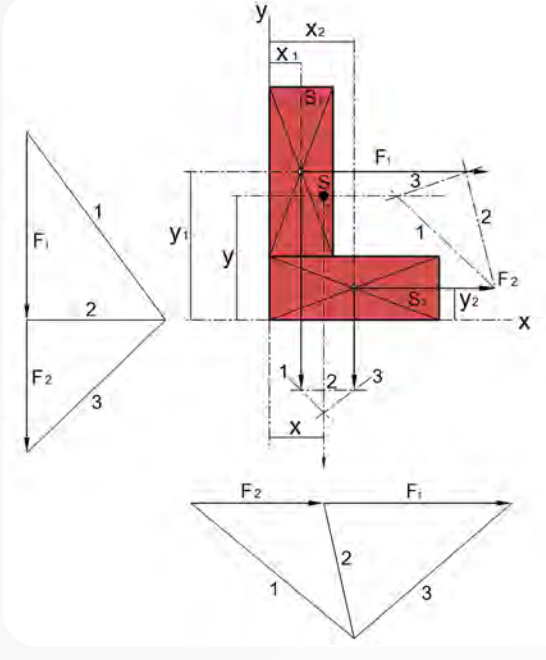
c) Seçilen bu kuvvetler, birbirleri ile paralel olacak şekilde ait oldukları merkez noktalara tatbik ettirilir.

ç) Geometrik metot uygulanarak bu kuvvetlerin bileşkeleri ve doğrultuları bulunur.

d) Basit yüzeylerin alanları ile doğru orantılı seçilmiş olan kuvvetler, uygulama noktaları ve şiddetleri aynı kalacak şekilde herhangi bir açı ile döndürülür (Şekil 1.28'de 90° ile döndürülmüştür).

e) Kuvvetlerin bileşkeleri ve bileşke kuvvetin doğrultusu tekrar bulunur.

f) İki bileşkenin doğrultusunun kesişme yeri ağırlık merkezini verir.



Şekil 1.28: Bileşik yüzeylerde grafik metot uygulanması

3.3.5. Bileşik Yüzeylerin Ağırlık Merkezinin Analitik Metotla Bulunması

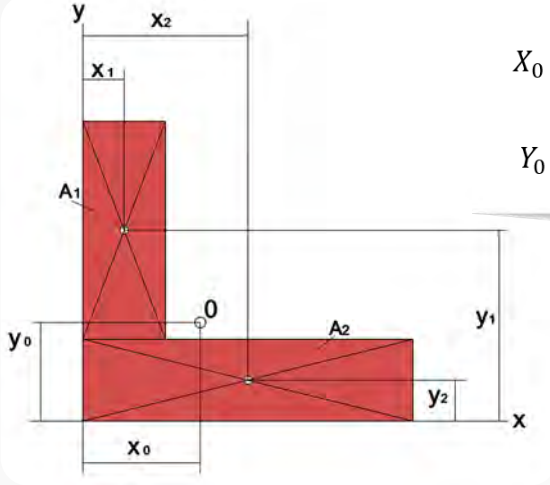
Bileşik veya düzgün olmayan yüzeylerin ağırlık merkezlerinin analitik metotla bulunması için aşağıdaki işlem basamakları izlenir.

a) Bileşke cismi meydana getiren geometrik şekillerin alanları (A_1, A_2) bulunur.

b) Bulunan alanlar, ağırlık merkezlerinin **y** eksenine uzaklığı ile çarpılarak toplanır.

c) Bulunan toplam değer ($A_1 . x_1 + A_2 . x_2$) bileşke yüzeyin alanına ($A_1 + A_2$) bölündüğünde ağırlık merkezinin **x** eksenine uzaklığı bulunur.

ç) Aynı işlem **x** eksenine göre yapılarak **y** eksenine uzaklığı hesaplanır (Şekil 1.29).

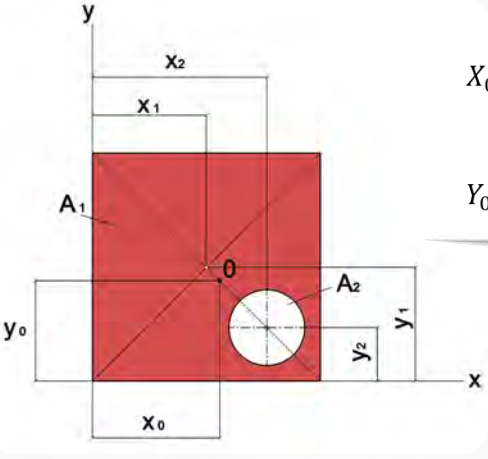


$$X_0 = \frac{A_1 . x_1 + A_2 . x_2}{A_1 + A_2}$$

$$Y_0 = \frac{A_1 . y_1 + A_2 . y_2}{A_1 + A_2}$$

Şekil 1.29: Bileşik yüzeylerde analitik yöntemin uygulanması

d) Bileşke cisimlerin içi boş yüzeylerden oluşması durumunda boşaltılan kısımlar denklemde negatif (-) olarak işaretlenir (Şekil 1.30).

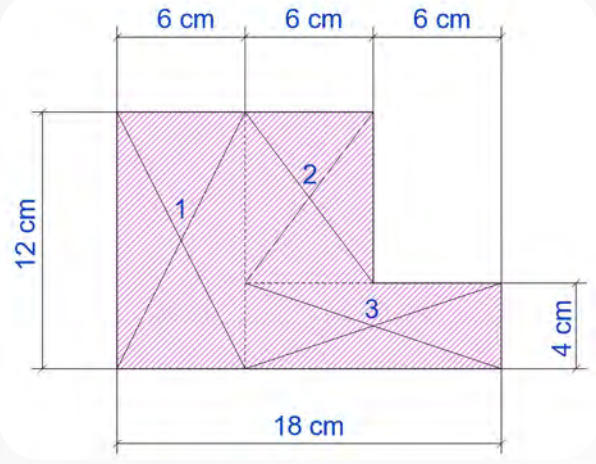


$$X_0 = \frac{A_1 . x_1 - A_2 . x_2}{A_1 - A_2}$$

$$Y_0 = \frac{A_1 . y_1 - A_2 . y_2}{A_1 - A_2}$$

Şekil 1.30: İçi boş yüzeylerde analitik yöntemin uygulanması

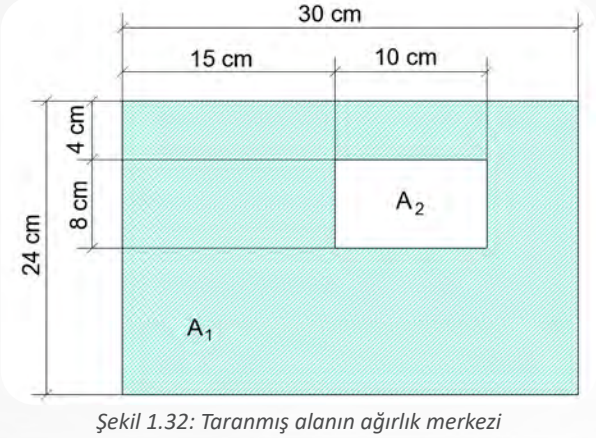
Örnek 11: Şekildeki bileşke yüzeylerin ağırlık merkezi koordinatlarını hesaplayınız (Şekil 1.31).



Şekil 1.31: Bileşke yüzeylerin ağırlık merkezi koordinatları

Verilenler:	**Çözüm:**
$x_1 = 3$ cm	$A_1 = 6 \cdot 12 = 72\ cm^2$ $\quad A_2 = 6 \cdot 8 = 48\ cm^2$ $\quad A_3 = 4 \cdot 12 = 48\ cm^2$
$x_2 = 9$ cm	$X_0 = \dfrac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3}{A_1 + A_2 + A_3}$
$x_3 = 12$ cm	$X_0 = \dfrac{72 \cdot 3 + 48 \cdot 9 + 48 \cdot 12}{72 + 48 + 48} = \dfrac{216 + 432 + 576}{168} = \dfrac{1124}{168} =$ **6,69 cm olur.**
$y_1 = 6$ cm	$Y_0 = \dfrac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$
$y_2 = 8$ cm	
$y_3 = 2$ cm	$Y_0 = \dfrac{72 \cdot 6 + 48 \cdot 8 + 48 \cdot 2}{72 + 48 + 48} = \dfrac{432 + 384 + 96}{168} = \dfrac{912}{168} =$ **5,42 cm olur.**

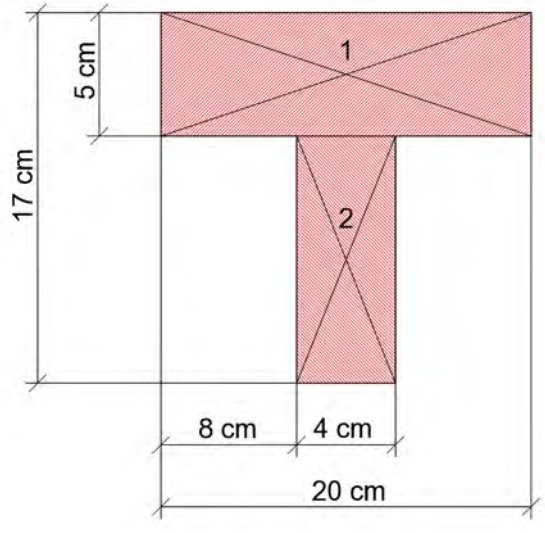
Örnek 12: Şekildeki taranmış alanın ağırlık merkezinin koordinatlarını hesaplayınız (Şekil 1.32).



Şekil 1.32: Taranmış alanın ağırlık merkezi

Verilenler:	**Çözüm:**
$x_1 = 15$ cm $x_2 = 20$ cm $y_1 = 12$ cm $y_2 = 16$ cm	$A_1 = 30 \cdot 24 = 720$ cm^2 $\quad A_2 = 8 \cdot 10 = 80$ cm^2 $X_0 = \frac{A_1 \cdot x_1 - A_2 \cdot x_2}{A_1 - A_2} = \frac{720 \cdot 15 - 80 \cdot 20}{720 - 80} = \frac{10800 - 1600}{640} = \frac{9200}{640} =$ **14,37 cm olur.** $Y_0 = \frac{A_1 \cdot y_1 - A_2 \cdot y_2}{A_1 - A_2} = \frac{720 \cdot 12 - 80 \cdot 16}{720 - 80} = \frac{8640 - 1280}{640} = \frac{7360}{640} =$ **11,5 cm olur.**

Örnek 13: Şekil 1.33'te görülen T şeklindeki bileşik yüzeyin ağırlık merkezi koordinatlarını hesaplayınız.



Şekil 1.33: T şeklindeki bileşke yüzeyin ağırlık merkezi

Verilenler:	**Çözüm:**
$x_1 = 10$ cm $x_2 = 10$ cm $y_1 = 14,5$ cm $y_2 = 6$ cm	$A_1 = 5 \cdot 20 = 100$ cm^2 $\quad A_2 = 12 \cdot 4 = 48$ cm^2 $X_0 = \frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2}{A_1 + A_2} = \frac{100 \cdot 10 + 48 \cdot 10}{100 + 48} = \frac{1000 + 480}{148} = \frac{1480}{148} =$ **10 cm olur.** $Y_0 = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = \frac{100 \cdot 14,5 + 48 \cdot 6}{100 + 48} = \frac{1450 + 288}{148} = \frac{1738}{148} =$ **11,74 cm olur.**

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan yerlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Eksene veya noktaya göre momentin değeri, kuvvetin büyüklüğü ile kuvvet kolunun çarpımına eşittir.

2. ( ) Cismin değişmez madde miktarına ağırlık denir.

3. ( ) Momentin oluşabilmesi için cisme etki eden kuvvetin doğrultusu, döndürme noktasının dışından geçmelidir.

4. ( ) İnce ve düzgün bir çubuğun ağırlık merkezi çubuğun orta noktasıdır.

B) Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Kuvvetler etkisindeki cisimlerin denge durumunu inceleyen bilim dalına ..... denir.

2. Şiddetleri eşit, birbirine paralel ve zıt yönlü kuvvetlerin meydana getirdiği sisteme ..... denir.

3. Bir cismin, dış kuvvetlerin etkisi altında ötelenmesini ve dönmesini engellemek için kullanılan dayanak veya sabit bağlantılara ..... adı verilir.

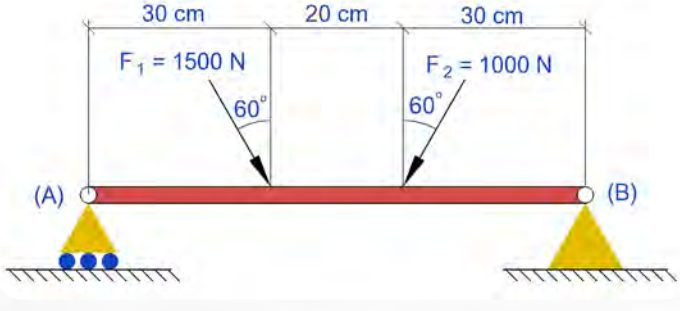
4. Cismin moleküllerine etkiyen yerçekimi kuvvetlerinin bileşkesinin tatbik noktasına ..... denir.

5. Kuvvetin cisim üzerindeki döndürme etkisine ..... denir.

C) Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak çözünüz.

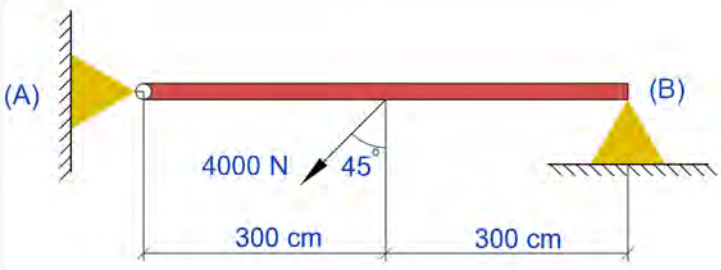
1. Bir öğrenci silindir kapağı montajını 100 cm uzunluğunda bir tork anahtarı ile 450 N'luk kuvvet uygulayarak yapmaktadır. **Bu durumda cıvata üzerinde meydana gelecek momenti hesaplayınız.**

2. Şekildeki bir ucu kayar mesnet, diğer ucu sabit mesnetli olan AB çubuğu her biri yatay düzlemle 60°lik bir açı yapan F_1 (1500 N) ve F_2 (1000 N) kuvvetlerinin etkisindedir. **AB çubuğunda oluşan mesnet tepkilerini hesaplayınız** (Şekil 1.34).



Şekil 1.34: AB çubuğunda oluşan mesnet tepkileri

3. Şekildeki AB çubuğuna 4000 N'luk kuvvet etki ettirilmiştir. **B mesnedindeki aksi tesiri hesaplayınız** (Şekil 1.35).

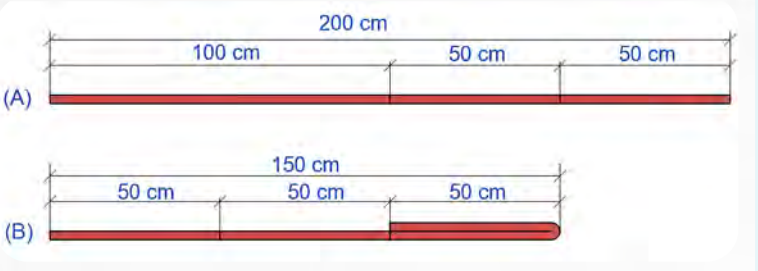


Şekil 1.35: B mesnedindeki aksi tesir

4. Şekil 1.36'da 200 cm uzunluğunda homojen bir çubuk görülmektedir. Buna göre:

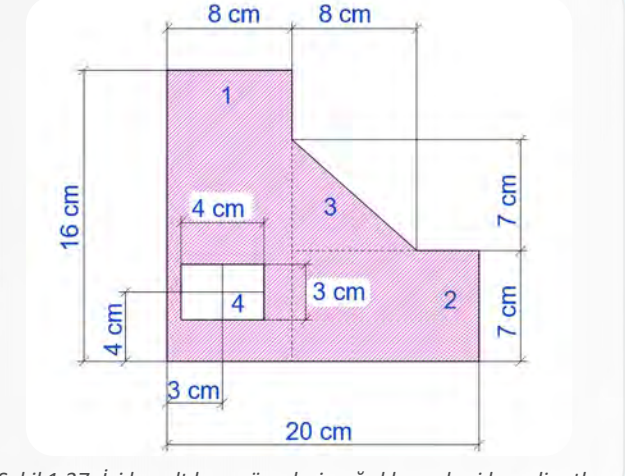
a) Çubuğun ağırlık merkezini hesaplayınız.

b) Şekildeki çubuk (B durumunda gösterildiği gibi) katlandığında oluşacak ağırlık merkezini hesaplayınız.



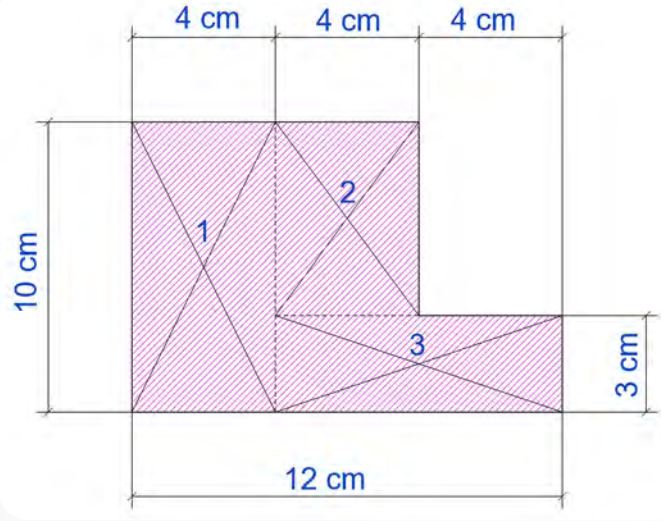
Şekil 1.36: Homojen çubuğun ağırlık merkezi

5. Şekil 1.37'deki taranmış alanın ağırlık merkezi koordinatlarını hesaplayınız.



Şekil 1.37: İçi boşaltılmış yüzeylerin ağırlık merkezi koordinatları

6. Şekil 1.38'deki taralı alanın ağırlık merkezinin koordinatlarını bulunuz.



Şekil 1.38: Ağırlık merkezinin koordinatları



2. ÖĞRENME BİRİMİ

DAYANIM

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. DAYANIM VE GERİLİM

2. BASILMA DAYANIMI (BASMA GERİLİMİ)

3. ÇEKİLME DAYANIMI

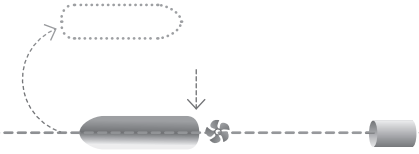
4. KESİLME DAYANIMI

5. EĞİLME DAYANIMI

6. BURULMA DAYANIMI

7. BURKULMA (FLAMBAJ) DAYANIMI

KOD=16586



HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. Binaların deprem gibi olağanüstü yük ve zorlamalar karşısında dayanıklı olması ve böylece yaşanabilecek can ve mal kayıplarının önlenebilmesi için neler yapılabileceği hakkında fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.
2. Bina yapımında kullanılan inşaat malzemelerinin önemini ve bu malzemeler seçilirken nelere dikkat edilmesi gerekebileceğini tartışınız.

DAYANIM

Makine işletim sistemlerindeki parçalar; çalışma koşullarına bağlı olarak çekilme, burulma, basılma, eğilme ve kesilme gibi dış kuvvetlerin etkisinde kalır. Bu dış kuvvetlerin iç kuvvetlerden daha büyük olması durumunda ise parçalarda bazı şekil ve özellik kayıpları meydana gelir. Makine parçalarının dış kuvvetlerden mümkün olduğu kadar az etkilenmesi ve görevlerini uzun süreler boyunca en yüksek verimle yerine getirmesi istenir. Dış kuvvetlere dayanıklı sistem ve mekanizmalar yapılarak çalışma ortamlarında can ve mal kayıplarının önüne geçilebilir. Bir gemi adamının gemi makinelerini oluşturan parçaların dayanma sınırlarını ve dış kuvvetlere gösterdikleri tepkileri bilmesi, bu parçaların bakım, onarım ve değişimlerinin zamanında yapılması için önemlidir. Bu bilgiler sayesinde hem makinelerin daha uzun süre ve yüksek verimle çalışması hem de iş yeri güvenliği sağlanabilir.

1. DAYANIM VE GERİLİM

Taşıyıcı sistemler, yapılar ve makine elemanları pek çok dış kuvvete maruz kalır. Bu sistemlerin ve katı cisimlerin dış yüklere dayanıklı olup olmadığını, dayanıklı olabilmesi için seçilmesi gereken malzemenin cinsinin ve boyutlarının nasıl olması gerektiğini inceleyen bilim dalına **dayanım** denir. Çeşitli dış kuvvetlere maruz kalan malzemelerin dayanım ve gerilim hesaplamaları yapılırken kullanılan semboller ve yazılışları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Dayanım ve Gerilim Hesaplamaları Yapılırken Kullanılan Semboller ve Açılımları

Küçük harf	Büyük harf	Açılımları
α	A	Alpha
β	B	Beta
γ	Γ	Gamma
δ	Δ	Delta
ε	E	Epsilon
ζ	Z	Zeta
η	H	Eta
ί	I	Iota
κ	K	Kappa
λ	Λ	Lamda
μ	M	Mu

Küçük harf	Büyük harf	Açılımları
ν	N	Nu
ξ	Ξ	Xi
ο	O	Omicron
π	Π	Pi
ρ	P	Rho
σ	Σ	Sigma
τ	T	Tau
υ	Y	Upsilon
χ	X	Chi
ψ	Ψ	Psi
ω	Ω	Omega

Sistemin kararlı ve güvenli çalışabilmesi için malzemeler bütünlüklerini koruyabilmeli, eğilmemeli ya da kırılmamalıdır. Görsel 2.1'de dış yüklere maruz kalarak kırılan bir pervane ve şaft görülmektedir.





Görsel 2.1: Dış yüklere maruz kalarak kırılan pervane ve şaft

1.1. Cisimlere Uygulanan Dış Yükler

Dış kuvvetlerin etkisi altında kalan bir cismin moleküllerinin birbirine yaptığı etkiye **iç kuvvet** denir. İç kuvvetlerin oluşmasına sebep olan dış yükler statik, periyodik (dinamik) ve olağanüstü yükler ile zorlamalardır.

1.1.1. Statik Yükler

Cıvata, mil, saplama gibi makine parçalarına veya yapı elemanlarına yavaşça ve daha önce belirlenen sabit değerlerle etki eden yüklerdir.

1.1.2. Periyodik (Dinamik) Yükler

Makine elemanlarına etkiyen yüklerin şiddetleri ve yönleri zamanla değişiyorsa bu yüklere **periyodik (dinamik) yükler** denir. Sistemin çalışma şartlarına bağlı olarak sıcaklık etkisi ile cisimlerde uzama ve kısalmalar meydana gelir. Geniş aralıklı sıcaklık farklarının neden olduğu genleşmeler yüzünden cisimde şekil değişimleri oluşur. Tren raylarının sıcaklık etkisiyle genleşmesi bu duruma örnek olarak verilebilir.

Sıcaklık etkisi ile oluşan yük (F) sonucu, cisimde meydana gelen gerilme aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

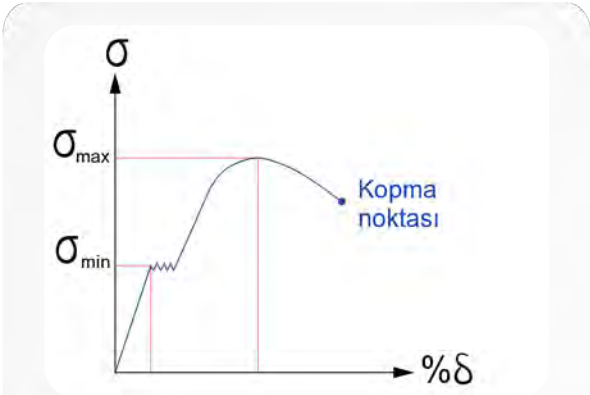
σ = Gerilme (daN/cm^2) α = Uzama katsayısı (birimsiz) E = Elastiklik modülü (daN/cm^2) $\Delta t = (t_2 - t_1)$ Sıcaklık farkı (^oC)	$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta t$

1.1.3. Zorlamalar ve Olağanüstü Yükler

Sisteme, yapıya veya makine elemanlarına çok kısa zaman aralığında etkiyen yüklerdir. Dalga, anlık manevra ya da pervanenin deniz üstüne çıkması, gemide karşılaşılabilecek zorlamalara ve olağanüstü yüklere örnek verilebilir.

1.2. Gerilim (Gerilme)

Sistemin ya da katı cismin birim kesit alanına etki eden iç kuvvete **gerilim (gerilme)** denir. Gerilim **σ (sigma)** işareti ile gösterilir. Dış kuvvetlerin etkisi altında olan cismin kesit alanındaki iç kuvvetlerin hepsine birden ise **toplam gerilim** denir. Makine elemanlarının maruz kaldığı dış yükler, elemanların içinde gerilmeler oluşturur. Gerilmeler yüzünden cismin içyapısında meydana gelen yıpranmalar, cismin zamanla uzamasına ve yorularak kopmasına neden olur. Kopmadan az önceki en büyük gerilime **maksimum gerilim** denir ve bu σ_{max} sembolü ile gösterilir. Malzemeye uygulanan çekme kuvveti ile malzemede oluşan gerilme ve yüzdelik uzama eğrisi maksimum gerilim diyagramı ile gösterilir (Şekil 2.1). Makinedeki dişli, mil ve bağlantı elemanı gibi parçaların, taşıyıcı sistemlerin ve yapıların etkisi altında kaldıkları dış yüklere dayanabilecek şekilde tasarlanması, iş güvenliği açısından önemlidir.



Şekil 2.1: Maksimum gerilim diyagramı

1.2.1. Emniyet Katsayısı

Malzemelerin üzerlerine yüklenen kuvvetleri emniyetli bir şekilde karşılayarak bütünlüklerini uzun süre koruyabilmesi için malzemeye verilen tolerans değerine **emniyet katsayısı (E.K.S.)** denir. Can güvenliğinin önemli olduğu mekanizmalarda ve yapılarda bu katsayının daha yüksek olmasına dikkat edilir.

Makine parçaları üretilirken hammadde olarak kullanılan malzemelerin içyapısında çatlaklar veya boşluklar oluşabilir. Bunun yanında malzemelerin dayanıklılık analizlerinde ve malzemeye uygulanacak yüklemelerde hatalar yapılabilir. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı makine elemanları her zaman kendileri için tehlikeli sayılan sınır değerlerin altında yüklenmelidir.

1.2.2. Emniyetli Gerilim

Malzemelerin kendinlerine tesir eden dış kuvvetleri emniyetle taşıyabileceği ve bütünlüklerini koruyarak görevlerini aksatmadan sürdürebilecekleri gerilime **emniyetli gerilim** denir. Emniyetli gerilim aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$\text{Emniyetli gerilim} = \frac{\text{Maksimum gerilim}}{\text{E.K.S.}}$	σ_{zem} = Emniyetli çekme gerilimi σ_{max} = Maksimum çekilme gerilimi	$\sigma_{zem} = \frac{\sigma_{max}}{\text{E.K.S.}}$
Emniyetli gerilim = (N/mm^2, daN/cm^2) E.K.S. = Emniyet katsayısı	τ_{zem} = Emniyetli kesilme gerilimi τ_{max} = Maksimum kesme gerilimi	$\tau_{zem} = \frac{\tau_{max}}{\text{E.K.S.}}$

Örnek 1: Maksimum kopma gerilmesi 6000 daN/cm² olan malzemeden bir makine elemanı yapılacaktır. Emniyet katsayısının 6 olması durumunda emniyetli gerilim değeri kaç olur?

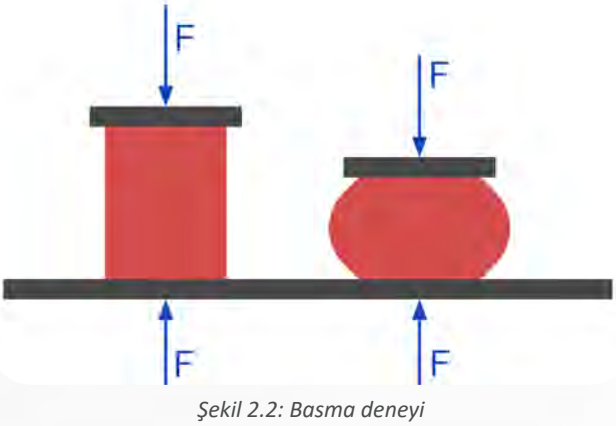
Verilenler:	**Çözüm:**
σ_{max} = 6000 daN/cm²	$\sigma_{zem} = \frac{\sigma_{max}}{E.K.S.}$
E.K.S.= 6	$\sigma_{zem} = \frac{6000}{6}$ = **1000 daN/cm² dir.**
σ_{zem} = ?	

2. BASILMA DAYANIMI (BASMA GERİLİMİ)

Bir malzeme iki ucundan kuvvet uygulanarak ekseni doğrultusunda sıkıştırıldığında malzemenin içyapısında bir basınç oluşur. Oluşan bu iç kuvvetlerin malzemenin birim alanına oranına **basılma dayanımı** (**basma gerilimi)** denir. Basılma dayanımı **σ** sembolü ile gösterilir. Basılma dayanımı hesaplamalarında cisme etki eden kuvvetin basınç olduğunun belirtilmesi için bu sembol, Almancada basınç anlamına gelen **druct** (dırakt) kelimesinin baş harfi ile birlikte σ_d şeklinde kullanılır. Basılma dayanımı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

F = Dış kuvvet (N, daN) A = Kesit alanı (mm², cm²) σ_d = Basılma dayanımı (daN/cm², N/mm²)	$\sigma_d = \frac{F}{A}$

Bir malzemenin küçük bir kesiti alınarak bu kesite basma kuvveti uygulanır ve malzemenin basılma dayanımı ölçülür. Şekil 2.2'de basılma gerilimine maruz kalan yumuşak bir cismin şekil değişimi görülmektedir.



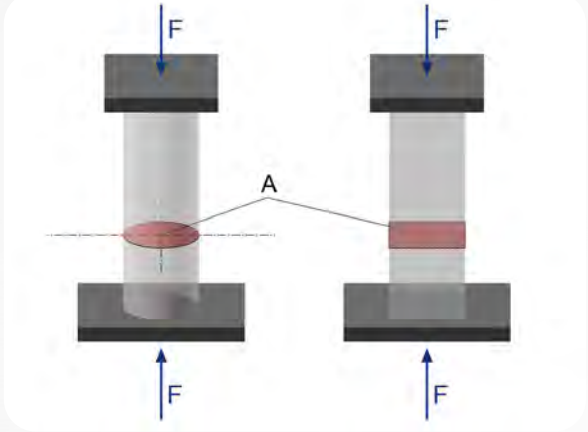
Şekil 2.2: Basma deneyi

2.1. Basılmaya Zorlanan Elemanlar

Bir cisme ekseni doğrultusunda bir kuvvet etki ettiğinde cisim kısalmaya çalışır ve cisimde Şekil 2.3'teki gibi dik gerilmeler meydana gelir. Pres milleri, piston kolları ve kalıp zımbaları bu şekilde çalışan elemanlara örnek verilebilir. Cisimlerin birbiri üzerine yaptığı etki ile meydana gelen basınç, cisimde ezilmelere neden olur. Basınç ve ezilmede, temas yüzeyinin konumu ve büyüklüğü önemlidir. SI birim sistemine göre basınç birimleri ve aralarındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

1 Pascal = 1 N/m^2 = 1 . 10^{-5} Bar

1 Bar = 10^5 N/m^2 = 1 daN/cm^2



Şekil 2.3: Basma kuvveti

2.2. Basılma Dayanımı Hesaplamaları

Basılma dayanımı, kuvvetlerin cisme etki etme şekline göre hesaplanır. Kuvvet, cisme doğrudan veya dolaylı şekilde etki edebilir. Ayrıca kuvvetin yönü, miktarı ve etki ettiği alan da cismin basılma dayanımına etki eder.

2.2.1. Direkt Yüklere Göre Basılma Dayanımının Hesaplanması

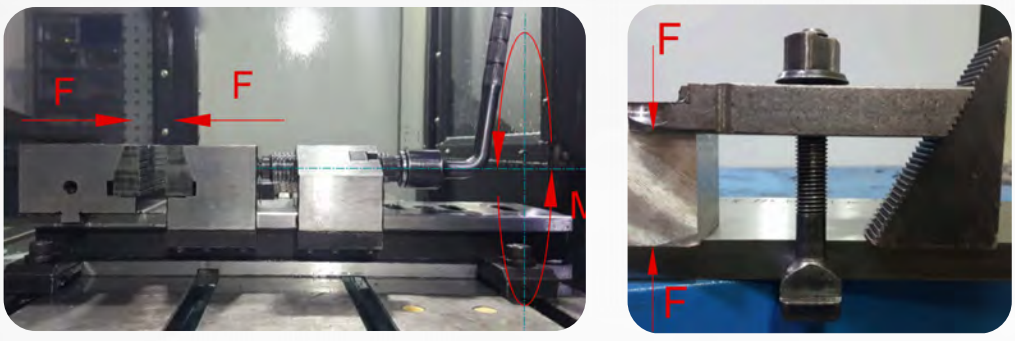
Cisme etki eden yükler ya da dış kuvvetler, cisme ekseni doğrultusunda ve doğrudan etki ediyorsa bu duruma **direkt yükleme** denir. Direkt yüklere göre basılma dayanımı hesaplamalarında, basma gerilimi bağıntısı kullanılır.

Örnek 2: Kare kesitli betonarme bir kolonun kenar uzunluğu 30 cm'dir. Kolona binen yük 18000 daN olduğuna göre, kolonda meydana gelen basılma dayanımını hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
F = 18000 daN	$A = a \cdot a = a^2 = 30^2 = 900\ cm^2$
a = 30 cm	$\sigma_d = \frac{F}{A} = \frac{18000}{900}$ = **20 daN/cm² dir.**
σ_d = ?	

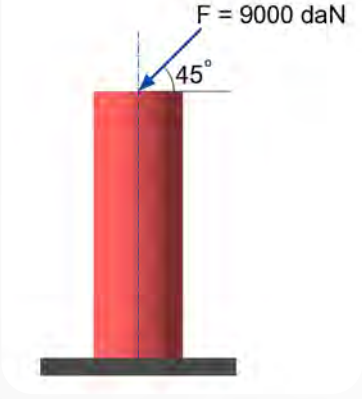
2.2.2. Dolaylı Yüklere Göre Basılma Dayanımının Hesaplanması

Makine içerisinde meydana gelen hareket enerjisi ve üretilen kuvvet; mil, kol, dişli gibi makine parçaları aracılığıyla kullanım yerine iletilir. İletim sırasında, üretilen kuvvetin tamamı sisteme aktarılamaz. Örneğin Görsel 2.2'deki gibi bir mengenenin döndürme koluna uygulan moment, mengenenin çeneleri arasına sıkıştırılan parçanın yüzeylerine F kuvveti şeklinde etki eder.



Görsel 2.2: Dolaylı yükler

Örnek 3: Şekil 2.4'te yarı çapı 50 mm olan dairesel kesitli dökme demire etkiyen kuvvet ve etkilediği kesit gösterilmektedir. Dökme demirde meydana gelen basma gerilmesini hesaplayınız (π = 3,14 alınacak.).



Şekil 2.4: Dökme demire etkiyen açılı yük

Verilenler:	**Çözüm:**
F = 9000 daN r = 50 mm = 5 cm sin45° = 0,707 σ_d = ?	$A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 5^2 = 3,14 \cdot 25 = 78,5\ cm^2$ $F_{dik} = F \cdot \sin45° = 9000 \cdot 0,707 = 6363\ daN$ $\sigma_d = \frac{F_{dik}}{A} = \frac{6363}{78,5} =$ **81,057 daN/cm² dir.**

3. ÇEKİLME DAYANIMI

Bir cisme etki eden kuvvetler eksen boyunca birbirinden uzaklaşırlarsa cisimde çekme ya da çekilme meydana gelir (Şekil 2.5). Meydana gelen dayanıma da **çekilme dayanımı** denir. Çekilme dayanımı, cismin kesit alanına (A) ve molekül yapısına bağlıdır.

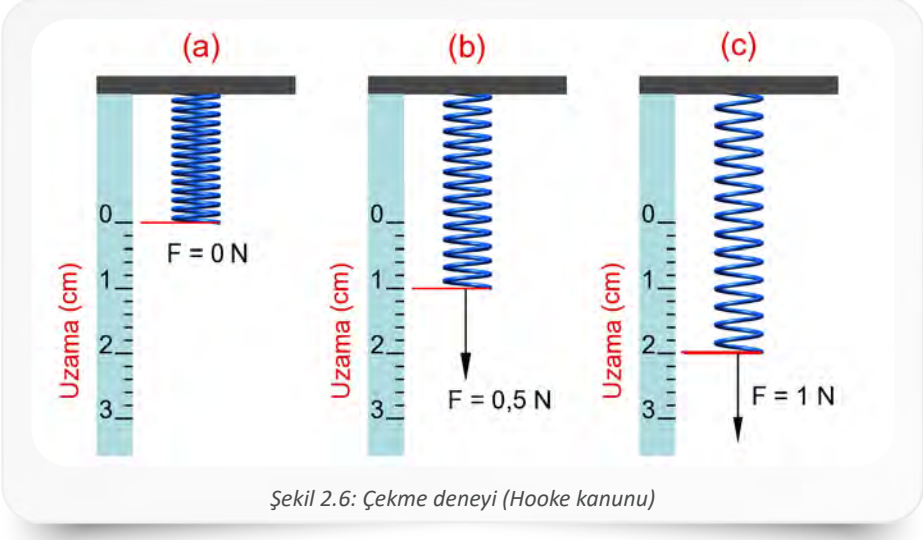


Şekil 2.5: Cisme uygulanan çekme kuvvetleri

3.1. Hooke Kanunu

Cisme uygulanan kuvvet ile cismin uzaması arasındaki ilk bağıntı, İngiliz bilim insanı Robert Hooke tarafından keşfedildi. Hooke kanununa göre, malzemenin elastiklik sınırları içerisinde kalması koşuluyla bir cismi gerdirmek için kullanılan kuvvet ile cisimde meydana gelen şekil değiştirme (uzama) doğru orantılıdır.

Makine elemanlarının üretiminde kullanılacak malzemelerde görülebilecek şekil değişimleri ve mekanik özelliklerin tespiti için en sağlıklı sonuçlar standart çubukların kullanıldığı **çekme deneyi**nde alınır. Şekil 2.6'daki gibi bir cetvel yardımı ile yapılan çekme deneyinde yayda meydana gelen şekil değişimleri görülmektedir.

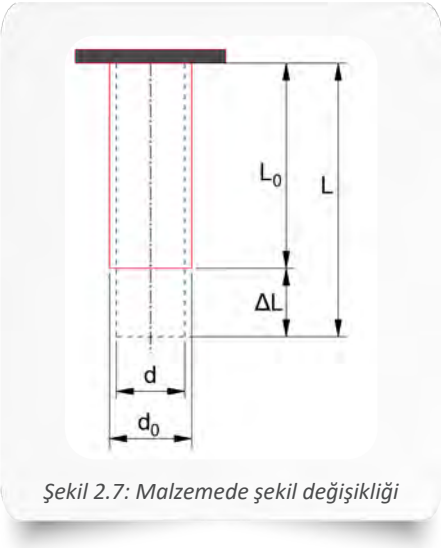


Şekil 2.6: Çekme deneyi (Hooke kanunu)

- Birinci durumda (a), ucunda herhangi bir yük bulunmayan (F = 0 N) yayda etki kuvveti oluşmaz yani uzama görülmez.
- İkinci durumda (b), yayın ucuna etki eden kuvvet (F= 0,5), yayın uzamasına sebep olur (1 cm).
- Üçüncü durumda (c) ise yayın ucuna etkiyen kuvvetle (F= 1 N) doğru orantılı olarak uzama miktarının da (2 cm) arttığı görülür.

Çekme deneyi ile malzemenin elastiklik modülü, çekme dayanımı ve malzemenin uzaması gibi değerler elde edilir.

Elastiklik sınırları içerisinde olmak şartıyla malzemede meydana gelen şekil değişiklikleri ile bunlara karşılık gelen gerilme miktarları doğru orantılıdır. Bu oran malzemenin **elastiklik modülü**nü verir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Malzemede şekil değişikliği

Elastiklik modülü aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

ΔL = Toplam uzama (mm, cm) F = Eksenel kuvvet (N, daN) L_0 = İlk boy (mm, cm) A_0 = Kesit alanı (mm^2, cm^2) E = Elastiklik modülü (N/mm^2, daN/cm^2)	$\Delta L = \frac{F \cdot L_0}{E \cdot A_0}$ $E = \frac{\sigma_E}{\delta_E} = \frac{F / A_0}{\Delta L / L_0}$

Çekilmeye maruz kalan malzemenin boyu uzarken kesit alanı daralır. Malzemenin boyunun uzama miktarının malzemenin daralan enine oranı **Poisson oranı** olarak adlandırılır. Poisson oranı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

ΔL = Toplam uzama (mm, cm) L_0 = İlk boy (mm, cm) L = Son boy (mm, cm) d_0 = İlk en (mm, cm) d = Son en (mm, cm) Δd = Daralma miktarı (mm, cm) v = Poisson oranı (0-0,5 arasındadır.) δ = Boyca birim uzama δ_1 = Ence birim daralma	$v = \frac{-\delta_1}{\delta}$ $\delta = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$ $\delta_1 = \frac{d - d_0}{d_0} = \frac{\Delta d}{d_0}$

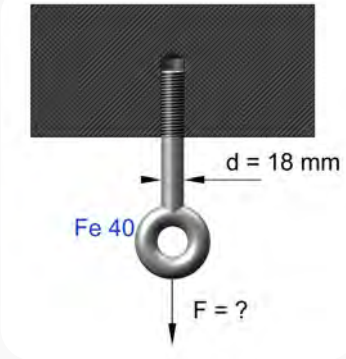
Örnek 4: Kenar uzunluğu 14 mm olan kare kesitli bir çubuk 21000 N'luk kuvvetle çekiliyor. Elastiklik modülü 2,1 . 10^5 N/mm² olan çubuğun uzama miktarı 10 mm olduğuna göre, çubuğun ilk boyunu hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
a = 14 mm F = 21000 N E = 2,1 . 10^5 N/mm² ΔL = 10 mm L_0 = ?	$A = a^2 = 14^2 = 196$ mm² $\Delta L = \frac{F \cdot L_0}{E \cdot A_0}$ $10 = \frac{21000 \cdot L_0}{2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 196}$ $L_0 = \frac{10 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 196}{21000}$ = 19600 mm = **19,60 m bulunur**.

3.2. Çekilmeye Zorlanan Elemanlar ve Çekilme Dayanımı Hesaplamaları

Kayışlar, zincirler, cıvatalar, çubuklar ve halatlar çekilmeye zorlanan elemanlardır. Çekilmeye zorlanan elemanlar üzerinde meydana gelen gerilmeler, malzemenin yüzey alanına göre değişkenlik gösterir.

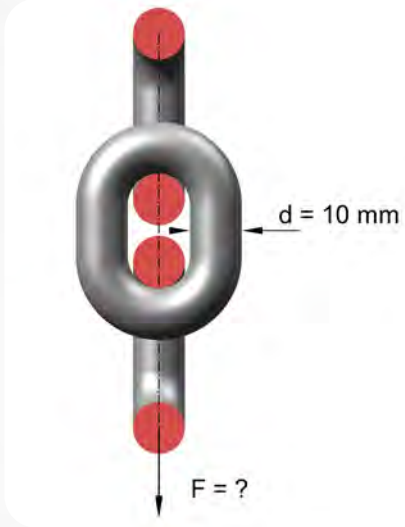
Örnek 5: Şekil 2.8'deki Fe 40 malzemesinden yapılmış olan askı çubuğunun çapı 18 mm'dir. Bu askı çubuğunun 5 emniyetle ekseni doğrultusunda taşıyabileceği yük kapasitesini hesaplayınız. (Fe 40 malzemesinin çekme dayanımı 40 daN/mm²dir, ve π = 3,14 alınacak.)



Şekil 2.8: Askı çubuğunun emniyetle taşıyabileceği yük

Verilenler:	**Çözüm:**
d = 18 mm E.K.S. = 5 Fe 40 = σ_z = 40 daN/mm² A = ? F = ?	$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 18^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 324}{4}$ = **254,34 mm²dir**. $\sigma_{zem} = \frac{\sigma}{E.K.S.} = \frac{40}{5}$ = 8 daN/mm² $\sigma_{zem} = \frac{F}{A}$ $F = \sigma_{zem} \cdot A = 8 \cdot 254{,}34$ = **2034,72 daN olur**.

Örnek 6: Şekil 2.9'daki zincir halkasının maksimum kopma gerilmesi 36 daN/mm² ve çubuk çapı 10 mm'dir. Bu bilgilere göre zincir halkasının taşıyabileceği yükü hesaplayınız (π = 3,14 alınacak.).



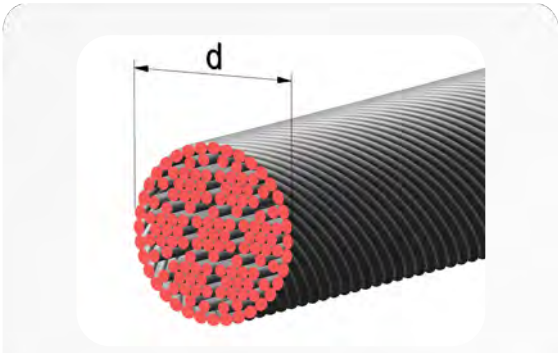
Şekil 2.9: Zincir halkasının taşıyabileceği yük

Verilenler:	**Çözüm:**
d = 10 mm $\sigma_{max} = \sigma_z$ = 36 daN/mm² A = ? F = ?	$A = \frac{\pi.d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 100}{4}$ = **78,5 mm²dir**. Zincirlerde kuvvetin etki ettiği alan, zincirin yapıldığı çubuğun kesit alanının iki katı olduğu için gerilim formülünde A yerine 2A yazılmalıdır. $\sigma_z = \frac{F}{2 \cdot A}$ $F = \sigma_z \cdot 2 \cdot A = 36 \cdot 2 \cdot 78,5$ = **5652 daN olur**.

Örnek 7: Kopma gerilmesi 6000 daN/cm² olan bir cıvatanın emniyet katsayısı 5'tir. Cıvatanın kesit alanı 1,6 cm² olduğuna göre, bu cıvatanın emniyetle taşıyabileceği yük miktarını hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
A = 1,6 cm² σ_{max} = 6000 daN/cm² E.K.S.= 5 F_{em} = ?	$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{max}}{E.K.S.} = \frac{6000}{5}$ = **1200 daN/cm²dir**. $\sigma_{em} = \frac{F}{A}$ $F = \sigma_{em} \cdot A = 1200 \cdot 1,6$ = **1920 daN bulunur**.

Örnek 8: Şekil 2.10'daki gibi bir telinin çapı 1,2 mm olan ve 120 telden meydana gelen çelik çekme halatın kopma dayanımı 180 daN/mm²dir. Buna göre çelik halatın 6 emniyet katsayısı ile taşıyabileceği yükü hesaplayınız (π = 3,14 alınacak.).



Şekil 2.10: Çelik halatın taşıyabileceği yük miktarı

Verilenler:	**Çözüm:**
d = 1,2 mm σ_z = 180 daN/mm² E.K.S.= 6 n = 120 (halattaki tel sayısı) σ_{zem} = ? F = ?	Halatta kuvvetin etki ettiği toplam alan, halattaki her bir telin alanı ile tel sayısının çarpımına eşittir. $A = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 120 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 135,648 \text{ mm}^2$ $\sigma_{zem} = \frac{\sigma_z}{E.K.S.} = \frac{180}{6} = 30 \text{ daN/mm}^2$ $\sigma_{zem} = \frac{F}{A}$ F = 30 . 135,648 = **4069,44 daN bulunur**.

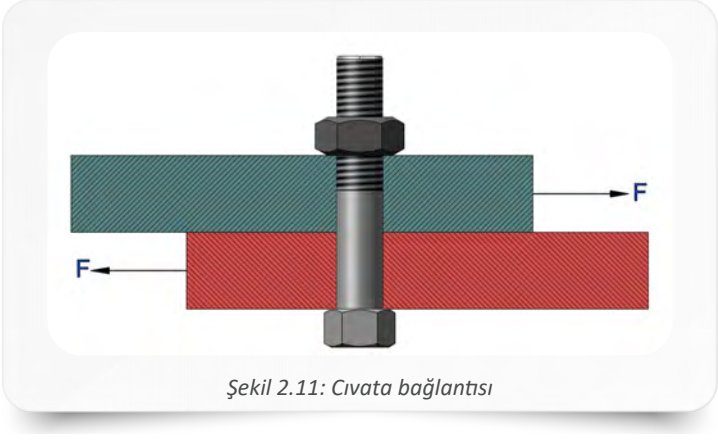
4. KESİLME DAYANIMI

Zıt yönlü kuvvetler, parçanın eksenine dik durumda birbirine yaklaştığında makaslama yaparak kesilmeye neden olur. Parçada bu duruma karşı oluşan dayanıma ise **kesilme dayanımı** (kesilme gerilmesi/kayma gerilimi) denir. Kesilme dayanımı **τ (Tau)** ile gösterilir ve birimi **N/mm²**dir. Kesilme dayanımı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

τ = Kesilme dayanımı (kayma gerilimi) (N/mm²) F = Kesme (kaydırma) kuvveti (N, daN) A = Kesit alanı (mm², cm²) τ_{em} = Emniyetli kayma gerilimi τ_{max} = Kesilmeden önceki en büyük gerilim E.K.S. = Emniyet katsayısı	$\tau = \frac{F}{A}$ $\tau_{em} = \frac{\tau_{max}}{E.K.S.}$ $F_{em} = \tau_{em} \cdot A$

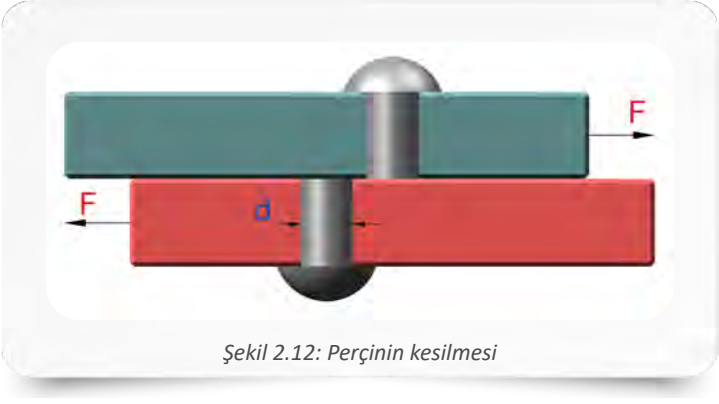
4.1. Kesilmeye Zorlanan Elemanlar ve Kesilme Dayanımının Hesaplanması

Perçin, perno ve radyal pim gibi birleştirme elemanları kesilmeye maruz kalan makine elemanlarıdır. Cıvatalar ise hem çekilmeye hem de kesilmeye maruz kalır. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi bazı çelik yapılarda zıt yönlü kuvvetlerin etkisi altındaki yüzeyler birbiri üzerinde kaymaya çalışır. Bu esnada kayma yüzeyleri ile bu yüzeyleri birbirine bağlayan cıvataların temas ettiği kısımlarda kesilme meydana gelir.



Şekil 2.11: Cıvata bağlantısı

Perçinli bağlantılarda bağlantının emniyeti için perçinin dayanıklı olması tek başına yeterli değildir, birbiri ile bağlanan yüzeylerin de dayanıklı olması gerekir. Bu bağlantılarda emniyet, perçin sayısı ve kesilen yüzey sayısına bağlıdır. Şekil 2.12'de perçinin kesilmesi görülmektedir.



Şekil 2.12: Perçinin kesilmesi

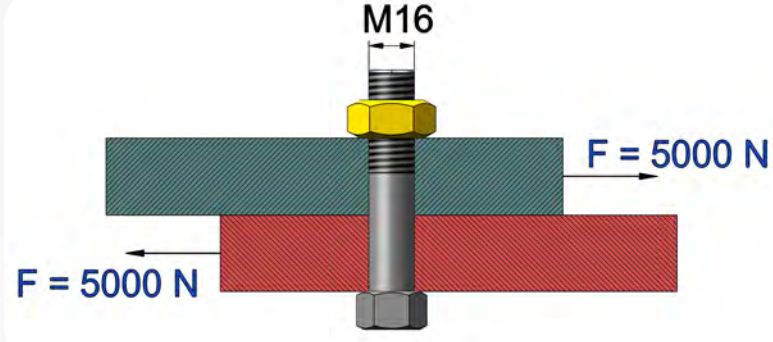
Perçinlerde meydana gelen kesme gerilmesi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

τ = Kesilme dayanımı (kayma gerilimi) (N/mm^2, daN/cm^2) F = Kesme (kaydırma) kuvveti (N, daN) A = Kesilmeye çalışılan toplam alan (mm^2, cm^2) τ_{em} = Emniyetli kayma gerilimi n = Perçin sayısı i = Kesilmeye çalışılan yüzey sayısı	$\tau = \frac{F}{A} \leq \tau_{em}$ $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n \cdot i$

Örnek 9: 4 sıralı ve her sırasında her biri 12 mm çapında 5 perçin bulunan bir birleştirme işleminde emniyet gerilmeleri toplam 400 daN/cm²dir. Bu perçinlerin güvenle taşıyabileceği yükü hesaplayınız (π = 3,14 alınacak.).

Verilenler:	**Çözüm:**
d = 12 mm = 1,2 cm τ_{em} = 400 daN/cm² n = 5 . 4 = 20 A = ? F_{em} = ?	$A = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 20 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 20 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,44}{4}$ = **22,608 cm² dir.** $\tau_{em} = \frac{F_{em}}{A}$ $F_{em} = \tau_{em} \cdot A = 400 \cdot 22,608$ = **9043,2 daN bulunur.**

Örnek 10: M16 ölçüsündeki cıvata iki parçayı Şekil 2.13'teki gibi birleştirmektedir. Parçalara kaydırma yönünde uygulanan kuvvet 5000 N olduğuna göre, makaslama bölgesindeki cıvata kesit alanını ve bu bölgedeki kesilme gerilimini hesaplayınız (M16 cıvatada diş üstü çapı 1,6 cm'dir, π = 3,14 kabul edilecektir.).

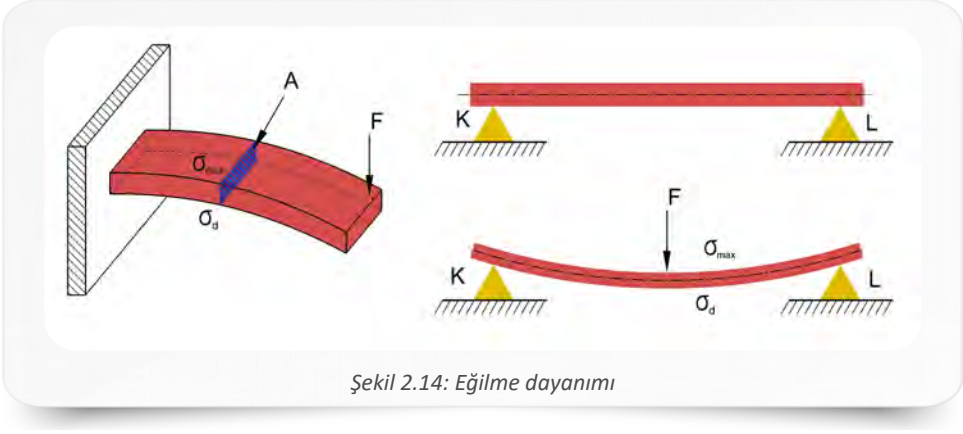


Şekil 2.13: Cıvatadaki kesilme gerilimi

Verilenler:	**Çözüm:**
d = 1,6 cm $d_0 = d_2$ = 1,4701 cm (bölüm çapı) F = 5000 N A_0 = ? τ = ?	$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,4701^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,161}{4}$ = 1,696 cm² $\tau = \frac{F}{A_0} = \frac{5000}{1,696}$ = **2948,11 N bulunur.**

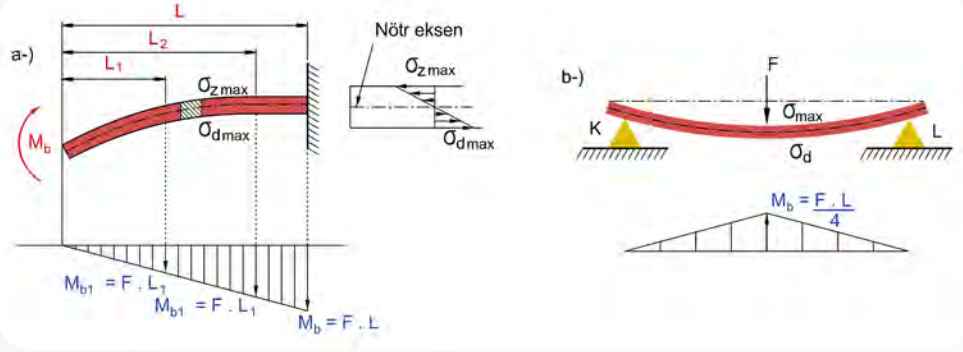
5. EĞİLME DAYANIMI

Şekil 2.14'teki gibi bir ya da daha fazla noktadan mesnetlenmiş bir cisme, boy eksenine dik şekilde kuvvet etki ettiğinde cisimde bir eğri boyunca şekil değişimi meydana gelir. Meydana gelen bu şekil değişimine **eğilme** denir. Eğilme cismin her yerinde görülür. Cisme etkiyen kuvvet mesnetlerden uzaklaştıkça cisimdeki eğilme miktarı artar.



Şekil 2.14: Eğilme dayanımı

Kiriş, mil, aks gibi bir yapı veya makine elemanını bükmeye çalışan dış kuvvetin ya da momentin etkisiyle elemanların içyapısında oluşan gerilime **eğilme momenti** denir. Eğilme momenti, M_b ile gösterilir ve uygulanan kuvvetin kuvvet kolu ile çarpılmasıyla **($M_b = F \cdot L$)** bulunur. Yapı ya da makine elemanlarına birden fazla kuvvetin değişik aralıklarla yüklenmesi ile oluşan eğilme, basit eğilme olmayacağı için eğilme momenti, diyagramlar çizilerek hesaplanır. Çizilen diyagramdaki kritik nokta ve karşısında bulunan maksimum moment, eğilme momenti olarak alınır (Şekil 2.15).



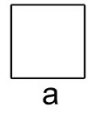
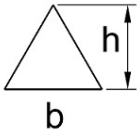
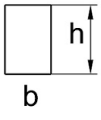
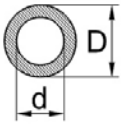
Şekil 2.15: Eğilme momenti

Eğilmeye zorlanan elemanların yapısı incelendiğinde elemanın iç kısmında liflerin kısaldığı ve basma gerilimi **(σ_d)** oluştuğu, elemanın dış kısmında ise liflerin uzadığı ve çekme gerilimi **(σ_z)** oluştuğu görülür. Meydana gelen bu gerilimlerin kesite yayılı hâli, **eğilme gerilimi**ni oluşturur. Eğilme gerilimi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

σ_b = Eğilme gerilimi (daN/cm²) M_b = Eğilme momenti (daN . cm) W = Kesitin dayanım momenti (cm³)	$\sigma_b = \frac{M_b}{W}$

Tablo 2.2'de temel şekillerin eğilme momentinin hesaplanması için ihtiyaç duyulan dayanım ve atalet momentleri verilmiştir.

Tablo 2.2: Temel Şekillere Ait Dayanım ve Atalet Momentleri

Kesit	Dayanım momenti ($W = cm^3$)	Atalet momenti ($J = cm^4$)
	$\frac{a^3}{6}$	$\frac{a^4}{12}$
	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	$\frac{b \cdot h^3}{12}$
	$\frac{d^3}{10}$	$\frac{d^4}{20} \cong \frac{\pi \cdot d^4}{64}$
	$\frac{b \cdot h^2}{24}$	$\frac{b \cdot h^3}{36}$
	$\frac{D^4 - d^4}{10 \cdot D}$	$\frac{D^4 - d^4}{20}$

Örnek 11: Çapı 10 cm, uzunluğu 100 cm olan dairesel kesitli bir mil, 12000 daN . cm'lik bir eğilme momenti ile zorlanmaktadır. Bu milin eğilme gerilmesini ve mile etkiyen kuvveti hesaplayınız.

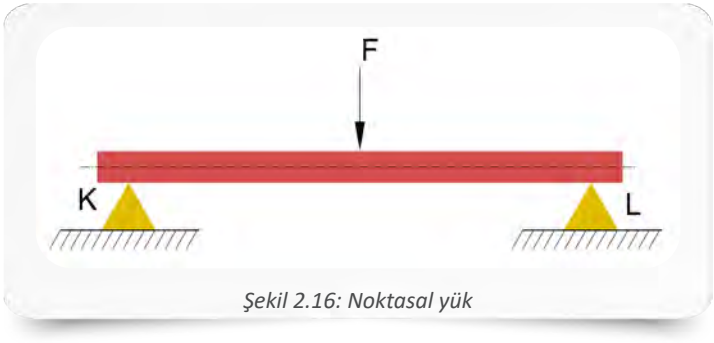
Verilenler:	**Çözüm:**
d = 10 cm L = 100 cm M_b = 12000 daN . cm σ_b = ? F = ?	$W_b = \frac{d^3}{10} = \frac{10^3}{10} = 100\ cm^3$ $\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{12000}{100} =$ **120 daN/cm² olur.** $M_b = F \cdot L$ $F = \frac{M_b}{L} = \frac{12000}{100} =$ **120 daN bulunur.**

5.1. Eğilmede Yükleme Çeşitleri

Kiriş, mil, aks gibi yapı ve makine elemanları eksenlerine dik doğrultuda etkiyen yükler sebebi ile eğilmeye maruz kalır. Bu elemanları eğilmeye zorlayan yükleme çeşitleri; noktasal, yayılı ve karışık yüklerdir.

5.1.1. Noktasal Yükler

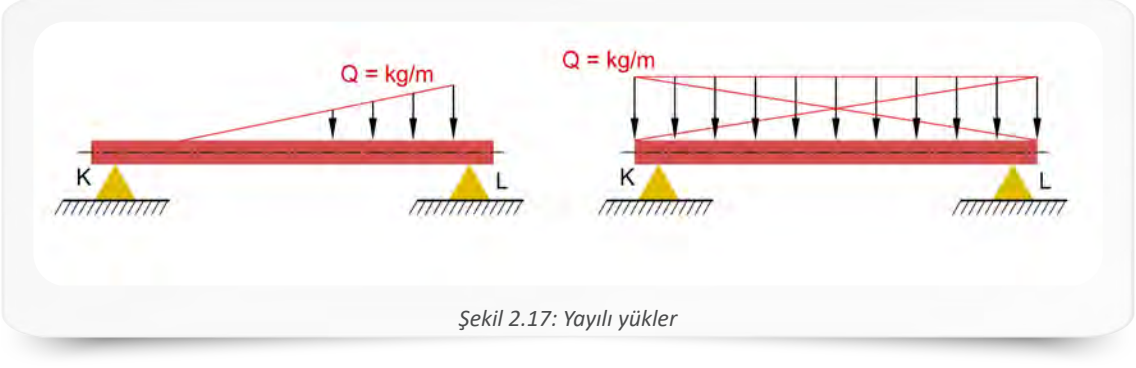
Yapı ve makine elemanlarının eksenlerine dik doğrultuda ve tek bir noktadan etki eden yüklemeye **noktasal yük** denir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16: Noktasal yük

5.1.2. Yayılı Yükler

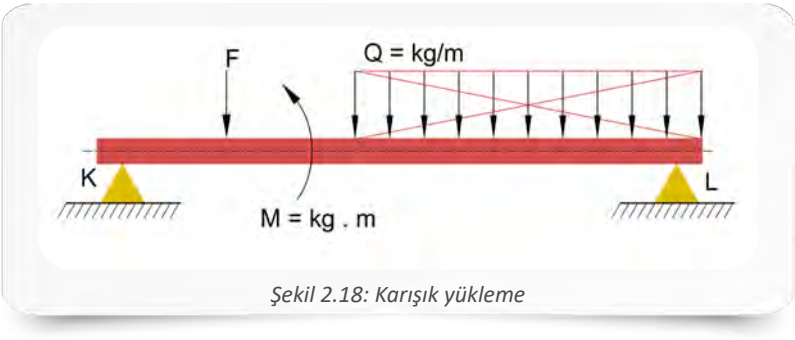
Bir elemanın tamamına ya da belirli bir alanına etkiyen yüklere **yayılı yükler** denir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17: Yayılı yükler

5.1.3. Karışık Yükleme

Noktasal ve yayılı yüklerin bir elemanın eksenine dik doğrultu ile aynı anda etki etmesi durumuna **karışık yükleme** denir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18: Karışık yükleme

5.2. Eğilmede Atalet ve Dayanım Momenti Hesaplamaları

Eğilmeye zorlanan elemanların yapısı incelendiğinde elemanın iç kısmındaki liflerin kısaldığı, dış kısmındaki liflerin ise uzadığı görülür. Bu noktalardaki gerilmeler en yüksek değeri alır. Hooke kanununa göre en büyük uzama, en büyük gerilme sınırında meydana gelir. Elemanın dayanabileceği en büyük moment, eğilme momenti **(M_{bmax})** olsa da makine elemanlarının boyutlandırılmasında **dayanım momenti (W)** esas alınır. Dayanım momenti aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

σ_{em} = Emniyetli gerilme (daN/cm^2) M_b = Eğilme momenti (daN . cm) W = Kesitin dayanım momenti (cm^3)	$W = \frac{M_b}{\sigma_{em}}$

Atalet momenti; kolon, kiriş gibi yapı elemanlarının ya da aks, mil gibi makine parçalarının hareketlerine karşı oluşan bir dirençtir. Atalet momenti aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

I = Atalet momenti (cm^4) A = Kesit alanı (cm^2) d = Ağırlık merkezinin eksene uzaklığı (cm) m = Kütle (kg)	$I = m \cdot d^2$ $I = A \cdot d^2$

Not: Hesaplamalarda ihtiyaç duyulabileceği için bazı yüzeylere ait dayanım momenti ve atalet momenti bağıntıları Tablo 2.2'de verilmiştir.

Örnek 12: Emniyetli gerilmesi 150 daN/cm^2 ve eğilme momenti 9000 daN . cm olan kare kesitli bir kirişin kenar uzunluğunun kaç cm olduğunu hesaplayınız?

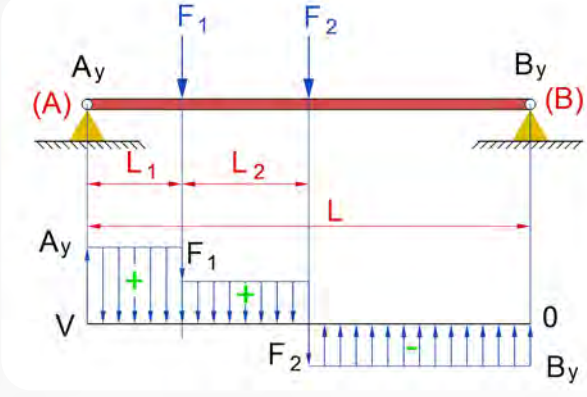
Verilenler:	**Çözüm:**
M_b = 9000 daN . cm σ_b = 150 daN/cm^2 a = ?	$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$ $W_b = \frac{M_b}{\sigma_b} = \frac{9000}{150}$ = **60 cm^{3}tür**. $W_b = \frac{a^3}{6}$ $a^3 = 60 \cdot 6 = 360$ **a ≅ 7,12 cm'dir**.

5.3. Eğilme Dayanımı Hesaplamaları ve Eğilme Diyagramı Çizilmesi

Yapı ya da makine elemanlarına birden fazla kuvvetin değişik aralıklarla yüklenmesi sonucu oluşan eğilme, basit eğilme olmayacağı için hesaplamalar **kesme kuvveti diyagramı** veya **moment diyagramı** çizilerek yapılır.

5.3.1. Noktasal Yüklere Göre Kesme Diyagramı

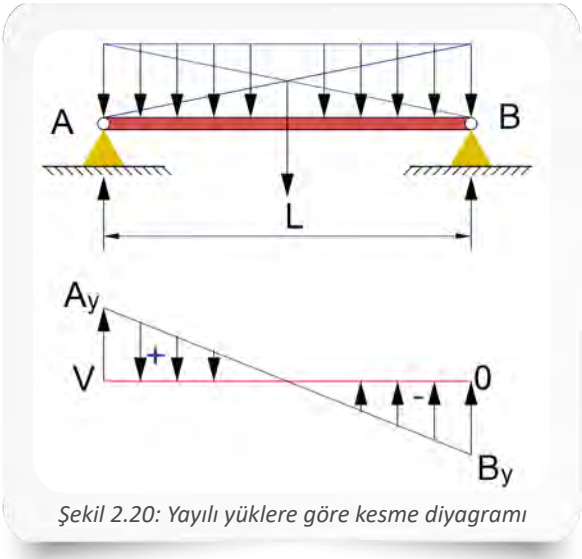
Şekil 2.19' daki gibi **A** ve **B** noktalarından mesnetlenmiş bir yapı elemanına (kiriş) etkiyen iki farklı noktasal yükün kesme diyagramının çizilebilmesi için öncelikle $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$ ve $\Sigma M = 0$ denklemleri kullanılarak mesnet tepkileri hesaplanır. Daha sonra, diyagram çizimi için ayrılan kısma kirişe etkiyen kuvvetlerden düşey konumda ışınlar indirilerek kiriş eksenine paralel bir **kesme kuvveti (V)** çizilir. Kirişte oluşan tepki kuvvetlerinden A_y okunun uç kısmından kiriş eksenine paralel olarak çizilen bir çizgi ile F_1 kuvvetine ait ışın kesiştirilir. F_1 ışının şiddeti, belirlenmiş olan ölçek dâhilinde ve kuvvetin yönünde (aşağı yönde) çizilir. F_1 ışınının uç kısmından F_2 ışınının kestiği noktaya kadar paralel bir çizgi çizilir ve kesişim noktasından aynı ölçekle F_2 şiddeti kadar aşağı yönlü inilir. F_2 ucundan ve kiriş eksenine çizilen paralel çizgi B_y ile kesiştirilir. B_y mesnet tepkisi de şiddeti kadar ve yönü doğrultusunda (yukarı yönlü) çizilir. Sistemin dengede olabilmesi için mesnet tepkisi okunun uç kısmı kesme kuvveti çizgisinde **0** (sıfır) noktasında olmalıdır. Başka bir şekilde ifade edilecek olursa diyagram tamamlandığında pozitif (+) ve negatif (-) alanların birbirine eşit olması diyagramın doğru çizildiğini gösterir. Diyagramdaki pozitif alandan negatif alana geçilen nokta **E.T.K. (en tehlikeli kesit)** noktasıdır ve kirişin en fazla zorlandığı nokta bu noktadır. Noktasal yüklere ait elde edilen kesme diyagramı dikdörtgenler şeklindedir.



Şekil 2.19: Noktasal yüklere göre kesme diyagramı

5.3.2. Yayılı Yüklere Göre Kesme Diyagramı

Bu tür diyagramlar çizilirken öncelikle yayılı yükler vektörel yük hâline getirilir. Ölçekli bir kâğıt üzerine çizilen kesme kuvveti çizgisi üzerine her kuvvetten düşey ışınlar indirilir. Işınların kesim noktalarından itibaren kuvvet yönlerinde ve belirlenen ölçek dâhilinde işaretlemeler yapılarak diyagram çizilir. Hesaplamalar sonucu bulunan A_y tepki kuvveti kendi ışını üzerinde kesme kuvveti çizgisinden itibaren yukarı yönlü ve ölçekli bir şekilde çizilir. Yayılı yüklerde kesme diyagramının üçgenler şeklinde olması sebebiyle A_y tepki kuvvetinin uç kısmından kesme kuvveti çizgisine paralel olarak çizilen geçici ince çizgilerin B_y ışını ile kesiştiği noktadan $G = Q \cdot L$ kadar inilir. Kesişme noktası ile A_y tepkisinin uç kısmındaki ilk nokta birleştirilir ve son noktadan kesme kuvveti çizgisine B_y kuvveti kadar çıkıldığında kesme diyagramı tamamlanır. Diyagram tamamlandığında B_y mesnet tepkisi okunun ucu kesme kuvveti çizgisinde sıfır oluyorsa diyagram doğru çizilmiştir (Şekil 2.20).



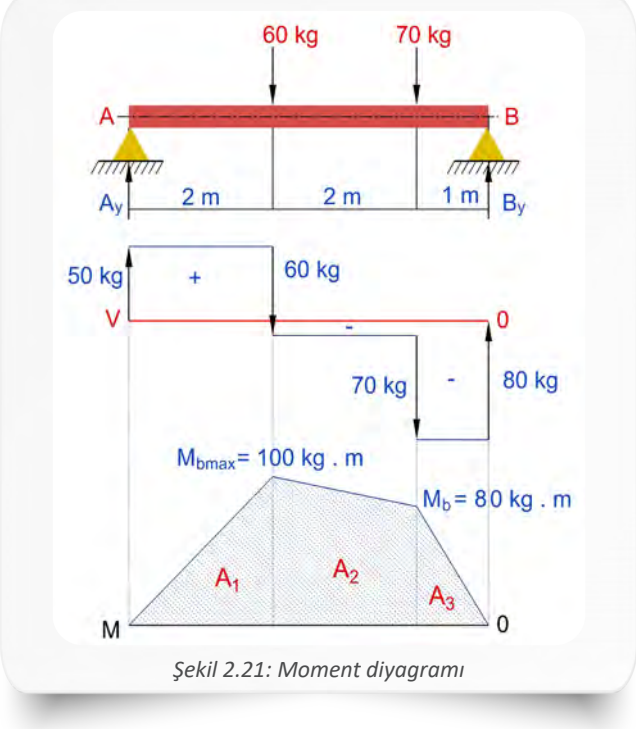
Şekil 2.20: Yayılı yüklere göre kesme diyagramı

Yayılı yüklere göre mesnet tepkileri aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

Q = Yük (kg/m) F = Kuvvet (N/m) L = Uzunluk (m) A_y - B_y = Mesnet tepkileri (kg)	$\Sigma M_A = 0$ $Q \cdot L \cdot \frac{L}{2} - B_y \cdot L = 0$ $B_y = \frac{Q \cdot L}{2}$ $\Sigma F_y = 0$ $A_y - Q \cdot L + \frac{Q \cdot L}{2} = 0$ $A_y = \frac{Q \cdot L}{2}$

5.3.3. Moment Diyagramının Çizilmesi

Moment diyagramı kesme kuvveti diyagramındaki **A_1, A_2** ve **A_3** alanlarından yararlanılarak çizilir. Kesme kuvveti diyagramındaki kesme kuvveti çizgisinin üstündeki alanlar pozitif (+), altındaki alanlar ise negatif (-) olarak belirlenir. Kesme kuvveti diyagramında kullanılan her kuvvetten indirilmiş ışınlar, moment diyagramına ait referans doğrusuyla **(M)** kesiştirilir. Diyagram tamamlandığında **M, A_1, A_2, A_3** ve **0** noktaları birer doğru ile birleştirildiğinde ortaya çıkan taralı alan, moment diyagramını verir. Moment diyagramında başlangıç ve bitiş noktaları sıfırdır. Diyagramdaki en büyük mutlak değer, **M_{max}** değeridir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21: Moment diyagramı

Yayılı yüklere göre alan aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$A_1 = \frac{\text{Taban} \cdot \text{Yükseklik}}{2} = \frac{\frac{L}{2} \cdot A_y}{2} = \frac{Q \cdot L^2}{8}$$

Örnek 13: A ve B uçlarından mesnetlenmiş bir kirişe 120 N'luk noktasal bir yük etki etmektedir (Şekil 2.22). Bu bilgilere göre,

a) Mesnet tepkilerini hesaplayınız.

b) Kesme kuvveti diyagramını çiziniz.

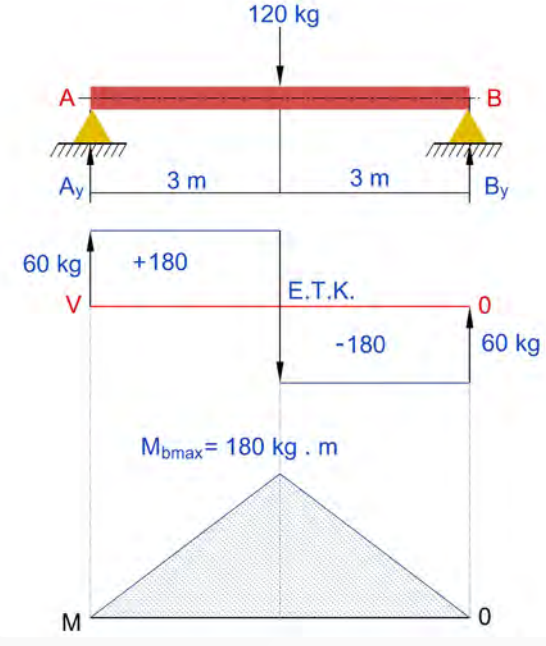
c) Eğilme momenti diyagramını çiziniz.



Şekil 2.22: Noktasal yüklü mesnet

Verilenler:	**Çözüm:**	
F = 120 N	$\Sigma M_A = 0$ $120 \cdot 3 - B_y \cdot 6 = 0$ $B_y \cdot 6 = 360$ $B_y = \frac{360}{6} =$ **60 N olur.**	$\Sigma F_y = 0$ $A_y + B_y - 120 = 0$ $A_y = 120 - 60 =$ **60 N olur.** 1. Bölge : 60 . 3 = **180 kg/m bulunur.** 2. Bölge : 60 . 3 = **180 kg/m bulunur.**

Mesnet tepkileri bulunduktan sonra belirlenen ölçek dâhilinde kesme kuvveti diyagramı ve eğilme momenti diyagramı, ilgili bölümdeki işlem basamakları takip edilerek çizilir ve Şekil 2.23'teki diyagram oluşturulur.



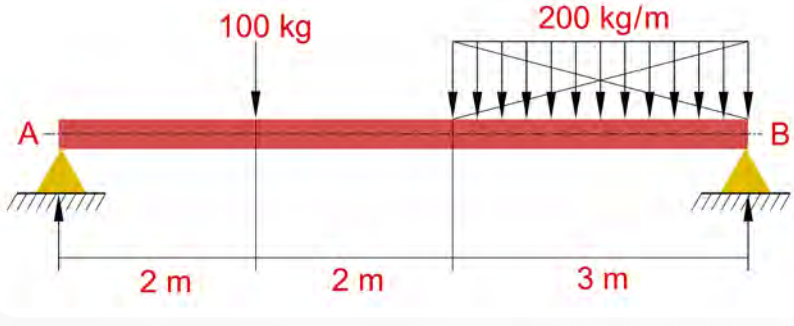
Şekil 2.23: Noktasal yüklere göre kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları

Örnek 14: A ve B uçlarından mesnetlenmiş bir kirişe 100 kg'lık bir noktasal yük ve 200 kg/m'lik yayılı yük etki etmektedir (Şekil 2.24). Bu bilgilere göre,

a) Mesnet tepkilerini hesaplayınız.

b) Kesme kuvveti diyagramını çiziniz.

c) Eğilme momenti diyagramını çiziniz.

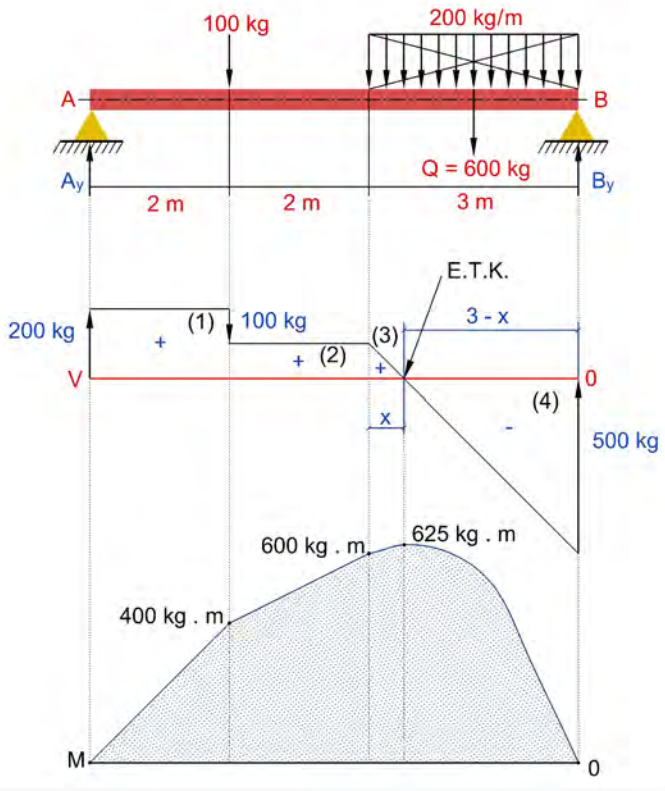


Şekil 2.24: Noktasal ve yayılı yüklere maruz kalmış mesnet

Verilenler:	**Çözüm:**	
Q_n = 100 kg $Q_{yayılı}$ = 300 kg/m	$\Sigma M_A = 0$ $100 \cdot 2 + 600 \cdot 5{,}5 - B_y \cdot 7 = 0$ $200 + 3300 = 7 \cdot B_y$ $3500 = 7 \cdot B_y$ $B_y = \frac{3500}{7}$ = **500 N olur**. $\Sigma F_y = 0$ $A_y + B_y - 100 - 600 = 0$ $A_y = 700 - 500$ A_y = **200 N olur**.	$\frac{x}{3-x} = \frac{100}{500}$ $500 \cdot x = 300 - 100 \cdot x$ $500x + 100x = 300$ $600x = 300$ $x = \frac{300}{600}$ = **0,5 m bulunur**. 3 - x = 3 - 0,5 = 2,5 m'dir. 1. bölge: 200 . 2 = **400 kg/m'dir**. 2. bölge: 100 . 2 = **200 kg/m'dir**. 3. bölge: $\frac{100 \cdot 0{,}5}{2}$ = **25 kg/m'dir**. 4. bölge: $\frac{500 \cdot 2{,}5}{2}$ = **625 kg/m'dir**.

Mesnet tepkileri bulunduktan sonra belirlenen ölçek dâhilinde kesme kuvveti diyagramı ve eğilme momenti diyagramı, ilgili bölümdeki işlem basamakları takip edilerek çizilir ve Şekil

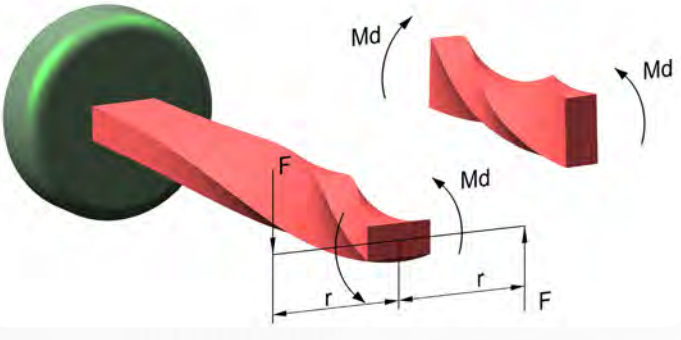
2.25'teki diyagram elde edilir.



Şekil 2.25: Noktasal ve yayılı yüklere maruz kalmış mesnet

6. BURULMA DAYANIMI

Şekil 2.26'daki gibi bir ucundan sabitlenmiş bir cisme diğer ucundan etkiyen döndürme momenti sonucu cismin kendi ekseninde dönmeye zorlanmasına **burulma** denir. Döndürme etkisi sonucu oluşan dayanıma da **burulma dayanımı** denir.



Şekil 2.26: Burulma ve burulma dayanımı

6.1. Burulma Momentinin Bulunması

Bir ucundan sabitlenmiş bir cisimde meydana gelen burulma momenti aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

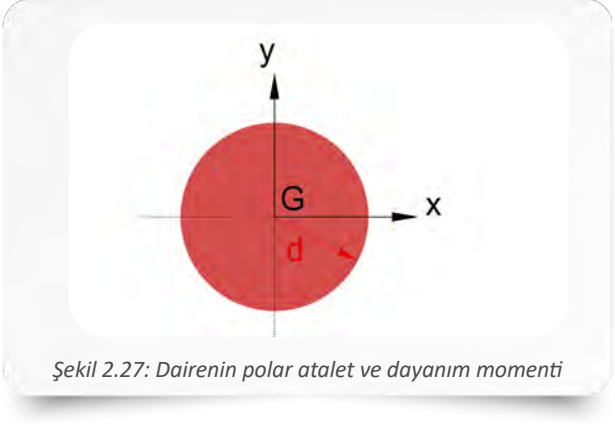
M_d = Burulma (döndürme) momenti (daN cm) N = İletilen güç (beygir gücü) n = Devir sayısı (devir/dk.) F = Kuvvet (daN) r = Kuvvet kolu (cm)	$M_d = 2 . F . r$ $M_d = 71620 . \frac{N}{n}$

6.2. Polar Atalet ve Dayanım Momentinin Bulunması

Polar atalet momenti, bir cismin burulmaya karşı gösterdiği dirençtir, yani cismin burulmaya ne kadar dayanabileceğini belirtir.

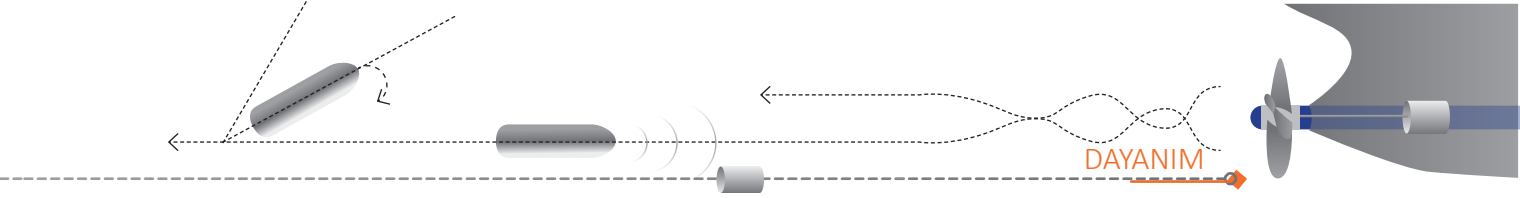
İki eksene göre tanımlanmış atalet momentlerinin toplamı **($I_p = I_x + I_y$)** polar atalet momentini **(Ip)** verir.

Şekil 2.27'deki dairenin polar atalet momenti ve dayanım momenti aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir.



Şekil 2.27: Dairenin polar atalet ve dayanım momenti

I_p = Polar atalet momenti (cm^4) I_x = X eksenindeki atalet momenti (cm^4) I_y = Y eksenindeki atalet momenti (cm^4)	$I_p = I_x + I_y$ $I_p = \frac{\pi . d^4}{64} + \frac{\pi . d^4}{64} = 2 . \frac{\pi . d^4}{64} = \frac{\pi . d^4}{32}$
W_p = Polar dayanım momenti (cm^3) I_p = Polar atalet momenti (cm^4) d = Yarıçap (cm)	$W_p = \frac{I_p}{d/2} = \frac{\pi . d^4}{32} . \frac{2}{d} = \frac{\pi . d^3}{16}$



6.3. Millerin Burulma Dayanımının Hesaplanması

Taşıyıcı sistem elemanlarından olan miller, mafsallara yataklandırılmışlardır ve dönerek çalışırlar. **Burulma açısı (θ)**, burulan mildeki şekil değişikliğini ifade eder. Milde oluşan burulma dayanımı ve burulma açısı aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir.

M_d = Döndürme momenti (daN cm) W_p = Polar dayanım momenti (cm^3) τ = Burulma dayanımı (daN/cm^2) τ_{max} = Milde oluşan maksimum kayma gerilmesi (daN/cm^2)	$\tau = \frac{M_d}{W_p}$ $\tau_{max} = \frac{M_d}{W_p}$ $\tau_{max} = \tau_{em}$
θ = Burulma açısı (Radyan) L = Milin uzunluğu (cm) G = Kayma modülü (N/mm^2) I_p = Polar atalet momenti (cm^4)	$\theta = \frac{M_d \cdot L}{G \cdot I_p}$

Örnek 15: 10 cm çapındaki bir milin emniyetli kayma gerilmesi 1400 daN/cm^2 ve devir sayısı dakikada 250 olduğuna göre mile uygulanan gücü hesaplayınız (π = 3 alınacak.).

Verilenler:

d = 10 cm

n = 250 devir/dk.

τ_{em} = 1400 daN/cm^2

N = ?

Çözüm:

$$\tau_{em} = \frac{M_d}{W_p}$$

$$1400 = \frac{M_d}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}}$$

$$1400 = \frac{M_d}{\frac{3 \cdot 10^3}{16}}$$

$$M_d = 1400 \cdot \frac{3000}{16}$$

M_d = 262500 daN .cm'dir.

$$Md = 71620 \cdot \frac{N}{n}$$

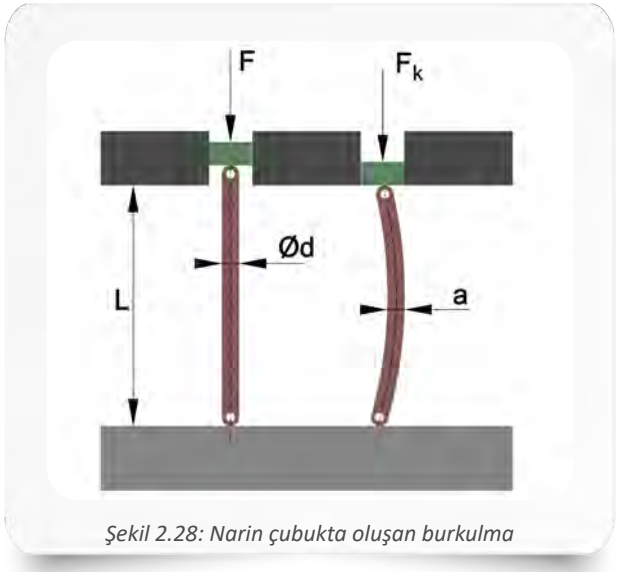
$$262500 = 71620 \cdot \frac{N}{250}$$

$$N = \frac{262500 \cdot 250}{71620}$$

N ≅ 916,3 BG bulunur.

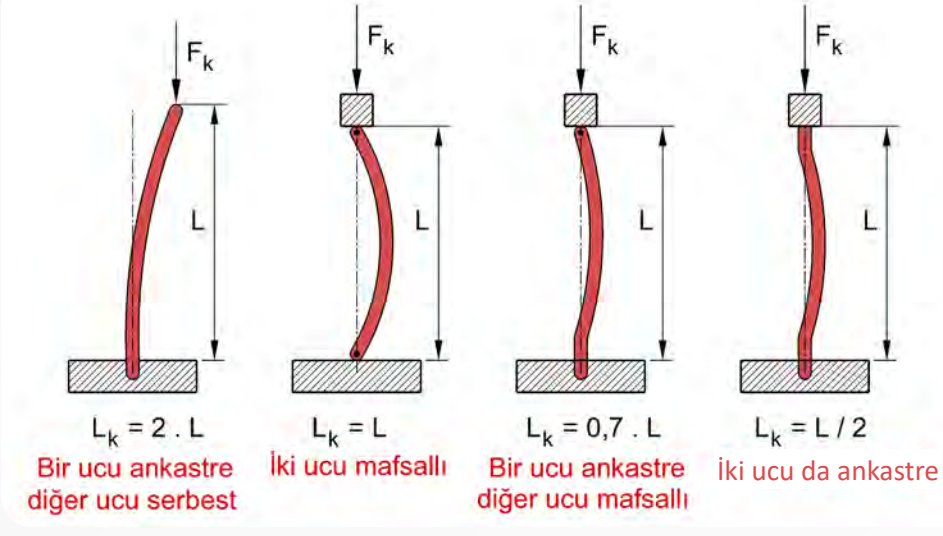
7. BURKULMA (FLAMBAJ) DAYANIMI

Boyu uzun, kesit alanı dar cisimlere **narin çubuk** denir. Cismin kesit alanı ve uzunluğu ile ilgili bir büyüklük olan narinlik derecesi **λ** (lamda) sembolü ile gösterilir. Narin çubuğa kırılma sınırında etki eden kuvvete **kritik yük (F_k)** adı verilir. Doğrusal olan narin bir çubuğa etki eden kritik yük değeri aşıldığı için cismin denge durumunu kaybetmesi ve biçiminin bozularak eğri bir şekil almasına **burkulma (flambaj)** denir (Şekil 2.28). Burkulmanın başlama sınırında oluşan en büyük dayanıma da **burkulma dayanımı** denir. Burada cisme etkiyen kuvvet basma kuvvetidir.



Şekil 2.28: Narin çubukta oluşan burkulma

Narin çubuğun etkileneceği kritik yük miktarı belli ise cismin kesit alanı da dikkate alınarak belirlenen cisim uzunluğuna **burkulma boyu (L_k)** denir. Cisimler bağlantı durumlarına göre farklı şekillerde burkulmaya uğrar (Şekil 2.29).



Şekil 2.29: Bağlantı şekillerine göre burkulmalar

7.1. Burkulma Dayanımı Hesaplamaları

Cisimdeki şekil değişiminin geçici olduğu elastiki bölgede hesaplamalar **Euler (Oyler) metodu** kullanılarak yapılır.

F_k = Kritik yük (N)
L_k = Çubuk burkulma boyu (cm)
I_{min} = En küçük atalet momenti (cm^4)
E = Elastiklik modülü (daN/cm^2)

$$F_k = \frac{\pi^2 . E . I_{min}}{L_k^2}$$

Kritik yük kesit alanına bölünerek kritik burkulma gerilimi **(σ_k)** bulunur.

$$\sigma_k = \frac{F_k}{A} = \frac{\pi^2 . E . I_{min}}{L_k^2 . A}$$

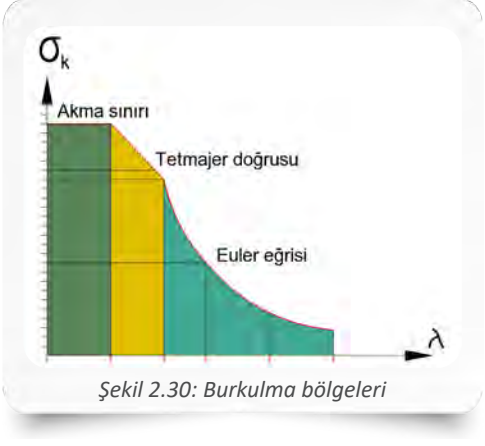
Elastiklik sınırının hemen altındaki gerilmeye bağlı birim uzama miktarına **orantı sınırı (σ_o)** denir. Narinlik derecesi hesaplamalarının orantı sınırına göre yapılması daha güvenilirdir. Cismin atalet momentinin kesit alanına oranının karekökü **jirasyon yarıçapını (r_j)** verir. Narinlik derecesi aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir.

r_j = Jirasyon yarıçapı (cm, mm)
L_k = Cismin burkulma boyu (cm, mm)
A = Kesit alanı (cm^2, mm^2)
I = Atalet momenti (cm^4)
σ_o = Orantı sınırı burkulma gerilimi (daN/cm^2)

$$r_j = \sqrt{\frac{I}{A}} \qquad \lambda = \frac{L_k}{r_j} \qquad \lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 . E}{\sigma_o}}$$

Cisimdeki şekil değişiminin yarı elastik olması ya da elastik olmaması durumunda ise hesaplamalar **Tetmajer (Tetmayer) metodu** ile yapılır. Şekil 2.30'da yer alan burkulma bölgeleri grafiğinde deney çubuğunda oluşan plastik şekil değişimi görülmektedir. Plastik şekil değişimi görüldüğü için çubuğa Euler formülü ve basılma gerilmesi uygulanamaz.

Çeşitli cisimlerle yapılan burkulma deneyleri sonucu, bu cisimlerin narinlik dereceleri ve kritik gerilim değerleri tespit edilmiştir (Tablo 2.3). Tetmajer bölgesindeki burkulma, bu değerler yardımıyla hesaplanır.



Şekil 2.30: Burkulma bölgeleri

Tablo 2.3: Narinlik Dereceleri ve Kritik Değerler

Malzeme Cinsi	Basılma Gerilmesi	Eulere Göre Hesaplama	Tetmajere Göre Hesaplama	Tetmajere Göre Kritik Gerilmeler
Ahşap (çam)	$\lambda \leq 1,8$	$\lambda \geq 100$	$1,8 < \lambda < 100$	$\sigma_K = 93 - 1,94 . \lambda$
Dökme demir	$\lambda \leq 5$	$\lambda \geq 80$	$5 < \lambda < 80$	$\sigma_K = 7760 - 120 . \lambda + 0,53 . \lambda^2$
Fe 37	$\lambda \leq 10$	$\lambda \geq 105$	$10 < \lambda < 105$	$\sigma_K = 3100 - 11,4 . \lambda$
Fe 52	$\lambda \leq 10$	$\lambda \geq 90$	$10 < \lambda < 90$	$\sigma_K = 3350 - 6,2 . \lambda$

Cismin maruz kaldığı yüklere yeni yükler eklenmese de cisimdeki uzamanın devam etmesine **akma sınırı** denir. Emniyetli çalışması gereken fakat maksimum kuvvetlerle zorlanan yerlerden olan köprü ayaklarında ve büyük vinçlerde meydana gelen gerilmeler, akma sınırı ve üzerindedir. Burada meydana gelen emniyetli burkulma gerilmeleri, cisimlerin emniyetli basılma gerilmesinin deneyler sonucu elde edilen burkulma katsayısına **(ω)** bölünmesi ile bulunur. Bu metoda **Omega metodu** denir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

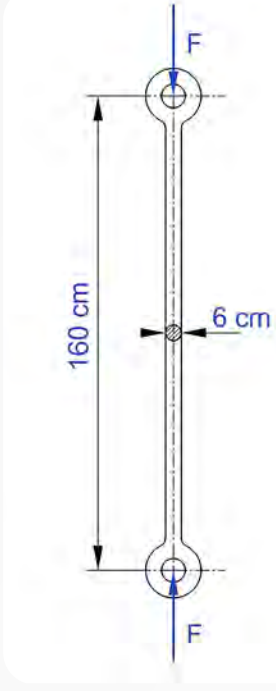
ω = Burkulma katsayısı σ_{dem} = Emniyetli basılma gerilmesi (daN/cm²) σ_{bem} = Emniyetli burkulma gerilmesi (daN/cm²) F_{bem} = Emniyetli burkulma kuvveti (daN, N)	$\omega = \frac{\sigma_{dem}}{\sigma_{bem}}$ $F_{bem} = \sigma_{bem} . A$

$F_{bem} . \omega \leq \sigma_{bem}$ kontrol edilerek cismin kesitinin uygunluğu, boyut değerleri değiştirilerek emniyetli burulma bulununcaya kadar araştırılır. Burkulmaya maruz kalan cismin kesit alanı **(A)** ve boyutu biliniyorsa narinlik derecesi **(λ)** bulunarak burkulma katsayısı **(ω)** elde edilir. Tablo 2.4'te bazı malzemelerin burkulma katsayıları verilmiştir.

Tablo 2.4: Burkulma Katsayıları (ω)

λ (Narinlik derecesi)	Malzemelerin ω Değerleri			
	Ahşap	Dökme demir	Fe 37	Fe 52
10	1,07	1,01	1,01	1,01
20	1,15	1,05	1,04	1,06
30	1,25	1,11	1,08	1,11
40	1,36	1,22	1,14	1,19
50	1,50	1,39	1,21	1,28
60	1,67	1,67	1,30	1,41
70	1,87	2,21	1,41	1,58
80	2,14	3,50	1,55	1,79
90	2,50	4,43	1,71	2,05
100	3,00	5,45	1,90	2,53
110	3,73	-	2,11	3,06
120	4,55	-	2,43	3,65
130	5,48	-	2,85	4,28
140	6,51	-	3,31	4,96
150	9,81	-	4,32	6,48
160	11,80	-	5,47	8,21
180	15,20	-	6,75	10,13
220	19,17	-	8,17	12,26
240	23,73	-	9,73	14,59
250	26,25	-	10,55	15,83

Örnek 16: İki ucu mafsallı bir çubuğun boyu 160 cm ve çapı 6 cm'dir (Şekil 2.31). Elastiklik modülü $E = 2 \cdot 10^6$ N/m² ve E.K.S. 4 olduğuna göre çubuğun taşıyabileceği emniyetli burkulma kuvvetini hesaplayınız ($\pi = 3,14$ alınacaktır.).



Şekil 2.31: Çelik çubuğun emniyetli burkulma kuvveti

Verilenler:

$L_k = L = 160$ cm

$d = 6$ cm

$E = 2 \cdot 10^6$ N/m²

E.K.S. = 4

$F_{bem} = ?$

Çözüm:

$$r_j = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^4}{64} : \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \sqrt{\frac{d^2}{4^2}} = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_k}{r_j} = \frac{160}{1,5} = 106,7$$

$\lambda > 105$ olduğu için Euler metodu kullanılır.

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_k^2} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 4^4/64}{160^2} = \frac{236,6304 \cdot 10^6}{25600}$$

F_k = 9243,375 N bulunur.

$$F_{bem} = \frac{F_k}{E.K.S.} = \frac{8437,5}{4} = \textbf{2109,38 N bulunur}.$$

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan yerlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Makine elemanlarının boyutlandırılmasında, maruz kaldıkları yüklerin değişkenliği göz ardı edilebilir.

2. ( ) Pres milleri, piston kolları ve kalıp zımbaları basılmaya zorlanan makine elemanlarına örnek olarak verilebilir.

3. ( ) Doğrusal bir narin cisme etki eden kritik yük değerinin aşılması sebebi ile cismin denge durumunu kaybetmesi ve biçiminin bozularak eğri bir şekil alması durumuna eğilme gerilimi denir.

4. ( ) Döndürülmeye zorlanan cisimlerde, döndürme etkisi sonucu oluşan dayanıma burulma dayanımı denir.

B) Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Makine elemanlarına etkiyen yüklerin şiddetleri ve yönleri zamanla değişiyorsa bu yüklere..... denir.

2. Can güvenliğinin önemli olduğu mekanizmalarda ve yapılarda ..... daha fazla olmasına dikkat edilir.

3. Cisme etkiyen kuvvet miktarında artış olmasa dahi cisimdeki uzmanın arttığı duruma ..... denir.

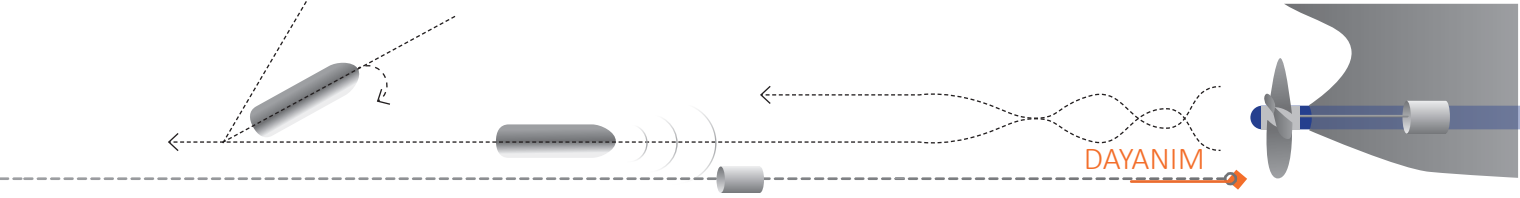
C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Cisme yavaşça ve daha önce belirlenen sabit değerlerle etki eden yük çeşidi hangisidir?

A) Alternatif yük
B) Ani yük
C) Karışık yük
D) Periyodik yük
E) Statik yük

2. Dalga, anlık manevra ya da pervanenin deniz üstüne çıkması gibi gemide karşılaşılabilecek bu durumlar hangi yük çeşidine örnek olarak verilebilir?

A) Alternatif yük
B) Birleşik yük
C) Karışık yük
D) Olağanüstü yük
E) Sabit yük



3. Uzama ile kuvvet arasındaki bağıntıyı, 'Kuvvet ne kadarsa, uzama da o kadardır.' şeklinde açıklayan bilim insanı kimdir?

A) Albert Einstein
B) Isaac Newton
C) Marie Curie
D) Nikola Tesla
E) Robert Hooke

4. Cisimde oluşan burkulmanın deneyler sonucu ulaşılan değerler yardımıyla hesaplanmasında kullanılan metot hangisidir?

A) Euler
B) Omega
C) Pisagor
D) Tetmajer
E) Yükleme

D) Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak çözünüz.

1. Maksimum kopma gerilmesi 4000 daN/cm^2 olan malzemeden bir makine elemanı yapılacaktır. **Emniyet katsayısının 8 olması durumunda emniyetli gerilim değeri kaç olur?**

2. Kenar uzunluğu 15 cm olan kare kesitli betonarme bir kolona binen yük 9000 daN'dur. **Kolonda meydana gelen gerilimin kaç daN/cm^2 olduğunu hesaplayınız.**

3. Dökme demirden yapılmış dikdörtgen kesitli bir malzemenin dik eksenine 30°lik açı ile etkiyen 7500 daN'luk kuvvet ve kuvvetin etkilediği kesit görülmektedir. **Buna göre malzemede meydana gelen basma geriliminin kaç daN/cm^2 olduğunu hesaplayınız.**

4. Kenar uzunluğu 14 mm olan kare kesitli bir çubuk ekseni boyunca 1800 daN'luk kuvvetle çekilmektedir. Elastiklik modülü 2 . 10^5 daN/cm^2 olan çubuğun boyu maruz kaldığı çekme kuvveti sonucu 10 mm uzamıştır. **Buna göre çubuğun ilk boyunu hesaplayınız.**

5. **Çubuk çapı 6 mm olan bir zincir halkasının maksimum kopma gerilmesi 360 N/mm² olduğuna göre bu zincir halkasının taşıyabileceği yükün kaç daN olduğunu hesaplayınız** (M14 cıvata d_0 = 1,2761 cm ve π = 3,14 alınacaktır.)

6. İki parça birbirine M14'lük cıvata ile bağlanmıştır. Parçalara kaydırma yönünde 3663 N'luk kuvvet uygulanmaktadır. **Buna göre makaslama bölgesindeki cıvata kesit alanını ve bu bölgede oluşan kesilme gerilimini hesaplayınız** (π = 3,14 alınacaktır.).

7. Kesit genişliği 8 cm, yüksekliği 15 cm ve uzunluğu 100 cm olan dikdörtgen kesitli bir kiriş 15000 daN/cm'lik bir eğilme momenti ile zorlanmaktadır. **Buna göre kirişin emniyetli gerilmesini ve kirişe etkiyen kuvveti hesaplayınız.**

8. **Eğilme momenti 9000 daN/cm olan bir milin çapı 10 cm olduğuna göre bu milin emniyetli gerilmesinin kaç daN/cm² olduğunu hesaplayınız.**

9. 18 BG ile zorlanmakta olan bir freze tezgâhının mili 180 devir/dk. ile dönmektedir. **Emniyetli burulma gerilmesi 1200 daN/cm² olan freze milinin emniyetli çapını hesaplayınız.**

10. Emniyet katsayısı 5 olan 16 mm² kesit alanlı Fe 37 çubuğa zıt yönlü iki kuvvet uygulanmaktadır. **Bu çubuğun emniyetle taşıyabileceği yükün kaç N olduğunu hesaplayınız.**



3. ÖĞRENME BİRİMİ

HIZ VE İVME

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. HAREKETLERLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

2. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KANUNU İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

3. MADDESEL NOKTANIN DİNAMİĞİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

KOD=16587

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

1. Hareketli makine parçalarının sürtünmesi ile açığa çıkan ısı enerjisinin faydalı enerjiye dönüştürülmesi ve enerji tasarrufu sağlanabilmesi için neler yapılabileceği ile ilgili fikirlerinizi sınıf arkadaşlarınızla paylaşınız.

HIZ VE İVME

Zamanla konumu değişen cisimler hareketlidir. Gemi de su üzerinde hareket eden bir cisimdir; ayrıca gemi makinesindeki parçalar, köprü üstündeki mekanizmalar da hareketli cisimlerdir. Gemi adamı, bu öğrenme birimi içerisinde hareket ve hareketi etkileyen kütle, kuvvet, ivme, hız, sürtünme kuvveti gibi konularda bilgi sahibi olacaktır. Bu bilgiler sayesinde geminin akıntılı suda hareketini hesaplamak, denize düşen birini kurtarmak için kullanılan can simidini doğru bir hareketle atmak gibi çalışma ortamında ihtiyaç duyabileceği becerilere de sahip olacaktır. Ayrıca Newton'un hareket yasaları ile ilgili edineceği bilgiler sayesinde, etkisi altında kaldığı kuvvet karşısında hareketli parça ve yüzeylerin gösterdiği tepkileri göz önünde bulunduracak böylece gerekli iş güvenliği önlemlerini alarak uygun çalışma ortamını sağlayabilecektir.

1. HAREKETLERLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

Bir cismin konumundaki değişikliği ifade eden hareket, mekaniğin bir alt dalı olan kinematiğin konusudur. Hareketlerle ilgili hesaplamaların yapılabilmesi için konum, hız, ivme, sürat vb. kavramların bilinmesi gerekir.

1.1. Konum

Bir cismin başlangıç noktasına olan uzaklığına ve yönüne **konum** denir.



Şekil 3.1: Konum

Şekil 3.1'deki L cisminin başlangıç noktasına göre konumu -200 m, M cisminin başlangıç noktasına göre konumu +150 m'dir.

1.2. Yer Değiştirme

Hareket eden bir cismin konumunda meydana gelen değişime **yer değiştirme** denir. Vektörel bir büyüklük olan yer değiştirme **Δx** ile gösterilir; km, m, cm, mm gibi uzunluk birimleri ile ifade edilir. Yer değiştirme son konumdan ilk konumun çıkarılması ($\Delta x = x_2 - x_1$) ile bulunur.

Örnek 1: Doğrusal bir düzlemde yürüyen bir çocuk başlangıç noktasından başlayarak önce 30 m ileriye doğru yürüyor, sonra geriye dönerek 15 m daha yürüyor. Bu durumda,

a) Çocuğun aldığı yol kaç metredir?

b) Çocuğun yer değiştirmesi kaç metredir?

Verilenler:	**Çözüm:**
$x_1 = 15$ m $x_2 = 30$ m	a) Almış olduğu toplam yol = 30 + 15 = **45 m'dir.** b) Yer değiştirme ise $\Delta x = x_2 - x_1$ 30 – 15 = **15 m'dir.**

1.3. Hız

Bir cismin birim zamanda konumunda meydana gelen değişikliğe (yani yer değiştirmeye) **hız** denir. Vektörel bir büyüklük olan hızın sembolü **V**'dir ve birimi SI birim sistemine göre **m/s**'dir. Bazı durumlarda hız **km/h** (km/saat) olarak da ifade edilebilir. Vektörel bir büyüklük olan hızın işareti hareketin yönünü gösterir ve **x** ekseni boyunca hareket eden bir cismin yönü, başlangıç noktasına (0 noktası) göre **+** ve **–** yönlü olarak belirlenir.

Δx = Yer değiştirme (m) Δt = Zaman (s)	$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

Örnek 2: Hidrokarbon esaslı yakıt tüketen bir araç yerine elektrikli bir araç kullanmayı tercih eden çevreci bir sürücü, A ve B şehirleri arasındaki 540 km'lik mesafeyi 9 saatte gidiyor. Buna göre aracın saatte kaç km hızla gittiğini hesaplayınız.

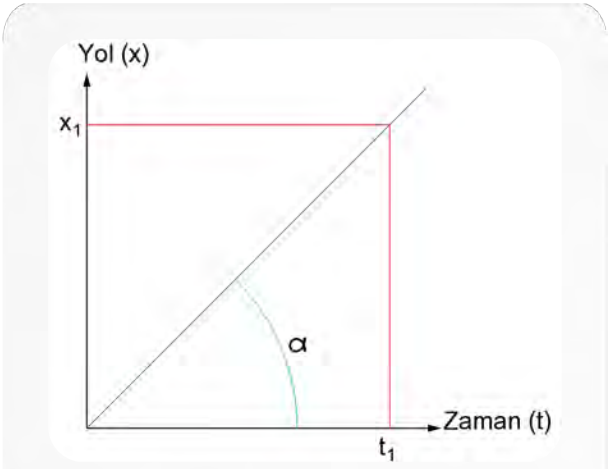
Verilenler:	**Çözüm:**
$\Delta x = 540$ km $\Delta t = 9$ saat	$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{540}{9}$ = **60 km/h olur.**

Örnek 3: Kocaeli ve Yozgat arasındaki mesafe 560 km'dir. Güvenli sürüş kurallarına uyarak saatte 80 km hızla giden bir aracın iki şehir arasındaki yolu kaç saatte tamamlayabileceğini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$\Delta x = 560$ km $V = 80$ km/h	$V = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ $80 = \frac{560}{\Delta t}$ $\Delta t = \frac{560}{80}$ = **7 saat bulunur.**

Yol-Zaman Grafiği

Bir koordinat düzleminde **x** ekseninde zaman **t**, **y** ekseninde yol **X** ile gösterilirse **X = V . t** eşitliği sebebi ile düzgün doğrusal hareket yapan bir cismin yol-zaman grafiği Şekil 3.2'deki gibi **0** noktasından geçen bir doğru olur.

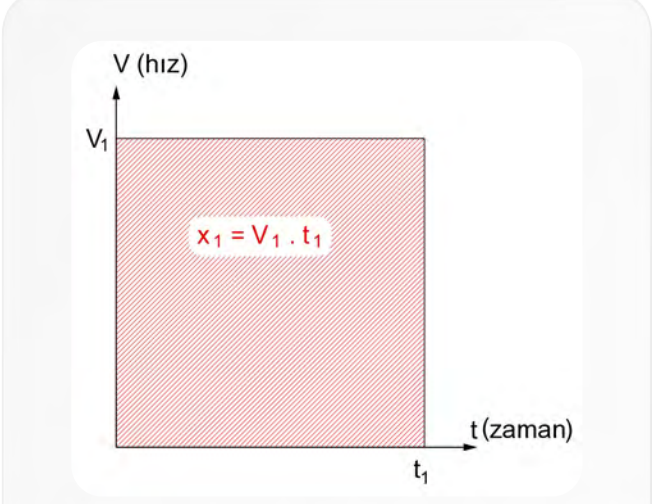


Şekil 3.2: Yol-zaman grafiği

$\text{Tan}\alpha = \frac{x_1}{t_1}$ ve $\frac{x_1}{t_1} = V$ olduğundan $\text{Tan}\alpha = V$ olur.	X = V . t doğrusunun eğimi hıza eşittir.

Hız-Zaman Grafiği

Zaman **x** ekseninde, hız ise **y** ekseninde gösterildiğinde, hız–zaman grafiği **x** eksenine paralel bir doğru olur. Herhangi bir zaman (t_1) içinde alınan yol, $\mathbf{x_1 = V_1 . t_1}$ olduğu için taranmış alana eşit olur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Hız-zaman grafiği

1.4. Ortalama Hız

İstanbul'dan Eskişehir'e araç ile yola çıkıldığında, yolun trafik durumuna göre araç bazen hızlanacak, bazen yavaşlayacak, yakıt ikmali yapılması gerektiğinde ise duracaktır. İki şehrin arasındaki mesafenin 300 km ve yolculuğun dört saat sürmüş olması durumunda aracın ortalama hızı, iki şehir arasındaki mesafenin yolculuk süresine bölünmesi ile bulunur. Örnekten de anlaşılacağı gibi **ortalama hız**, bir cismin doğrusal yörüngedeki toplam yer değiştirmesinin toplam zamana oranıdır.

Ortalama hız = $V_{ort} = \frac{\text{Toplam yol}}{\text{Toplam zaman}}$	$V_{ort} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 + x_1}{t_2 + t_1}$

Örnek 4: Giresun'dan Adana'ya gitmek için yola çıkan bir araç yolun yarısını 120 km/h hızla diğer yarısını da 90 km/h hızla gidiyor. Buna göre, aracın ortalama hızını hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
V_1 = 120 km/h V_2 = 90 km/h t_1 = x/120 t_2 = x/90	İki şehir arasındaki mesafe 2x kabul edilir. $V_{ort} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 + x_1}{t_2 + t_1}$ $V_{ort} = \frac{2x}{\frac{x}{120} + \frac{x}{90}}$ **$V_{ort} \cong$ 103 km/h olur.**

Örnek 5: Düz bir yolda hareket eden bir araba ilk 0,25 saatte 70 km/h, sonraki 0,5 saatte 50 km/h daha sonraki 0,25 saatte ise 40 km/h hızla yol almıştır. Arabanın tüm yol boyunca ortalama hızı kaç km/h olmuştur?

Verilenler:	**Çözüm:**
t_1 = 0,25 saat t_2 = 0,50 saat t_3 = 0,25 saat V_1 = 70 km/h V_2 = 50 km/h V_3 = 40 km/h	$V_{ort} = \frac{\text{Toplam yer değiştirme}}{\text{Toplam zaman}}$ $V_{ort} = \frac{0,25 \cdot 70 + 0,5 \cdot 50 + 0,25 \cdot 40}{0,25 + 0,50 + 0,25}$ $V_{ort} = \frac{17,5 + 25 + 10}{1}$ = **52,5 km/h olur.**

1.5. Sürat

Hareketli bir cismin birim zamanda aldığı yola **sürat** denir. Sürat, yönü ve doğrultusu olmadığı için skaler bir büyüklüktür ve birimi m/s'dir. Otomobil ve uçak gibi araçlarda sürat birimi olarak km/h kullanılır.

Hız ve sürat kavramları günlük dilde genellikle birbirinin yerine kullanılır, ancak bu ikisi birbirinden farklı terimlerdir. Aralarındaki ayrım şu şekilde örneklendirilebilir: Bir aracın 80 km/h hızla hareket ettiğini söylemek o aracın süratini ifade ederken bir aracın 80 km/h hızla ve güneye doğru hareket ettiğini söylemek ise aracın hızını ifade eder.

$$\text{Sürat} = \frac{\text{Alınan yol}}{\text{Geçen zaman}}$$

$$V = \frac{x}{t}$$

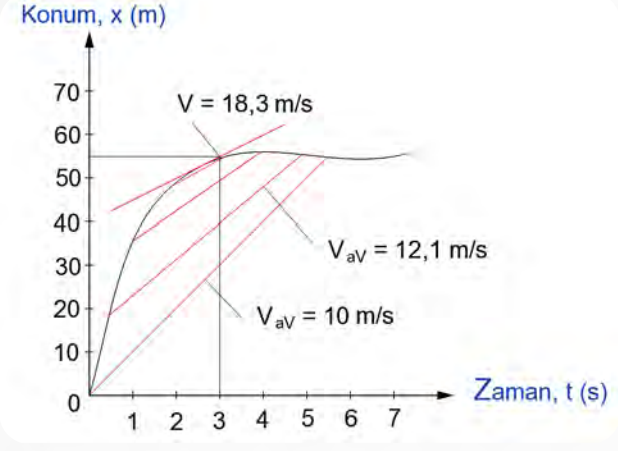
x = metre, t = saniye

Örnek 6: 510 metre uzunluğundaki bir yolu iki koşucudan biri olan Murat 2 dk. 50 s'de, Bayram ise 2 dk. 30 s'de koşuyor. Buna göre Murat ve Bayram'ın süratini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
x = 510 metre	$\text{Sürat} = \frac{\text{Alınan yol}}{\text{Zaman}}$
t_{Murat} = 2 dk. 50 s = 170 s	$\text{Sürat}_B = \frac{510}{150} =$ **3,4 m/s'dir.**
t_{Bayram} = 2 dk. 30 s = 150 s	$\text{Sürat}_M = \frac{510}{170} =$ **3 m/s'dir.**

1.6. Anlık Hız (Ani Hız)

Bir hareketlinin herhangi bir andaki hızına **anlık hız** denir. Anlık hız da vektörel bir büyüklüktür. Hareketli cismin konum zaman grafiğinde herhangi bir andaki hızı, eğri üzerinde o zamana gelen noktada çizilen teğetin eğimine eşittir (Şekil 3.4).



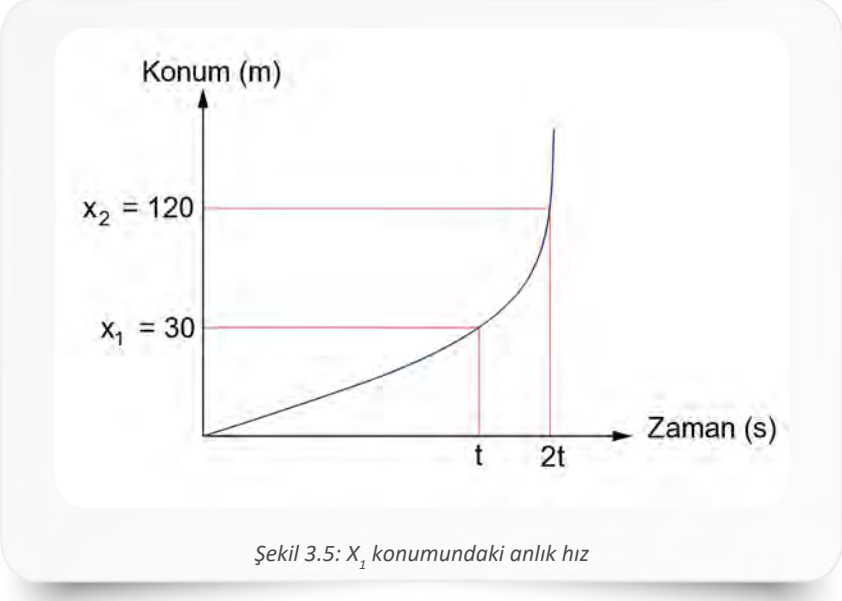
Şekil 3.4: Anlık hız konum-zaman grafiği

$V_{ani} = \tan\theta = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

Δx = Yer değiştirme (m)

Δt = Zaman (s)

Örnek 7: Durgun hâlden harekete geçen bir cismin konum-zaman grafiği Şekil 3.5'teki gibidir. Bu cismin x_1 ve x_2 konumları arasındaki ortalama hızı 10 m/s olduğuna göre x_1 konumundaki anlık hızını hesaplayınız.



Şekil 3.5: X_1 konumundaki anlık hız

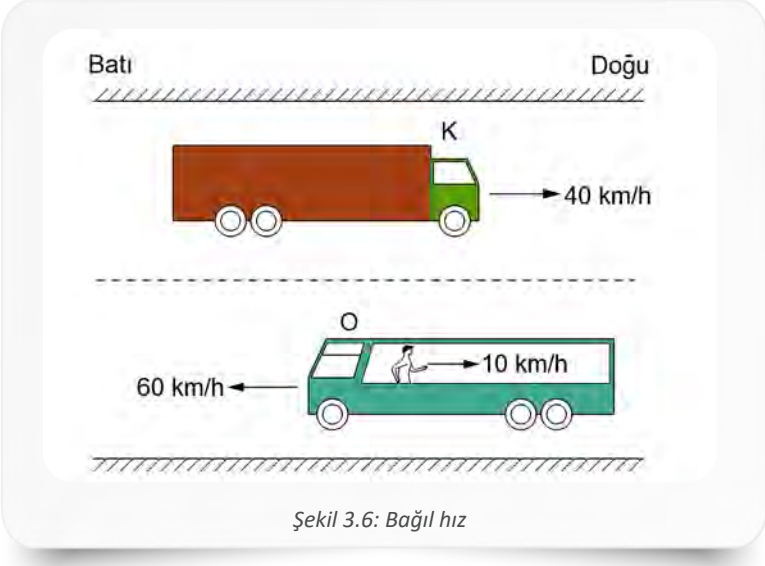
Verilenler:	**Çözüm:**
$x_1 = 30$ m/s $x_2 = 120$ m/s $t_1 = t$ $t_2 = 2t$	$V = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$ $10 = \frac{120 - 30}{2t - t}$ $10 = \frac{90}{t}$ $10t = 90$ **t = 9 s olur.**

1.7. Bağıl Hız

Bir hareketlinin başka bir hareketliye göre hızına **bağıl hız** denir. Bağıl hız $\mathbf{V_b}$ ile gösterilir. Vektörel bir büyüklük olan bağıl hızın sembolü m/s'dir.

Aynı yöne giden iki araçtan birinin hızı 90 km/h, diğerinin hızı 80 km/h olsun. 80 km/h hızla giden araç, 90 km/h hızla giden aracın çok yavaş ilerlediğini düşünür; çünkü 80 km/h hızla giden araç da bir hıza sahiptir. Bu durumda 80 km/h hızla giden araç, diğer aracın hızını, kendi aracının hızından ne kadar fazla ise o kadar görür. Burada daha hızlı giden araç gözlenenken diğer araç gözlemci olur ve bağıl hız gözlenenden gözlemci çıkarılarak ($\mathbf{V_{bağıl} = V_{gözlenen} - V_{gözlemci}}$) bulunur. Gözlenen ve gözlemci farklı yönlerde de olabilir.

Örnek 8: Şekildeki **K** aracı doğuya doğru yere göre 40 km/h hızla gitmektedir. **O** aracı ise batıya doğru yere göre 60 km/h hızla giderken aracın içerisindeki insan, araca göre doğuya doğru 10 km/h hızla gitmektedir. Buna göre, **K** aracındaki gözlemci **O** aracındaki insanı hangi hızla ve hangi yönde hareket ediyor görür (Şekil 3.6)?



Şekil 3.6: Bağıl hız

Verilenler:	**Çözüm:**
V_K = 40 km/h	**O** aracındaki insanın yere göre hızı:
V_O = 60 km/h	V_O = 60 - 10 = 50 km/h
V_i = 10 km/h	**K** aracındaki gözlemcinin **O**'yu gördüğü hız:
	$V_{bağıl} = V_{gözlenen} - V_{gözlemci}$
	$V_{bağıl}$ = 50 - (- 40)
	$V_{bağıl}$ = 90 km/h bulunur.
	Sonuç pozitif çıktığı için batı yönünde hareket ediyor gibi görür.

Nehir hareketleri de bağıl hıza örnek olarak verilebilir. Bir tahta parçası nehre bırakıldığında suyun akış hızıyla aynı hızda hareket eder. Bu hareket akıntı ile olan harekettir.

Durgun kabul edilen suda hareket eden motorun ya da yüzücünün hızına, **suya göre hız** denir. **Akıntı hızı (V_a)** nehrin yere göre olan hızına denir. Motorun ya da yüzücünün **yere göre hızı** ise akıntının hızı ile motorun ya da yüzücünün akıntıya göre hızının vektörel toplamına eşittir.

V_k = Kayığın hızı V_a = Akıntı hızı V_y = Yüzücünün hızı	Kayığın yere göre hızı: $V_{yer} = V_k + V_a$

Akıntı hızı V_a olan bir nehre bırakılan bir tahta parçasının iki nokta arasında ve t saniyede almış olduğu mesafe, $\mathbf{x = V_a \cdot t}$ kadardır.

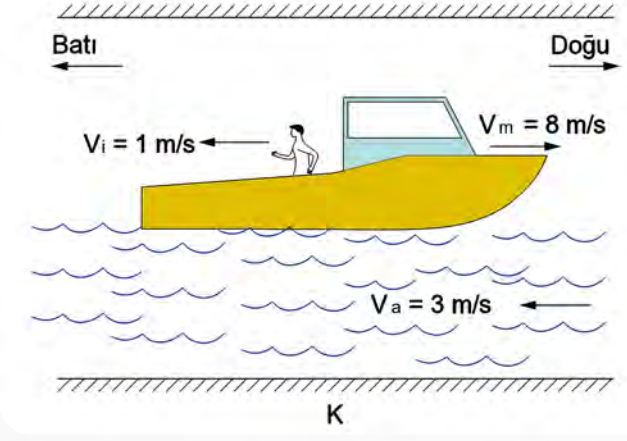
Nehrin akıntısıyla aynı yönde ve akıntı hızı V_a olan nehirde, başlangıç noktasından V_m hızı ile hareket etmeye başlayan motorun varış noktasına t saniyede aldığı yol ise $\mathbf{x = (V_a + V_m) \cdot t}$ kadardır.

Nehrin akıntı yönü ile motorun hareket yönünün farklı olması durumunda ise motorun almış olduğu yol aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir.

$V_a > V_m$ ise akıntı, motoru akıntı ile aynı yöne doğru sürükler.	$x = (V_a - V_m) \cdot t$
$V_m > V_a$ ise motor, akıntıya ters yönde yol alır.	$x = (V_m - V_a) \cdot t$

Akıntının hızı ile motorun hızının eşit olması durumunda yere göre hızı sıfır olacağı için motor olduğu yerde kalır.

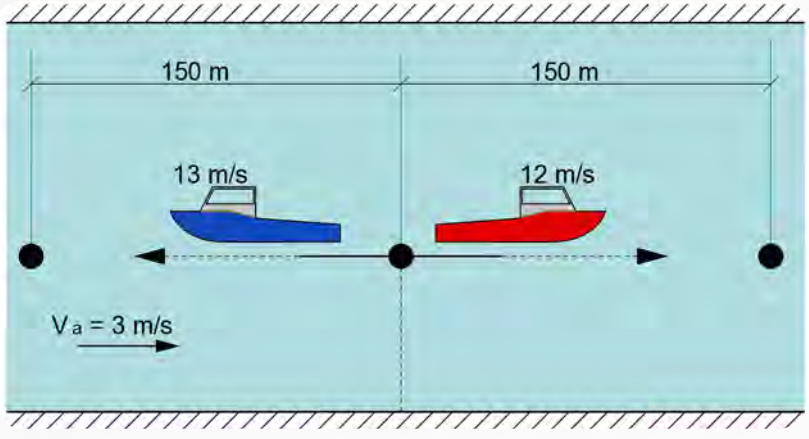
Örnek 9: Akıntı hızı Şekil 3.7'deki gibi batıya doğru 3 m/s olan bir nehirde doğuya doğru 8 m/s hızla giden bir can kurtarma botunun üzerinde ve botun hareketine göre ters yönde 1 m/s'lik hızla giden bir insan vardır. Kıyıda K noktasında bulunan bir gözlemciye göre insanın hızı kaç m/s'dir?



Şekil 3.7: K noktasındaki gözlemciye göre teknedeki insanın hızı

Verilenler:	**Çözüm:**
$V_a = 3$ m/s	Motor içerisindeki insanın yere göre hızı,
$V_m = 8$ m/s	$V = V_m - (V_{insan} + V_a)$
$V_{insan} = 1$ m/s	$V = 8 - (1 + 3)$
	V = 4 m/s'dir.

Örnek 10: Ters yönde hareket eden iki teknenin başlangıç noktalarından 150 m uzaklıktaki bitiş noktalarına gitmeleri isteniyor. Akıntı hızı 3 m/s olan nehirde akıntı ile aynı yönde hareket eden K teknesinin hızı 12 m/s, akıntıya ters yönde hareket eden M teknesinin hızı ise 13 m/s olduğuna göre, teknelerin varış noktalarına ulaşma sürelerini hesaplayınız (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Teknelerin varış noktalarına ulaşma süreleri

Verilenler:	**Çözüm:**	
$X = 150$ m	$X = (V_K + V_a) \cdot t$	$X = (V_M - V_a) \cdot t$
$V_a = 3$ m/s	$150 = (12 + 3) \cdot t_K$	$150 = (13 - 3) \cdot t_M$
$V_K = 12$ m/s	$150 = 15 \cdot t_K$	$150 = 10 \cdot t_M$
$V_M = 13$ m/s	**$t_K = 10$ s olur.**	**$t_M = 15$ s olur.**

1.8. İvme

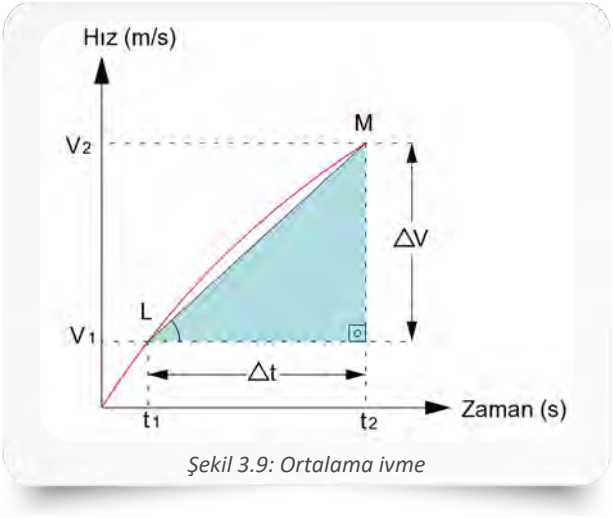
Hareket hâlindeki bir cismin birim zamandaki hız değişimine **ivme** denir. Hız vektörel bir büyüklük olduğu için ivme de vektörel bir büyüklüktür. İvme **a** ile gösterilir ve birimi **m/s²**dir. Bir hareketin ivmeli olabilmesi için cismin hızının büyüklüğünde ya da yönünde değişiklik olması gerekir. Hızlanan ya da yavaşlayan bir hareketlinin hareketi ivmeli harekettir ancak aynı yönde ve sabit hızla hareket eden hareketlinin ivmesi sıfırdır.

Örnek 11: 20 m/s hızla hareket ederken yavaşlayarak 10 saniyede duran bir arabanın ivmesini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$V_s = 0$ m/s	Yavaşlayan aracın ivmesi hareket yönüne terstir.
$V_{ilk} = 20$ m/s	$a = \frac{V_s - V_{ilk}}{\Delta t} = \frac{0 - 20}{10} = \frac{-20}{10} =$ **-2 m/s² olur.**
$\Delta t = 10$ s	

1.8.1. Ortalama İvme

Hareketli bir cisim, ilk zaman **(t_1)** ve son zaman **(t_s)** aralığında değişik hızlarla hareket ederse hareketlinin hızındaki değişim miktarına **ortalama ivme** denir. Hareketli cismin **L** ve **M** noktaları arasındaki ortalama ivmesi **LM** doğrusunun eğiminden bulunur (Şekil 3.9).



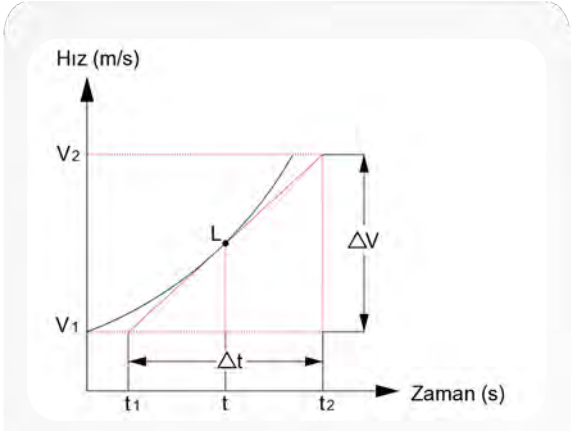
Şekil 3.9: Ortalama ivme

Örnek 12: Bir cismin hızı, 6 saniyede 10 m/s'den 70 m/s'ye çıkıyor. Buna göre cismin ortalama ivmesini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$t_i = 0$ s $t_s = 6$ s $V_i = 10$ m/s $V_s = 70$ m/s	$a_{ort} = \frac{V_s - V_i}{t_s - t_i}$ $a_{ort} = \frac{70 - 10}{6 - 0} = \frac{60}{6} =$ **10 m/s'dir.**

1.8.2. Ani (Anlık) İvme

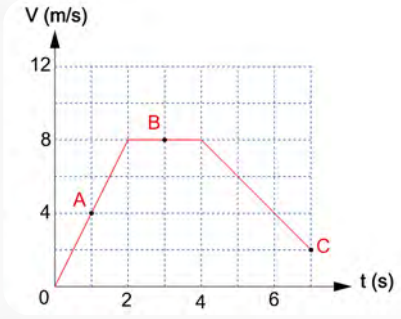
Hareketli bir cismin hızında çok çabuk ve çeşitli değişikliklerin olması ivmesinin değişken olduğunu gösterir. Değişken ivme ile hareket eden cismin yörünge üzerindeki bir noktadan geçtiği andaki ivmesine **ani (anlık) ivme** denir. Anlık ivmenin bilinmesi, anlık hızın hesaplanabilmesini sağlar. Şekil 3.10'daki grafikte **L** noktasındaki anlık ivmenin bulunması için bu noktadan eğriye teğet çizilir. Bu teğetin eğimi, o noktadaki anlık ivmeyi verir. Teğet eğimi eğrinin her noktasında farklı olacağı için ani ivmeler de farklıdır.



Şekil 3.10: Anlık ivme

Δv = Hızdaki değişim (m/s) Δt = Zamandaki değişim (s)	İvme (m/s²) $a = \frac{\Delta_V}{\Delta_t}$	Anlık ivme (m/s²) $a_{ani} = \frac{\Delta_V}{\Delta_t}$	Ortalama ivme (m/s²) $a_{ort} = \frac{\Delta_V}{\Delta_t} = \frac{V_s - V_i}{t_s - t_i}$

Örnek 13: Düzgün bir yol boyunca hareket eden bir aracın hız zaman grafiği şekildeki gibidir. Aracın A, B ve C noktalarındaki anlık ivmesini hesaplayınız (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Aracın anlık ivmesi

Çözüm:

A noktasındaki anlık ivme: $a_{ani} = \frac{\Delta_V}{\Delta_t} = \frac{4}{1} =$ **4 m/s² dir.**

B noktasındaki anlık ivme: Hızdaki değişim sıfır olduğu için anlık ivme = **0 olur.**

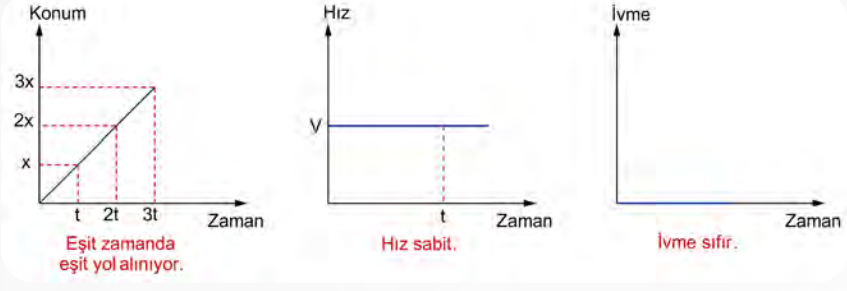
C noktasındaki anlık ivme: $a_{ani} = \frac{\Delta_V}{\Delta_t} = \frac{2 - 8}{7 - 4} = \frac{-6}{3} =$ **-2 m/s²dir.**

1.9. Doğrusal Hareket Çeşitleri

Bir cismin hareketi süresince izlediği yolun şekli doğrusal ise bu harekete **doğrusal hareket** denir.

1.9.1. Düzgün Doğrusal Hareket

Doğrusal yolda hareket eden bir cismin hızı zamanla değişmiyorsa yani cisim sabit hızla hareket ediyorsa bu cismin yapmış olduğu harekete **düzgün doğrusal hareket** denir. Düzgün doğrusal hareket yapan bir cismin almış olduğu yol, **X = V . t** eşitliği ile hesaplanır. Hız sabit olduğu için ivme sıfırdır. Düzgün doğrusal hareket yapan cisme ait grafikler Şekil 3.12'deki gibidir.



Şekil 3.12: Düzgün doğrusal hareket grafikleri

Örnek 14: Saatte 90 km hızla hareket eden bir aracın 30 dakikada almış olduğu yolu hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
t = 30 dakika = 0,5 saat	X = V . t
V = 90 km/h	X = 90 . 0,5 = **45 km olur.**

1.9.2. Düzgün Değişen Doğrusal Hareket

Doğrusal yolda hareket eden bir aracın hızı düzgün değişiyorsa bu harekete **düzgün değişen doğrusal hareket** denir. Düzgün değişen doğrusal harekette ivme sabit olduğundan bu harekete **sabit ivmeli hareket** de denir. Aracın ivmesinin sabit olması, hızın her saniye ivme kadar artması ya da azalması demektir.

İlk hızı olmayan ivmeli hareket: Duran bir cismin harekete başlayıp hızlanması durumudur. Park hâlindeki bir aracın harekete geçmesi, ilk hızı olmayan ivmeli harekete örnektir.

X = Yer değiştirme (m) t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s) a = İvme (m/s²)	$X = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

Düzgün hızlanan doğrusal hareket: Belirli bir hızı olan ve düzenli şekilde hızlanan aracın yaptığı harekettir. Doğrusal bir yol boyunca sabit hızla hareket eden bir aracın önündeki aracı geçebilmesi için gaz pedalına sabit bir oranda basılarak aracın hızının zamanla doğru orantılı olarak artırılması düzgün hızlanan doğrusal harekete örnektir. İlk hızı $\mathbf{V_0}$ olan bir aracın hızı, belli bir **t** zaman sonra **V** değerine çıkar. Bu durumda cismin son hızı, $\mathbf{V = V_0 + a \cdot t}$ eşitliği ile hesaplanır.

X = Yer değiştirme (m) t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s) a = İvme (m/s²) V_0 = Cismin ilk hızı (m/s)	$X = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

Örnek 15: İvmesi 10 m/s² olan bir aracın hızı 5 saniyede 10 m/s'den 60 m/s'ye çıkıyor. Aracın almış olduğu yolu hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
t = 5 saniye V_0 = 10 m/s a = 10 m/s²	$X = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 10 \cdot 5 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 5^2$ $X = 50 + \frac{1}{2} \cdot 250 =$ **175 m olur.**

Düzgün yavaşlayan doğrusal hareket: Düzgün yavaşlayan doğrusal harekette hız, belli bir $\mathbf{V_0}$ hızından başlayarak **t** zaman sonra **V** hızına düşer. Bu durumda cismin son hızı, $\mathbf{V = V_0 - a \cdot t}$ eşitliği ile hesaplanır. Belirli bir hızla giden bir aracın frenlenerek yavaşlatılması, buna örnek verilebilir.

X = Yer değiştirme (m) t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s) a = İvme (m/s²) V_0 = Cismin ilk hızı (m/s)	$X = V_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

1.10. Serbest Düşme

Hava sürtünmesiz bir ortamda, yerden **Y** kadar yükseklikten bırakılan bir cismin sadece yer çekimi etkisi ile yapmış olduğu harekete **serbest düşme** denir. Serbest düşmede cismin ilk durumu ve hareket yönü ne olursa olsun yer çekimi **(g)** sabit ve aşağı doğrudur. Düşen cismin hareket ivmesi, yer çekimi ivmesi kadardır ve cisim, yere çarpana kadar yer çekimi ivmesi ile düzgün hızlanan doğrusal hareket yapar. Serbest düşme hareketinde alınan yol, düşey doğrultuda yani koordinat düzlemindeki **y ekseni** boyunca olduğu için **Y** harfi ile ifade edilir.

1.10.1. Duran Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi

İlk hızı sıfır olan bir cismin yer çekimi etkisi ile hızlanarak aşağıya doğru düşmesidir. Cismin hızının artışı zamanla orantılıdır ve cismin **t** zaman kadar sonra sahip olduğu hız, **V = g . t** eşitliği ile hesaplanır.

Y = Cismin düşey doğrultuda almış olduğu yol (m) t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s) g = Yer çekimi ivmesi (m/s^2)	Cismin herhangi bir t süresi boyunca almış olduğu yol, $Y = \frac{1}{2} . g . t^2$ formülü ile hesaplanır.

Örnek 16: 100 metre yükseklikten bırakılan bir cismin yere çarpma hızını ve yere çarpma süresini hesaplayınız ($g = 10\ m/s^2$).

Verilenler:	**Çözüm:**	
Y = 100 m $g = 10\ m/s^2$ t = ? V = ?	$Y = \frac{1}{2} . g . t^2$ $100 = \frac{1}{2} . 10 . t^2$ $t^2 = 20$ **t = 4,47 s olur.**	V = g . t V = 10 . 4,47 **V = 44.7 m/s bulunur.**

1.10. 2. Aşağı Doğru Atılan Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi

$\mathbf{V_0}$ ilk hızı ile aşağı doğru atılan bir cismin hızı gittikçe artar; cismin t zaman sonraki hızı hesaplanırken $\mathbf{V = V_0 + g . t}$ eşitliği kullanılır.

Y = Cismin düşey doğrultuda almış olduğu yol (m) t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s) g = Yer çekimi ivmesi (m/s^2) V_0 = İlk hız (m/s)	Cismin herhangi bir t süresi boyunca almış olduğu yol, $Y = V_0 . t + \frac{1}{2} . g . t^2$ formülü ile hesaplanır.

Örnek 17: İlk hızı 5 m/s olan bir cisim, aşağı doğru atıldıktan 6 saniye sonra yere çarpıyor. Buna göre,

a) Cismin son hızı kaç m/s'dir?

b) Cismin almış olduğu yol kaç metredir ($g = 10\ m/s^2$)?

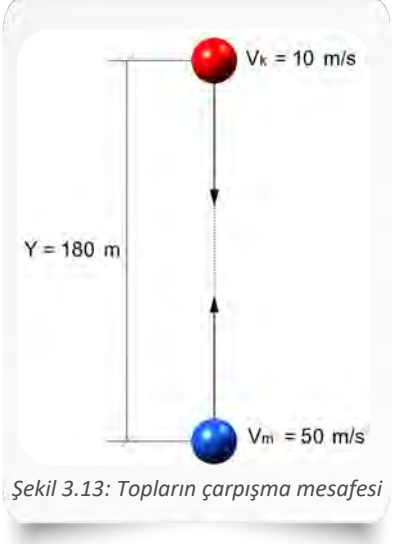
Verilenler:	**Çözüm:**	
$g = 10\ m/s^2$ $V_0 = 5\ m/s$ $t = 6\ s$ $Y = ?$ $V_s = ?$	$V_s = V_0 + g\ .\ t$ $V_s = 5 + 10\ .\ 6$ **V_s = 65 m/s'dir.**	$Y = V_0\ .\ t + \frac{1}{2}\ .\ g\ .\ t^2 = 5.\ 6 + \frac{1}{2}\ .\ 10\ .\ 6^2$ $Y = 30 + \frac{1}{2}\ .\ 360$ **Y = 30 + 180 = 210 metre olur.**

1.10.3. Yukarı Doğru Atılan Bir Cismin Serbest Düşme Hareketi

V_0 ilk hızı ile yukarı doğru atılan bir cismin bir süre sonra yavaşlayarak durması ve ilk hızsız bir şekilde serbest düşme hareketi yapmasıdır. Yukarı doğru atılan cismin yavaşlayarak durmasının sebebi, hareketin yönü ile yer çekimi ivmesinin birbiri ile zıt yönlü olmasıdır. Yukarı doğru atılan bir cismin **t** zaman sonundaki hızı, **$V = V_0 - g\ .\ t$** eşitliği ile hesaplanır.

Y = Cismin düşey doğrultuda almış olduğu yol (m) t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s) g = Yer çekimi ivmesi (m/s^2) V_0 = İlk hız (m/s)	Cismin herhangi bir t süresi boyunca almış olduğu yol, $Y = V_0\ .\ t + \frac{1}{2}\ .\ g\ .\ t^2$ formülü ile hesaplanır.

Örnek 18: Şekil 3.13'teki gibi iki toptan kırmızı olanı 10 m/s hızla aşağı doğru, mavi olanı 50 m/s hızla yukarı doğru atılıyor. Toplar yerden kaç metre yüksekte çarpışır ($g = 10\ m/s$)?



Şekil 3.13: Topların çarpışma mesafesi

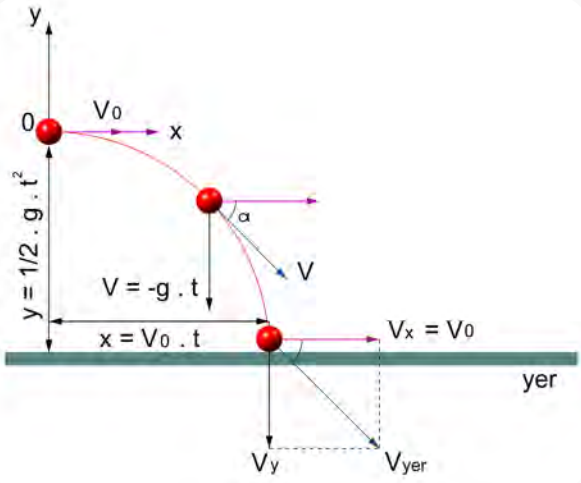
Verilenler:	**Çözüm:**	
$g = 10\ m/s^2$ $V_K = 10\ m/s$ $V_M = 50\ m/s$ $Y = 180\ m$	$Y_K = V_K\ .\ t + \frac{1}{2}\ .\ g\ .\ t^2$ $Y_M = V_M\ .\ t - \frac{1}{2}\ .\ g\ .\ t^2$ $Y = V_K\ .\ t + V_M\ .\ t$ $180 = 10\ .\ t + 50\ .\ t$ $180 = 60\ .\ t$ **t = 3 saniye olur.**	$Y_M = V_M\ .\ t - \frac{1}{2}\ .\ g\ .\ t^2$ $Y_M = 50\ .\ 3 - \frac{1}{2}\ .\ 10\ .\ 3^2$ $Y_M = 150 - \frac{1}{2}\ .\ 10\ .\ 9$ $Y_M = 150 - 45$ **Y_M = 105 metre bulunur.**

1.11. Atış Hareketleri

Yatay ve eğik atış olmak üzere iki tür atış hareketi vardır.

1.11.1. Yatay Atış Hareketi

Hava dirençsiz bir ortamda, yerden belli bir yükseklikte $\mathbf{V_0}$ ilk hızı ile yatay olarak atılan cismin yaptığı harekete **yatay atış hareketi** denir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Yatay atış hareketi

Atış hareketi hava direncinin önemsiz olduğu ortamda kütleden bağımsızdır. Gökyüzündeki bir uçaktan atılan cismin yapmış olduğu hareket yatay atış hareketine örnek verilebilir.

Yatay atış yapılan cismin hareketi yatay **(x)** ve düşey **(y)** bileşenlerine ayrılarak incelenir. Cisim, yatay düzlemde sabit hızla hareket ederken düşey düzlemde serbest düşme hareketi yapar. Yatay atış hareketi yapan bir cismin herhangi bir andaki hızı, $\mathbf{V^2 = V^2_x + V^2_y}$ eşitliği ile hesaplanır. Cismin yatay ve düşey doğrultuda almış olduğu yol formülleri aşağıdaki gibidir.

X = Cismin yatay doğrultuda almış olduğu yol (m) Y = Cismin düşey doğrultuda almış olduğu yol (m) t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s) g = Yer çekimi ivmesi (m/s^2) V_0 = İlk hız (m/s)	$X = V_0 \cdot t$ $Y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Örnek 19: Yerden 100 metre yüksekten yatay 25 m/s hızla bir cisim atılıyor.

a) Cismin havada uçuş süresi nedir ($g = 10\ m/s^2$ alınacaktır.)?

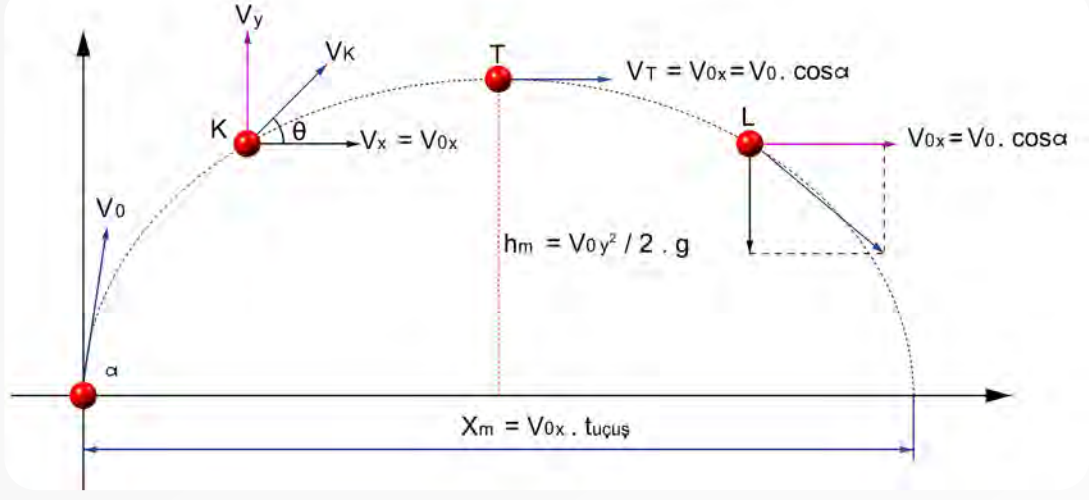
b) Yatay doğrultuda aldığı yol ne kadardır?

Verilenler:	**Çözüm:**	
$g = 10\ m/s^2$ $V_0 = 25$ m/s Y = 100 m X = ? t = ?	$Y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ $100 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$ $100 = 5 \cdot t^2$ $20 = t^2$ **t = 4,47 s' dir.**	$X = V_0 \cdot t$ $X = 25 \cdot 4,47$ **X = 111,75 m' dir.**

1.11.2. Eğik Atış Hareketi

Yatay düzlemle belli bir açıda ve belli bir ilk hızla fırlatılan cismin yapmış olduğu harekete **eğik atış hareketi** denir. Eğik atış hareketi yapan bir cismin herhangi bir andaki hızı, yatay ve düşey hızların bileşkesi olarak Pisagor bağıntısı ile hesaplanır. Bu durumda yatay düzlemdeki hız, $\mathbf{V_{0x} = V_0 \cdot \cos\alpha}$ ve düşey düzlemdeki hız, $\mathbf{V_{0y} = V_0 \cdot \sin\alpha}$ bağıntıları ile hesaplanır.

Cismin maksimum yüksekliğe çıkış süresi iniş süresine eşittir. Yukarı yönde eğik atış hareketi yapan bir cisme yatay eksende bir kuvvet etki etmediğinden cisim yatay eksende sabit hızla hareket eder. Düşey eksende ise yer çekimi etkisi ile cisim, önce yukarı yönde düzgün yavaşlayan hareket yapar ve cismin hızı tepe noktasında sıfırlanır. Tepe noktasından itibaren cismin yaptığı hareket yatay atış hareketidir ve cismin düşey eksende hızı düzgün artar (Şekil 3.15). Cismin yere çarpma hızı $\mathbf{V_{0y}}$ olur.



Şekil 3.15: Eğik atış hareketi

Cismin yatay ve düşey doğrultuda almış olduğu yol formülleri ve hızın düşey düzlemde herhangi bir andaki değeri **(V_y)** aşağıdaki gibidir.

Y = Cismin düşey doğrultuda almış olduğu yol (m)

X = Cismin belli bir zaman içerisinde almış olduğu yol (m)

t = Cismin hareketi süresince geçen zaman (s)

g = Yer çekimi ivmesi (m/s^2)

V_0 = İlk hız (m/s)

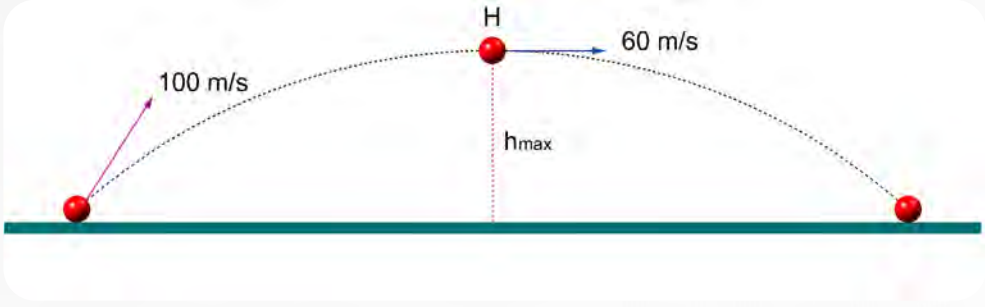
V_y = Hızın düşey düzlemde herhangi bir andaki değeri (m/s)

$$V_y = V_0 \cdot \sin\alpha - g \cdot t$$

$$X = V_0 \cdot t \cdot \sin\alpha$$

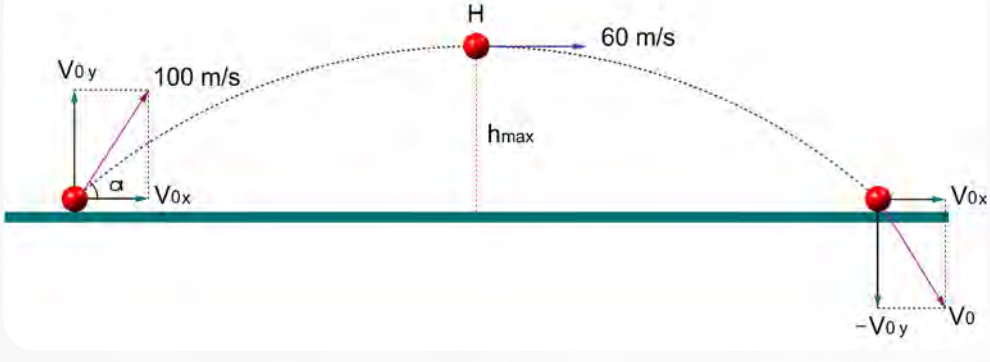
$$Y = V \cdot t \cdot \sin\alpha - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Örnek 20: Şekil 3.16'daki gibi yerden 100 m/s'lik hızla atılan bir cisim maksimum H noktasından 60 m/s hızla geçtiğine göre maksimum yüksekliği hesaplayınız (g = 10 m/s²).



Şekil 3.16: Maksimum yükseklik

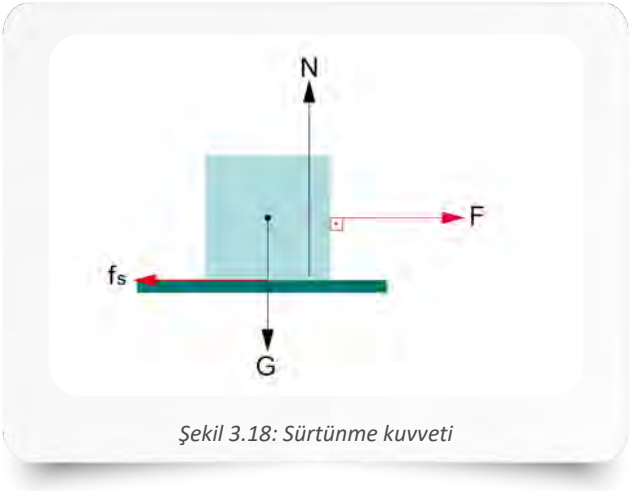
Verilenler:	**Çözüm:**
$g = 10\ m/s^2$	H noktasında yatay hız 60 m/s olduğu için yatay düzlemde hızı $V_{0x} = 60$ m/s olur (Şekil 3.17).
$V_0 = 100\ m/s$	$V^2 = V_{0x}^2 + V_{0y}^2$
$V_{0x} = 60\ m/s$	$100^2 = 60^2 + V_{0y}^2$
	$V_{0y}^2 = 10000 - 3600 = 6400$
	$V_{0y} = 80\ m/s$
	$V^2 = V_{0y}^2 - 2 \cdot g \cdot h$
	Tepe noktasında düşey hız, sıfıra eşit olacağı için
	$0 = 80^2 - 2 \cdot 10 \cdot h$
	$20h = 6400$
	h = 320 m olur.



Şekil 3.17: Maksimum yüksekliğin bulunması

2. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KANUNU İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

Bir cismin, zemin üzerinde veya hava, su gibi akışkanların içerisinde harekete geçmesini zorlaştıran veya hareket hâlindeki cismin hareketini güçleştiren zıt yönlü kuvvete **sürtünme kuvveti** denir. Sürtünme kuvveti vektörel bir büyüklük olup birimi **N**'dur (Şekil 3.18).

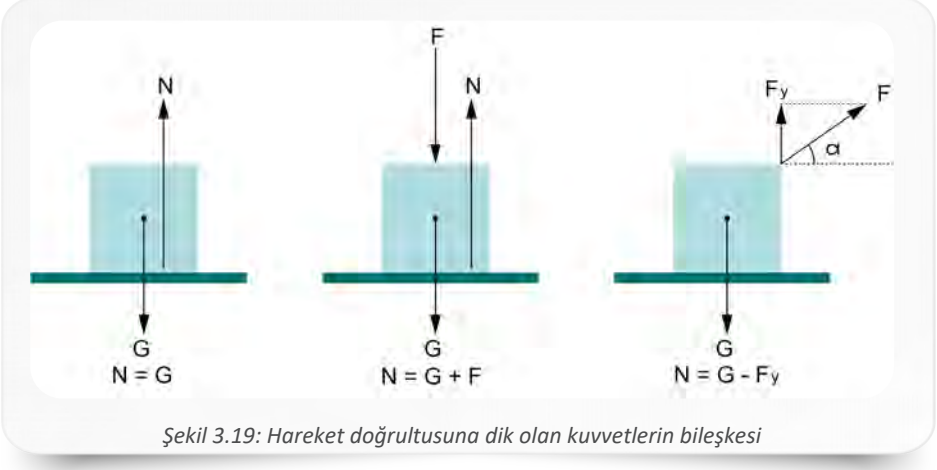


Şekil 3.18: Sürtünme kuvveti

Günlük hayatta, sürtünme kuvvetinin olumlu ve olumsuz etkilerine tanık olunabilir. Çalışan bir gemi makinesinin parçalarında sürtünme olması, üretilen hareket enerjisinin bir kısmının kaybolmasına, dolayısıyla verimin düşmesine ve makine parçalarının aşınmasına neden olur. Sürtünme kuvvetinin bu gibi olumsuz etkilerinin yanında olumlu etkileri de vardır. Örneğin sürtünme kuvvetinin az olduğu kaygan zeminlerde yürüyebilmek zordur veya sürtünme kuvvetinin olmadığı hareketli bir sistemde ayakta durabilmek imkânsızdır. Bu tür zeminlerde ayakta durabilmek ve yürüyebilmek için sürtünme kuvvetine ihtiyaç duyulur. Sürtünme kuvveti, cismin temas ettiği zeminin cinsine bağlı olarak değişir. Zeminle olduğu gibi hava ile de sürtünme olması durumuna **hava direnci** denir.

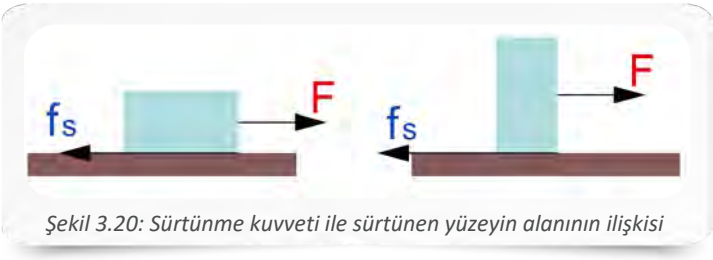
Sürtünme kuvvetinin **(f_s)** yüzeye dik olan tepki kuvvetine **(N)** oranı, sürtünme katsayısını **(k)** verir **(k = fs / N)**. Sürtünme katsayısı 0 ile 1 arasında birimsiz bir sayıdır.

Sürtünme kuvvetinin büyüklüğü, yüzeye etki eden tepki kuvveti ile doğru orantılı olduğu için **f_s = k . N** olur (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: Hareket doğrultusuna dik olan kuvvetlerin bileşkesi

Sürtünme kuvveti, cisimlerin sürtünen yüzeylerinin alanına bağlı değildir. Şekildeki cisim, aynı zemin üzerinde ve cismin farklı yüzeylerinde hareket ettirilmeye çalışıldığında oluşan sürtünme kuvvetleri eşittir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20: Sürtünme kuvveti ile sürtünen yüzeyin alanının ilişkisi

Sürtünmeli zemin üzerindeki bir cisme kuvvet uygulandığında karşılaşılacak durumlar şunlardır:

- Duran cisme uygulanan kuvvet, sürtünme kuvvetinden büyükse cisim düzgün hızlanan hareket yapar.
- Cisme uygulanan kuvvetle sürtünme kuvvetinin eşit olması durumunda, duran cisim harekete geçemez ama cismin ilk hızı varsa net kuvvet sıfır olduğu için cisim sabit hızlı hareket yapar.
- Sürtünme kuvvetinin cisme etki eden kuvvetten büyük olması durumunda ise ilk hızı olan bir cisim düzgün yavaşlayarak durur.

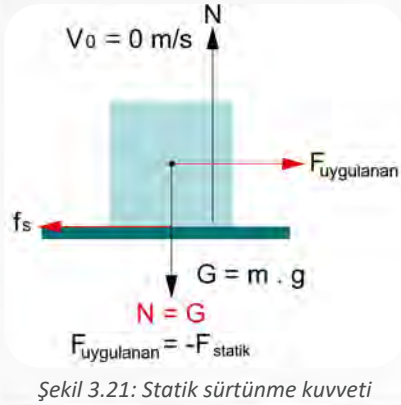
Cismin hareket ettiği yüzeye bağlı olarak cisme uygulanan kuvvet değişir. Örneğin pürüzlü yüzeylerde sürtünme kuvveti daha büyük olacağından cismi hareket ettirmek için uygulanan kuvvetin de büyük olması gerekir. Ayrıca cismin ağırlığının artması durumunda cismin ve yüzeyin girinti ve çıkıntıları birbiri içine daha fazla gireceğinden sürtünme kuvveti artar. Bu durumda da cismi hareket ettirmek için uygulanan kuvvetin artırılması gerekir.

2.1. Kayma Sürtünmesi

Birbiri üzerinde kayarak hareket eden cisimlerin temas yüzeylerinde meydana gelen sürtünmeye **kayma sürtünmesi** denir. İki yüzey arasındaki sürtünme kuvveti, yüzeylerin hareketli olup olmamasına bağlı olarak değişiklik gösterir. Sürtünme kuvveti, cismin durgun veya hareketli olması durumuna göre statik sürtünme kuvveti ve kinetik sürtünme kuvveti olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.1. Statik Sürtünme Kuvveti

Durgun bir cismi harekete geçirebilecek kuvvetle eşit büyüklükte, zıt yönlü ve aynı doğrultulu olan kuvvete **statik sürtünme kuvveti (fs)** denir (Şekil 3.21).

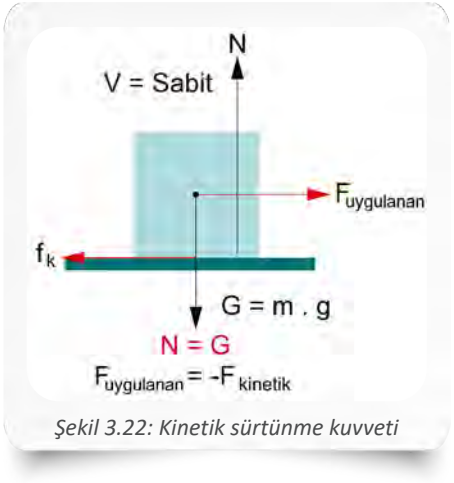


Şekil 3.21: Statik sürtünme kuvveti

2.1.2. Kinetik Sürtünme Kuvveti

Hareket halindeki bir cismin hareketini sabit hızda tutan kuvvetle eşit büyüklükte, aynı doğrultulu ve zıt yönlü olan kuvvete **kinetik sürtünme kuvveti (f_k)** denir (Şekil 3.22).

Aynı yüzey üzerindeki aynı cisme etki eden statik sürtünme kuvveti ile kinetik sürtünme kuvveti karşılaştırıldığında, statik sürtünme katsayısının kinetik sürtünme katsayısından her zaman büyük olduğu görülür. Her iki sürtünme kuvvetinin değerleri birbirine yakın olduğu için hesaplamalarda sürtünme kuvvetleri eşit kabul edilir ve her iki kuvvet yerine de sürtünme kuvveti **($f_{sür}$)** kullanılır.



Şekil 3.22: Kinetik sürtünme kuvveti

Örnek 21: Sabit hızla hareket eden 3 kg'lık bir cisim ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,4 olduğuna göre cisme etkiyen sürtünme kuvvetini hesaplayınız (g = 10 m/s² alınacaktır.).

Verilenler:	**Çözüm:**
m = 3 kg	N = m . g
g = 10 m/s²	N = 3 . 10 = **30 N olur.**
k = 0,4	$f_{sür}$ = k . N
N = G	$f_{sür}$ = 0,4 . 30
$f_{sür}$ = ?	$f_{sür}$ = **12 N bulunur.**

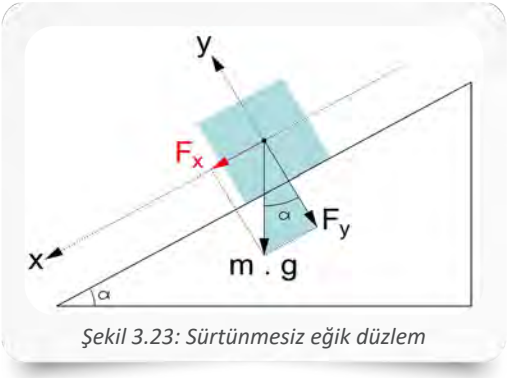
2.2. Eğik Düzlem

Cisimleri belli bir yüksekliğe çıkarmak amacıyla yapılan ve yüzeyin yatay eksenle belli bir açı yapacak şekilde yerleştirilmesi ile elde edilen düzeneğe **eğik düzlem** denir. El arabasının ya da tekerlekli sandalyenin belli bir yüksekliğe çıkabilmesi için kullanılan rampa, eğik düzleme örnek verilebilir.

2.2.1. Sürtünmesiz Eğik Düzlem

Sürtünmesi önemsiz α açılı eğik bir düzleme bırakılan **m** kütleli bir cisme etkiyen birden çok kuvvet vardır (Şekil 3.23). Eğik düzlemdeki cismin ağırlık kuvveti, eğik düzleme dik olan **(F_y)** ve eğik düzleme paralel olan **(F_x)** kuvvet bileşenlerine ayrılarak bulunur. Bu kuvvetlerden düzleme dik olan F_y kuvveti, $F_y = m . g . \sin\alpha$ ve düzleme paralel olan F_x kuvveti, $F_x = m . g . \cos\alpha$ bağıntıları ile hesaplanır.

Eğik düzlem üzerindeki cismi, aşağı yönde hareket ettiren kuvvet F_x kuvvetidir. Buna göre cismin ivmesi, mekaniğin alt dallarından birisi olan dinamiğin temel prensiplerinden yararlanılarak bulunur. Dinamik, hareket ile harekete sebep olan ve hareketi değiştiren unsurları inceler.



Şekil 3.23: Sürtünmesiz eğik düzlem

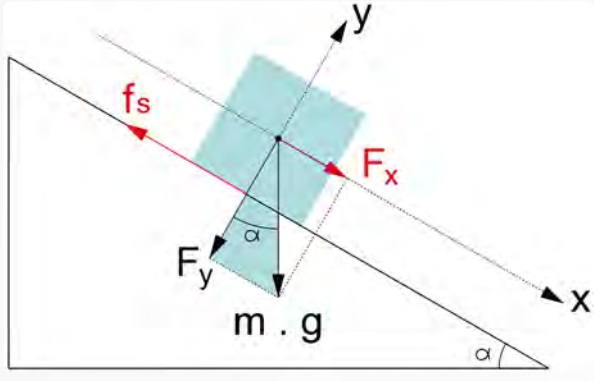
$F_{net} = m \cdot a$ $F_x = m \cdot a$ $m \cdot g \cdot \sin\alpha = m \cdot a$ $a = g \cdot \sin\alpha$ olarak bulunur.

Bu bağıntıdan da anlaşıldığı gibi cismin ivmesi, düzlemin eğim açısı ile yer çekimi ivmesine bağlıdır. Eğik düzlem üzerinde hareket eden cismin aldığı yol, kazandığı hız ve geçen süre hızlanan hareketin özelliklerinden faydalanılarak bulunur.

2.2.2. Sürtünmeli Eğik Düzlem

Sürtünmeli eğik düzlemdeki cismin ağırlık kuvvetinin bileşenleri de sinüs ve kosinüs bağıntıları kullanılarak hesaplanır. Sürtünme kuvveti ise $\mathbf{N = F_y}$ olduğu için $\mathbf{f_s = k \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha}$ eşitliği ile hesaplanır (Şekil 3.24).

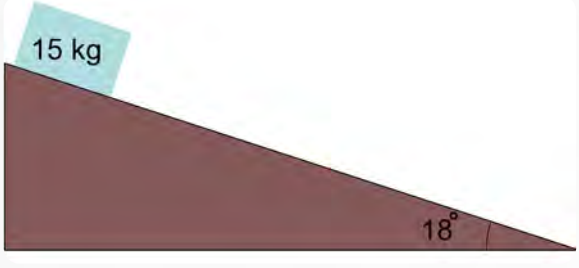
Cismin sürtünmeli eğik düzlemde hareket edebilmesi için düzleme paralel olan F_x kuvvetinin sürtünme kuvvetinden (f_s) büyük olması gerekir. F_x ve f_s kuvvetlerinin eşit olması durumunda cismin ilk hızı yoksa cisim harekete geçmez, ilk hızının olması durumunda ise cisim sabit hızlı hareket yapar. F_x kuvvetinin f_s kuvvetinden küçük olması durumunda ise cisim harekete geçmez, ilk hızla atılırsa aşağı doğru yavaşlayan hareket yapar.



Şekil 3.24: Sürtünmeli eğik düzlem

Sürtünmeli eğik düzlemdeki cismin ivmesi, $\mathbf{F_x - f_s = m \cdot a}$ bağıntısı ile hesaplanır.

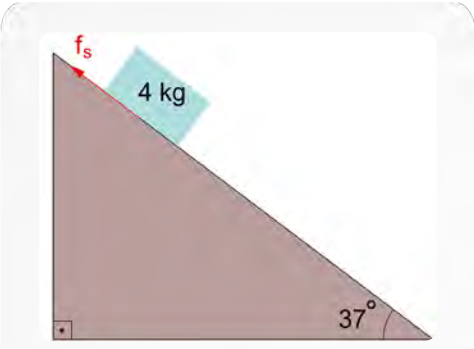
Örnek 22: Ağırlığı 15 kg olan bir cisim, Şekil 3.25'teki gibi 18° eğimli bir düzlemde sabit hızla hareket etmektedir. Buna göre cisme etki eden sürtünme kuvvetini hesaplayınız (g = 10 m/s² alınacaktır).



Şekil 3.25: Serbest hızla hareket eden cismin sürtünme kuvveti

Verilenler:	**Çözüm:**
m = 15 kg	$F_x = f_s = m \cdot g \cdot \sin\alpha$
sin18° = 0,3	$f_s = 15 \cdot 10 \cdot 0,3$
g = 10 m/s²	**f_s = 45 N bulunur.**

Örnek 23: Sürtünme katsayısı 0,3 olan bir eğik düzlemin üzerindeki 4 kg'lık cisme etki eden kuvvet 40 N olduğuna göre cismin ivmesinin kaç m/s² olduğunu hesaplayınız (Şekil 3.26).



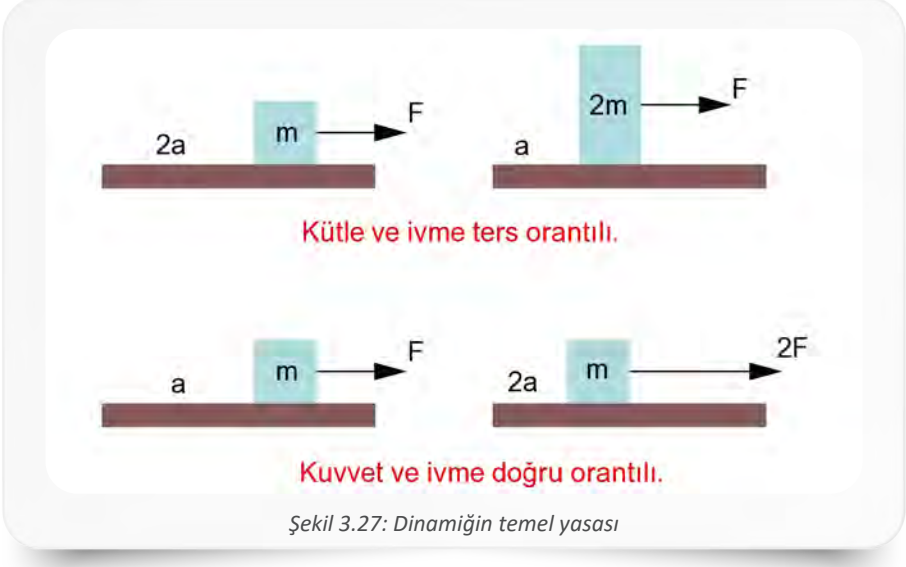
Şekil 3.26: Sürtünmeli eğik düzlem üzerindeki cismin ivmesi

Verilenler:	**Çözüm:**
m = 4 kg	$F_s = k \cdot N = k \cdot F_y$
k = 0,3	$F_s = k \cdot (m \cdot g \cdot \cos\alpha)$
g = 10 m/s²	$F_s = 0,3 \cdot (4 \cdot 10 \cdot 0,8) = 9,6$ N
F = 40 N	$F_x - F_s = m \cdot a$
sin37° = 0,6	$m \cdot g \cdot \sin\alpha - F_s = m \cdot a$
cos37° = 0,8	$4 \cdot 10 \cdot 0,6 - 9,6 = 4 \cdot a$
$N = F_y$	$24 - 9,6 = 4a$
	$14,4 = 4a$
	a = 3,6 m/s² olur.

2.3. Newton'un İkinci Hareket Kanunu (Dinamiğin Temel Yasası)

Newton'un birinci hareket kanununa göre cisme etkiyen net kuvvetin sıfır olması durumunda cismin ivmesinin de sıfır olduğu bilinir. Cisim, böyle bir durumda ya durur ya da doğrusal bir yönde sabit hızla hareket eder.

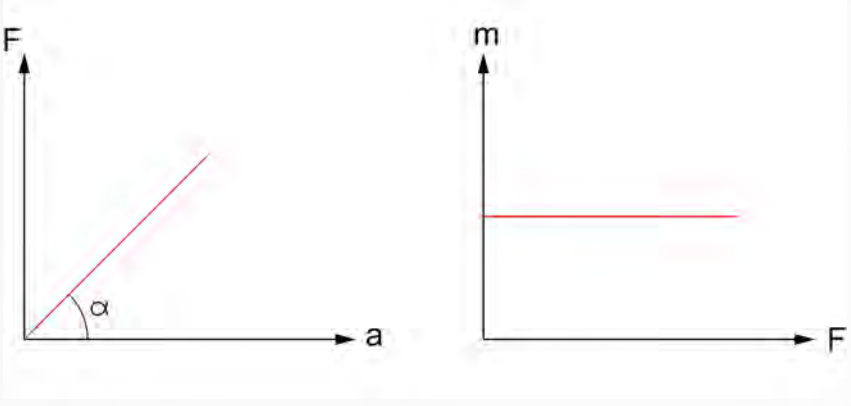
Newton'un ikinci hareket kanunu ise cisme sıfırdan farklı bir bileşke kuvvet etki ettiğinde cismin hareketinde meydana gelen değişikliklerle ilgilidir. Buna göre; bir cismin ivmesi, cisme etki eden bileşke kuvvetle doğru orantılı, cismin kütlesi ile ters orantılıdır. Daha açık bir ifadeyle birbirinden farklı kütlesi olan cisimlere uygulanan eşit kuvvet, kütlesi büyük olan cisme daha küçük bir ivme kazandırır. Kuvvet sabit kalmak koşulu ile cismin kütlesinin arttığı oranda ivme azalır. Cismin kütlesi aynı kalmak koşulu ile cisme uygulanan kuvvet artırılırsa cismin kazandığı ivme de aynı oranda artar. Kuvvet, kütle ve ivme arasındaki bu bağıntı Şekil 3.27'de görüldüğü gibi ifade edilir.



Şekil 3.27: Dinamiğin temel yasası

F = Kuvvet (N) m = Kütle (kg) a = İvme (m/s^2)	Kuvvet = kütle . ivme F = m . a

Kuvvet-ivme grafiğinin eğimi **(tanα = F / a)**, kütleyi **(m)** verir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi kuvvet vektörü ile ivme vektörünün doğrultuları ve yönleri aynıdır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28: Kuvvet-ivme ve kütle-kuvvet grafiği

Cisme uygulanan kuvvet, cismin hareket doğrultusuna paralel ve hareketle aynı yönde ise cisim, düzgün hızlanan hareket yapar ve cismin yörüngesi doğrusal olur. Kuvvetin dik olması durumunda ise cismin yörüngesi eğrisel olur (Şekil 3.29). Cisme uygulanan kuvvet, cismin hareketine zıt yönde ise cisim, önce düzgün yavaşlayarak durur ve sonra kuvvet yönünde düzgün hareket yapar. Sürtünmesiz yüzeyde hareket eden bir cisme etkiyen kuvvet, cismin hareket doğrultusuna sürekli dik olursa cismin hız vektörünün büyüklüğü değişmez fakat yönü değişir.



Şekil 3.29: Cismin yörüngesi

Örnek 24: Sürtünmesiz yatay düzlem üzerinde kütlesi 4 kg olan bir cisme 5 N'luk kuvvet uygulanarak cisim hareket ettiriliyor. Hareket eden cismin ivmesini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
F = 5 N m = 4 kg	F = m . a 5 = 4 . a **a = 1,25 m/s^2 olur.**

Örnek 25: Sürtünmesiz yatay düzlem üzerindeki m kütleli bir cisme Şekil 3.30'daki gibi iki farklı kuvvet aynı anda etki ettiğinde cisim 0,4 m/s²lik ivmeyle hareket ediyor. Buna göre cismin kütlesinin kaç kg olduğunu hesaplayınız.



Şekil 3.30: Sürtünmesiz yatay düzlem üzerindeki cismin kütlesi

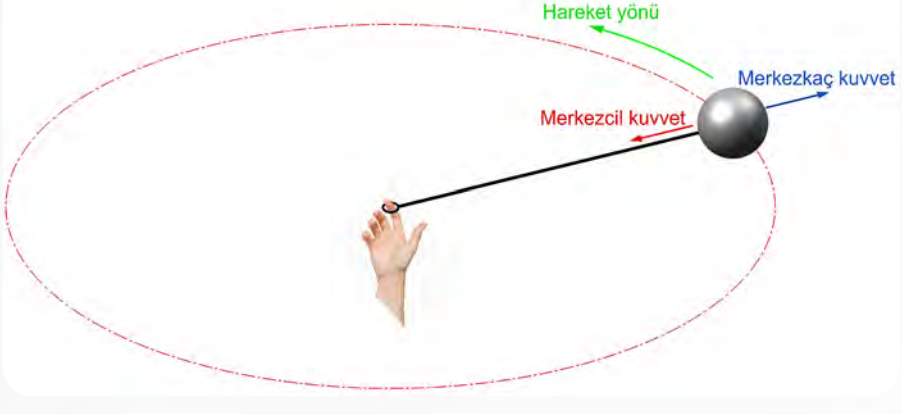
Verilenler:	**Çözüm**:
$F_1 = 4$ N	$F = m \cdot a$
$F_2 = 12$ N	$m = \frac{F_2 - F_1}{a} = \frac{12 - 4}{0,4} = \frac{8}{0,4}$
$a = 0,4$ m/s²	**m = 20 kg olur.**
m = ?	

3. MADDESEL NOKTANIN DİNAMİĞİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

Kuvvet etkisindeki cismin hareketini inceleyen bilim dalına **dinamik** denir. Dinamiğin hareketin özelliklerini, hareketi doğuran nedenleri göz önünde bulundurmadan inceleyen dalına **kinematik**, harekete sebep olan kuvvetleri inceleyen dalına ise **kinetik** denir.

3.1. Merkezkaç Kuvvet

Bir ipin ucuna taş bağlanıp ip hızlıca çevrilmeye başlandığında taş, bir çember biçiminde dönerek ipi gergin tutar. İpin kopması ya da bırakılması durumunda ise taş düz bir çizgi hâlinde fırlar (Şekil 3.31). Atletizmdeki çekiç atma sporunda, çekicin yapmış olduğu hareket bu duruma örnek verilebilir.



Şekil 3.31: Merkezkaç kuvvet

Bir merkez çevresinde dönen cismin merkezden uzaklaşarak dışa doğru uyguladığı kuvvete **merkezkaç kuvvet** denir. Dairesel hareket yapan cismin ağırlığı arttıkça ona etki eden merkezkaç kuvvet de artar. Santrifüj makineleri merkezkaç kuvvet prensibine göre çalışmaktadır. Gemilerde balast pompası olarak merkezkaç (santrifüj) pompalar kullanılmaktadır.

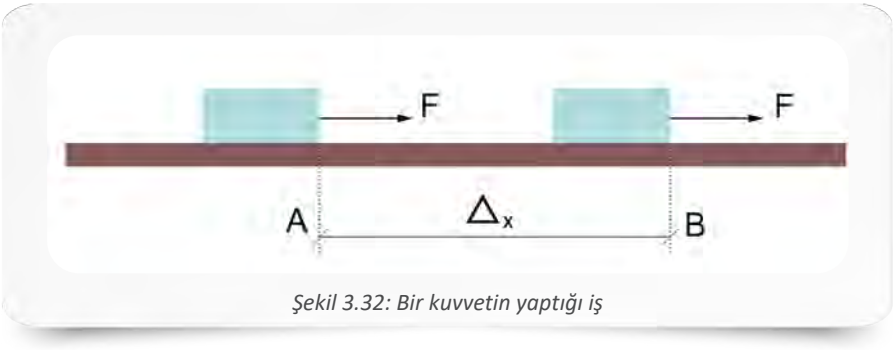
Dairesel hareket sırasında cismin merkezden uzaklaşmasını engellemek yani cismi yörüngede tutmak için gerekli olan kuvvete ise **merkezcil kuvvet** denir. Bisikletçilerin ve motosikletçilerin dönemeçleri dönerken dönme merkezinin içine doğru yatmaları, merkezkaç kuvvetin etkisine karşı koymak içindir.

3.2. İş

Konuşma ve yazı dilinde çeşitli anlamlarıyla kullanılan iş sözcüğü, aynı zamanda fizik bilimi ile ilgili bir terimdir. Fizik terimi olarak **iş**, bir cisme kuvvet uygulandığında cismin kuvvet etkisi ile hareket etmesi durumuna denir. Fiziksel anlamda işin gerçekleşebilmesi için cisme en az bir kuvvetin uygulanması ve uygulanan bu kuvvetin sürtünme kuvvetini yenerek cismi hareket ettirmesi gerekir. Ayrıca, cisme uygulanan kuvvetin doğrultusu ile yolun aynı doğrultuda olması ya da kuvvetin bileşenlerinden birinin yol doğrultusunda olması da gerekir. Bu şartlardan en az birinin eksik olması durumunda iş yapılmış sayılmaz.

Bir inşaat işçisinin çimento dolu el arabasını kuvvet uygulayarak hareket ettirmesi bir iştir, ancak el arabasının içerisindeki yük fazla olduğu için ne kadar emek harcarsa harcasın el arabasını hareket ettirememesi durumunda iş gerçekleşmez.

Bir kuvvetin yaptığı iş **(W)**, cisme uygulanan kuvvet **(F)** ve cismin yer değiştirme mesafesinin **(Δx)** çarpımına eşittir. Şekildeki gibi yatay sürtünmesiz düzlem üzerinde hareket etmekte olan bir cisme hareketi yönünde uygulanan **F** kuvveti ile cisim **Δx** kadar yer değiştirir. Buradan **F** kuvvetinin yaptığı iş, **W = F . Δx** bağıntısı ile hesaplanır. Kuvvet ile hareket yönü aynı olduğu için hesaplanan iş pozitif çıkar (Şekil 3.32).

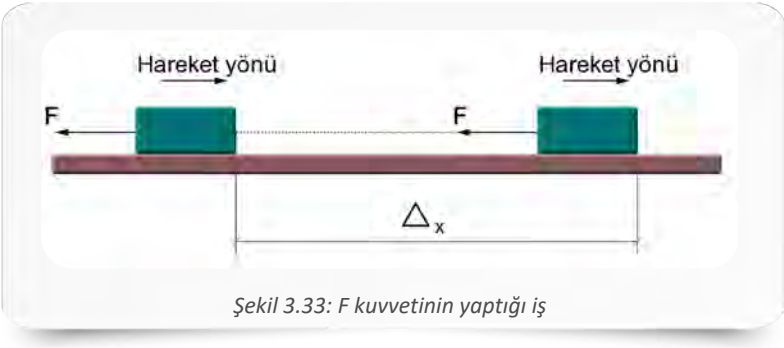


Şekil 3.32: Bir kuvvetin yaptığı iş

F = Kuvvet (Newton) Δx = Yer değiştirme (metre) W = İş (Joule)	W = F . Δx J = N . m olur.

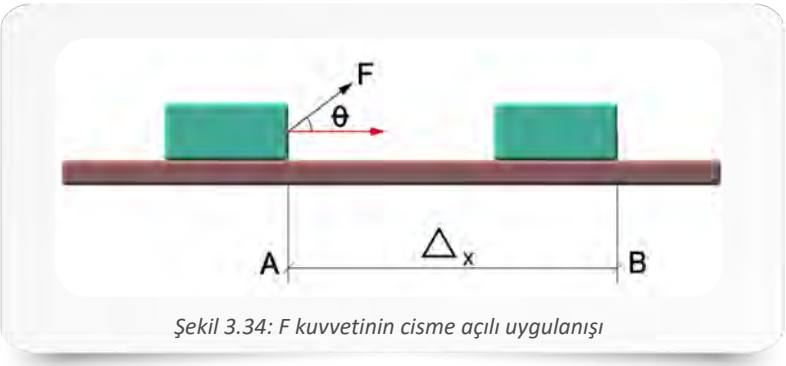
İş skaler bir büyüklük olup uygulanan kuvvet ve hareketin yönüne bağlı olarak pozitif (+) ya da negatif (-) değerler alabilir.

Şekil 3.33'teki gibi yatay sürtünmesiz düzlem üzerinde hareket etmekte olan bir cisme, hareket yönünün tersi yönde bir **F** kuvveti uygulandığında cisim **Δx** kadar yer değiştirir. Bu durumda da **F** kuvvetinin yaptığı iş, **W = -F . Δx** bağıntısı ile hesaplanır. Ancak kuvvet ile hareketin yönü ters olduğu için cismin hızı azalır böylece hesaplanan iş değeri negatif çıkar.



Şekil 3.33: F kuvvetinin yaptığı iş

Cisme uygulanan kuvvet, cismin hareketi ile aynı yönde değilse sadece kuvvetin hareket yönündeki bileşeni iş yapar (Şekil 3.34). Cismin hareket yönü ile **θ** açısı oluşturarak uygulanan **F** kuvvetinin yaptığı iş, **W = F . cosθ . Δx** formülü ile hesaplanır.



Şekil 3.34: F kuvvetinin cisme açılı uygulanışı

Örnek 26: Bir cisim 30 N büyüklüğündeki bir kuvvet ile 3 metre ittirilmektedir. Buna göre kuvvetin yapmış olduğu işi hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
F = 30 N	W = F . Δx
Δx = 3 m	W = 30 . 3
W = ?	**W = 90 joule bulunur.**

Örnek 27: Yatay bir düzlem üzerindeki cisim yukarı doğru 37°lik açıyla uygulanan 70 N'luk bir kuvvetin etkisi ile 20 m yol alıyor. Buna göre kuvvetin yaptığı işi hesaplayınız (cos37° = 0,8).

Verilenler:	**Çözüm:**
F = 70 N	W = F . cosθ Δx
Δx = 20 m	W = 70 . 0,8 . 20
cos37° = 0,8	**W = 1120 joule bulunur.**

3.3. Güç

Birim zamanda yapılan işe **güç** denir. Aynı ağırlığı, aynı yüksekliğe farklı sürelerde çıkaran iki motorun yapmış olduğu iş aynıdır ancak işi daha kısa sürede yapan motor, iş yapma hızı daha büyük olduğu için diğer motora göre daha güçlüdür. Skaler bir büyüklük olan güç **(N)**, SI birim sisteminde **watt** ile gösterilir ve aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

N = Güç (watt) t = Zaman (saniye) W = Yapılan iş (Joule)	$N = \frac{W}{t}$ $W = \frac{J}{s}$

Güç, günlük hayatta sıklıkla kullanılan bir kavramdır. Örneğin evimizi aydınlatmak için ampul alırken gücüne bakarız ya da iş yapan bir makinenin kaç beygir gücü ile çalıştığını bilmek isteriz.

Örnek 28: 500 watt gücü olan bir motorun 200 N ağırlığındaki kum torbalarını sabit hızla 15 metre yüksekliğe kaç saniyede çıkaracağını hesaplayınız?

Verilenler:	**Çözüm:**
N = 500 watt F = 200 N Δx = 15 m	$N = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot \Delta x}{t}$ $500 = \frac{200 \cdot 15}{t}$ **t = 6 s olur.**

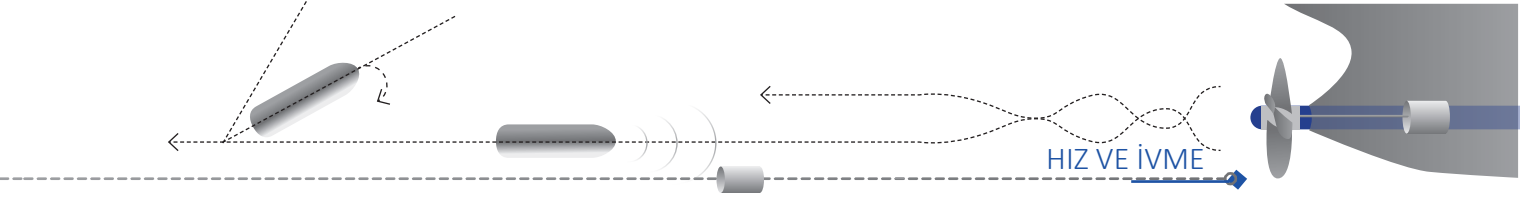
Örnek 29: Bir elektrik motoru, ucuna takılı olan 100 m uzunluğundaki kabloyu 150 N kuvvet uygulayarak 15 saniyede çektiğine göre bu motorun gücü kaç W'tır?

Verilenler:	**Çözüm:**
t = 15 s F = 150 N Δx = 100 m	$N = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot \Delta x}{t}$ $N = \frac{150 \cdot 100}{15}$ = **1000 W olur.**

3.4. Enerji

Fiziksel anlamda **enerji**, herhangi bir cismin ya da sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Skaler bir büyüklük olan enerjinin SI birim sistemindeki birimi **joule**'dür ve **J** ile gösterilir. Enerji, bir cisme ya da sisteme ait bir özelliktir. Kimyasal enerjiyi ısı enerjisine, ısı enerjisini de mekanik enerjiye çevirerek iş elde eden bir gemi makinesi ya da rüzgârın hareket enerjisi sayesinde elektrik enerjisi üretmeye yardımcı olan rüzgâr türbini bu duruma örnek olarak verilebilir. Günlük hayatta enerji; ısı, ışık, hareket gibi çok farklı biçimlerde gözlenebilir.

Bir cismin ya da sistemin hareketinden ve konumundan dolayı sahip olduğu enerjilerin toplamına **mekanik enerji** denir. Başka bir ifade ile mekanik enerji, kinetik enerji ve potansiyel enerjinin toplamına eşittir.



3.4.1. Kinetik Enerji

Hareket hâlindeki bir cismin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjiye **kinetik enerji** denir. Skaler bir büyüklük olan kinetik enerjinin birimi, SI birim sisteminde **joule**'dür. Kinetik enerji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

E_k = Kinetik enerji (joule) m = Kütle (kilogram) V = Hız (metre/saniye)	$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$ $J = kg \cdot \frac{m^2}{s^2}$

Kinetik enerji, kütle miktarı ve hızın karesi ile doğru orantılıdır. İş ve enerji birimleri joule olduğu için bu birimler aşağıdaki gibi eşitlenir.

$$J = kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = N \cdot m$$

Örnek 30: 25 m/s'lik hızla hareket eden 1100 kg kütleli bir otomobilin kinetik enerjisini hesaplayınız.

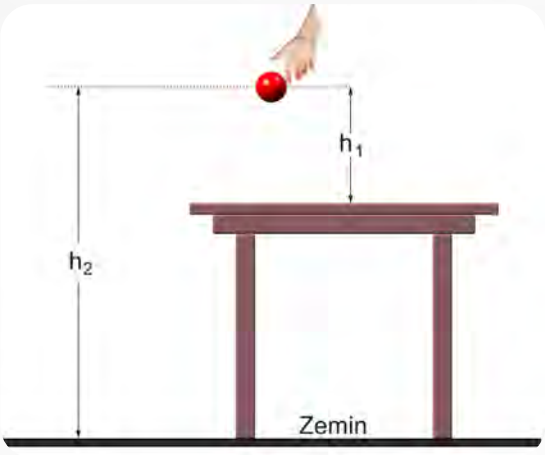
Verilenler:	**Çözüm:**
V = 25 m/s m = 1100 kg E_k = ?	$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$ $E_k = \frac{1}{2} \cdot 1100 \cdot 25^2$ **E_k = 343750 joule bulunur.**

3.4.2. Potansiyel Enerji

Bir cismin ya da sistemin iş yapmak için depoladığı enerji türüne **potansiyel enerji** denir. Skaler bir büyüklük olan potansiyel enerjinin birimi, SI birim sisteminde **joule**'dür. Bir cismin bulunduğu yerden belli bir yüksekliğe ulaşması sonucu sahip olduğu enerji, **yer çekim potansiyel enerjisi**dir. Bir cisim yüksekten serbest bırakıldığında yer çekim kuvveti iş yapar. Yapılan işin büyüklüğü, sistemin sahip olduğu potansiyel enerji ile doğru orantılıdır. Barajlarda biriken su miktarı ne kadar çoksa ve düştüğü yükseklik ne kadar fazlaysa ortaya çıkan enerji miktarı da o kadar fazla olur. Ağırlığı **m . g** olan bir cismin yerden **h** kadar yükseklikte sahip olduğu potansiyel enerji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

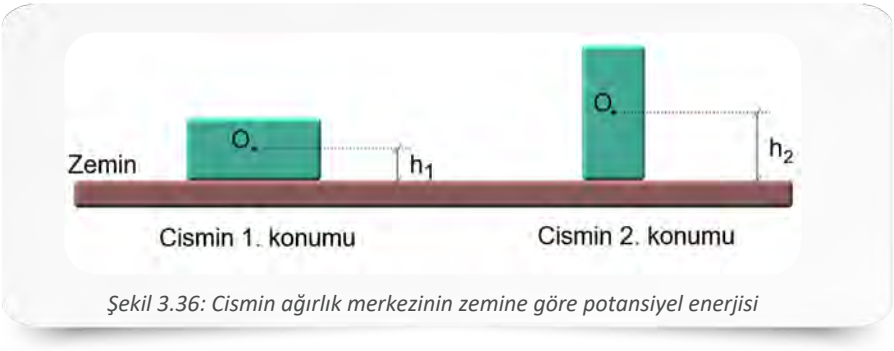
E_p = Potansiyel enerji (joule) m . g = Ağırlık (newton) h = Yükseklik (metre)	$E_p = m \cdot g \cdot h$ $J = N \cdot m$

Bir cismin hesaplanan potansiyel enerji değerinin hangi noktaya göre olduğunu belirtmek gerekir. Şekil 3.35'teki cismin potansiyel enerjisi, masaya ve zemine göre farklıdır. Masaya göre potansiyel enerjisi, $\mathbf{E_{P1} = m \cdot g \cdot h_1}$ ve zemine göre potansiyel enerjisi, $\mathbf{E_{P2} = m \cdot g \cdot h_2}$ bağıntıları ile hesaplanır.



Şekil 3.35: Potansiyel enerji

Hacimleri küçük olan cisimlerin potansiyel enerjileri hesaplanırken cisimler, genellikle boyutsuz nokta kütleler gibi kabul edilir. Boyutları belirgin olan cisimlerin potansiyel enerjileri ise cisim, kütle merkezinde yoğunlaşmış gibi düşünülerek hesaplanır. Potansiyel enerji zemine göre hesaplanırken yükseklik **(h)**, zemin ile cismin kütle merkezi arasındaki mesafedir. Şekil 3.36'daki cismin kütle merkezi, tam ortadaki **O** noktasıdır. Yatay ve dikey olmak üzere iki farklı konumda gösterilen **m . g** ağırlığındaki cismin potansiyel enerjisi, kütle merkezinin zemine göre yüksekliği değiştiği için, birinci konumda $\mathbf{E_{P1} = m \cdot g \cdot h_1}$ ve ikinci konumda $\mathbf{E_{P2} = m \cdot g \cdot h_2}$ denklemleriyle hesaplanır.



Şekil 3.36: Cismin ağırlık merkezinin zemine göre potansiyel enerjisi

Yay gibi esnek cisimlerin **x** kadar mesafe ile çekilmesi veya sıkıştırılması sonucu sahip oldukları enerjiye **esneklik potansiyel enerjisi** denir. Yayda depolanan potansiyel enerji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

E_{Pyay} = Yaydaki potansiyel enerji (joule) F = Kuvvet (newton) x = Mesafe (metre) k = Yay sabiti	$E_{Pyay} = \frac{F \cdot x}{2} = \frac{(k \cdot x) \cdot x}{2}$ $E_{Pyay} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$ olur.

Örnek 31: 15 kg kütleli bir cisim, bir makara sistemi ile yerden 100 metre yüksekliğe çekilmektedir. Buna göre potansiyel enerjideki artış miktarını hesaplayınız (g = 10 m/s^2 alınacaktır.).

Verilenler:	**Çözüm:**
h = 100 m	Ep = m . g . h
m = 15 kg	Ep = 15 . 10 . 100
g = 10 m/s^2	**Ep = 15000 joule bulunur.**
E_P = ?	Cismin ilk durumdaki yüksekliğine göre potansiyel enerjisi sıfır olduğu için enerjinin artış miktarı 15000 joule olur.

3.5. Mekanik Enerjinin Korunumu

Sürtünmesiz ortamda hareket eden bir cismin toplam enerjisi (mekanik enerji) sabittir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

E_T = Toplam enerji (joule)	$E_T = E_k + E_P = \frac{1}{2} . m . V^2 + m . g . h$ = sabittir.

Mekanik enerjinin korunumu, kinetik enerji azalırken potansiyel enerjinin aynı miktarda artması veya potansiyel enerji azalırken kinetik enerjinin aynı miktarda artması ile sağlanır.

Sürtünmeli ortamda mekanik enerji korunamaz, ancak toplam enerji korunabilir. Sürtünmenin etkisi ile cismin sahip olduğu kinetik enerji, cismin sürtündüğü yüzeyde ısı enerjisine dönüşür. Burada açığa çıkan ısı enerjisinin miktarı ile cismin kaybettiği kinetik enerjinin miktarı eşittir. Gemi makinesinin hareket enerjisinin bir kısmının sürtünme sonucu ısı enerjisine dönüşmesi, bu duruma örnek olarak verilebilir.

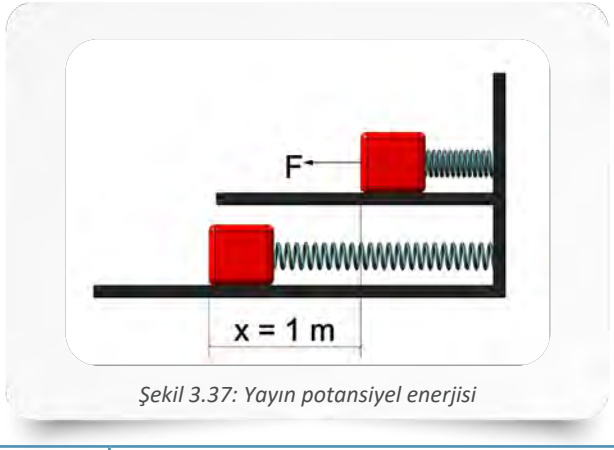
Örnek 32: Sürtünmesiz bir ortamda 15 metre yükseklikteki A noktasından B noktasına doğru serbest bırakılan 3 kg ağırlığında ve ilk hızı 0 olan bir cisim, yer çekimi etkisinde hızlanarak yere çarpıyor.

a) Cismin A noktasındaki kinetik, potansiyel ve toplam enerjilerini hesaplayınız.

b) Cismin B noktasındaki kinetik, potansiyel ve toplam enerjilerini hesaplayınız (g = 10 m/s^2 alınacaktır.).

Verilenler:	**Çözüm:**	
h = 15 m m = 3 kg V = 0 m/s g = 10 m/s^2	$E_{PA} = m . g . h$ $E_{PA} = 3 . 10 . 15 = 450$ joule $E_{kA} = \frac{1}{2} . m . V^2$ $E_{kA} = \frac{1}{2} . 3 . 0^2 = 0$ joule $E_{TA} = E_{kA} + E_{PA}$ **E_{TA} = 0 + 450 = 450 joule bulunur.**	$E_{PB} = m . g . h$ $E_{PB} = 3 . 10 . 0 = 0$ joule $E_{TA} = E_{TB} = 450$ joule $E_{TB} = E_{kB} + E_{PB}$ $450 = E_{kB} + 0$ **E_{kB} = 450 joule olur.**

Örnek 33: Yay sabiti 300 N/m olan bir yaya uygulanan F kuvveti ile yay 1 m açıldığına göre, yayın üzerinde depolanan enerjiyi hesaplayınız (Şekil 3.37).



Şekil 3.37: Yayın potansiyel enerjisi

Verilenler:	**Çözüm:**
k = 300 N/m x = 1 m	$E_{Pyay} = \frac{1}{2} . k . x^2 = \frac{1}{2} . 300 . 1^2$ **E_{Pyay} = 150 joule olur.**

3.6. İtme (İmpuls)

Cisme etki eden kuvvet ile kuvvetin etki etme süresinin çarpımına **impuls** veya **itme** denir. Vektörel bir büyüklük olan itme **I** ile gösterilir ve birimi **N.s**'dir. İtme, **I = F . Δt** bağıntısı ile hesaplanır.

Örnek 34: 35 N büyüklüğündeki bir kuvvet bir cisme 20 saniye boyunca etki ettiğine göre cisme uygulanan itmenin büyüklüğü ne kadardır?

Verilenler:	**Çözüm:**
F = 35 N Δt = 20 s	I = F . Δt I = 35 . 20 = **700 N . s olur.**

3.7. Momentum

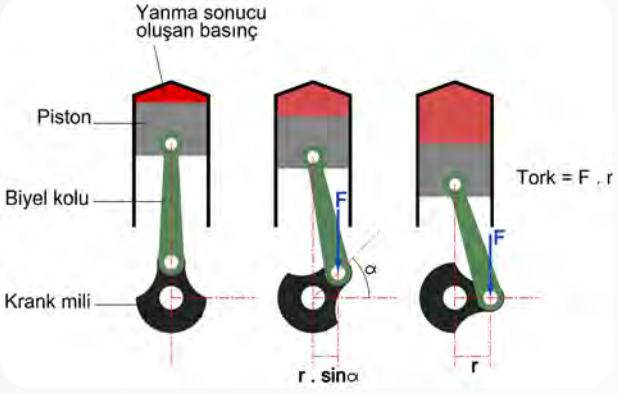
Bir cismin kütlesi ile hızının çarpımına **momentum (hareket miktarı)** denir. Vektörel bir büyüklük olan momentum **P** ile gösterilir ve birimi **kg.m/s**'dir. Aynı hıza sahip, farklı kütleli iki cisimden kütlesi büyük olanı durdurmak daha zordur. Fiziksel bir büyüklük olan momentum, **P = m . V** bağıntısı ile hesaplanır.

Örnek 35: Saniyede 12 metre hızla giden 1100 kg kütleli bir otomobilin momentumunu hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
m = 1100 kg V = 12 m/s	P = m . V P = 1100 . 12 = **13200 kg.m/s'dir.**

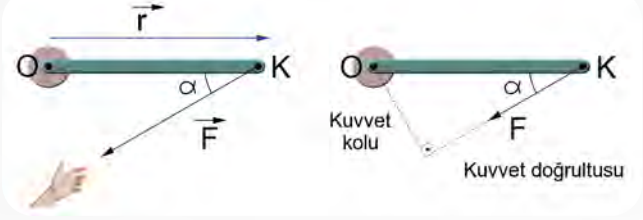
3.8. Dönme Momenti (Tork)

Kapı açma, vida sıkma veya sökme işleri yapılırken kuvvetin döndürme etkisinden faydalanılır. **Tork**, döndürme kuvvetinin bir ölçüsüdür. Şekil 3.38'de krank milinde oluşan torkun **(τ)** büyüklüğü, kuvvet ile kuvvetin eksene olan uzaklığının çarpımına **(τ = F . r)** eşittir.



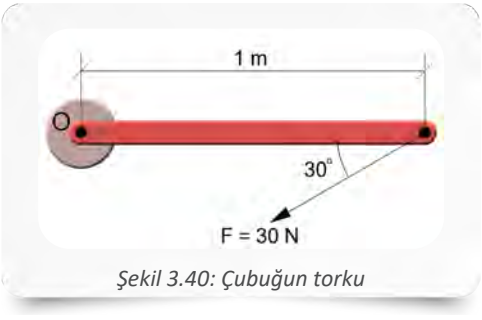
Şekil 3.38: Krank milinde oluşan torkun büyüklüğü ve yönü

Bir yıldız anahtar ile cıvata sökmek için anahtarın ucuna α açısı ile bir kuvvet uygulandığında anahtar, **F** kuvvetinin iki dik bileşeninden biri olan $\mathbf{F_y}$ kuvvetinin etkisi ile cıvata ekseni etrafında döner. Çünkü $\mathbf{F_x}$ kuvvetinin doğrultusu cıvatanın dönme noktasından geçtiği için döndürme etkisi oluşturmaz yani o noktaya göre tork sıfırdır. **F** ile **r** arasında α kadar açı olması durumunda ise kuvvet kolu **(d)**, kuvvetin eksene olan uzaklığı **(r)** ile aradaki α açısının çarpımına eşit **(d = r . sinα)** olur (Şekil 3.39). Bu durumda tork, **τ = F . d** bağıntısı ile hesaplanır. SI birim sistemine göre torkun birimi **N . m**'dir.



Şekil 3.39: Dönme özelliğine sahip çubuğa α açısı ile F kuvveti uygulanması

Örnek 36: Şekil 3.40'daki gibi O merkezinden sabitlenmiş bir çubuğa, merkezinden 1 metre uzaklıktaki bir noktadan 30°lik bir açı ile 30 N'luk bir kuvvet etki etmektedir. Çubuğun kaç N . m torkla döneceğini hesaplayınız (sin30° = 0,5 ve cos30° = 0,866).



Şekil 3.40: Çubuğun torku

Verilenler:	**Çözüm:**
d = 1 m	τ = F . d
F = 30 N	τ = F . (r . sinα)
sin30° = 0,5	τ = 30 . (1 .0,5) = **15 N . m olur.**

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan yerlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Cismin hareket ettiği yüzeye bağlı olarak cisme uygulanan kuvvet değişir.

2. ( ) Newton'un ikinci kanununa göre bir cismin ivmesi, cismin kütlesi ile doğru orantılı, cisme etki eden bileşke kuvvetle ters orantılıdır.

3. ( ) Değişken ivmeli bir hareketle hareket eden cismin yörünge üzerindeki bir noktadan geçtiği andaki ivmesine ortalama ivme denir.

4. ( ) Akıntı hızının motorun hızından fazla olması durumunda motor, akıntı hızıyla birlikte ve akıntı yönünde sürüklenir.

5. ( ) Hareket hâlindeki bir cismin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjiye potansiyel enerji denir.

6. ( ) Mekanik enerjinin korunumu, kinetik enerjinin azaldığı miktarda potansiyel enerjinin artması veya potansiyel enerjinin azaldığı miktarda kinetik enerjinin artması ile sağlanır.

B) Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü yazınız.

1. Çekiç atma sporunda bir merkez etrafında dönen çekicin merkezden uzaklaşarak dışa doğru uyguladığı kuvvete …… denir.

2. Bir cismin birim zamanda konumunda meydana gelen değişikliğe ……. denir.

3. Bir cismin ya da sistemin iş yapabilme yeteneğine …… denir.

4. Aynı işi yapan iki makineden birinin işi daha önce bitirmesi ……. kavramı ile ifade edilir.

5. Kinetik enerji miktarı, cismin …….. bağlı olarak değişir.

6. Yer çekim potansiyel enerjisi …….. bağlı olarak artar.

7. Bir cisim farklı yüzeyleri ile aynı zemin üzerinde hareket ettirilmeye çalışıldığında oluşan …… eşittir.

C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları dikkatlice okuyarak ve çözerek doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdaki durumlardan hangisinde sürtünme kuvvetinin azaltılması amaçlanmıştır?

A) Kış mevsiminde buzlu zemin sebebi ile araba lastiklerine zincir takılması
B) Birbiri ile sürtünerek çalışan makine parçalarının yağlanması
C) Oyuncunun elinden kaymaması için basketbol topunun yüzeyinin tırtıklı yapılması
D) Hareketli zemin üzerinde ayakta durabilmek için tırtıklı ayakkabı giyilmesi
E) Çamurlu yüzeylerde çalışan kamyonların tekerleklerinin girinti ve çıkıntılarının büyük olması

2. Bir hareketli, aynı yönde önce 3 m/s'lik hızla 10 saniye, sonra 4 m/s'lik hızla 15 saniye yol alıyor. **Buna göre hareketlinin ortalama hızı aşağıdakilerden hangisidir?**

A) 3 m/s **B)** 3,6 m/s **C)** 3,8 m/s **D)** 4 m/s **E)** 4,2 m/s

3. Bir hastaya nakledilmesi için organ taşıyan nakil aracı, 240 kilometrelik yolu 2 saatte gitmiştir. **Bu aracın saatteki hızı kaç kilometredir?**

A) 95 km/h **B)** 100 km/h **C)** 105 km/h **D)** 110 km/h **E)** 120 km/h

4. Bir motor, akıntıya karşı 8 saatte 160 km ilerledikten sonra, harekete başladığı noktaya 4 saatte dönüyor. **Buna göre motorun saatteki hızı kaç km'dir?**

A) 20 km/h **B)** 25 km/h **C)** 26 km/h **D)** 30 km/h **E)** 35 km/h

5. Akıntıya karşı 5 saatte 80 km ilerleyen bir motor, ulaşılan noktadan başlangıç noktasına 4 saatte dönmüştür. **Buna göre, akıntının hızı saatte kaç km'dir?**

A) 1,8 km/h **B)** 2 km/h **C)** 2,2 km/h **D)** 2,6 km/h **E)** 3 km/h

6. Yerden 80 metre yükseklikten yatay V0 ilk hızı ile atılan bir cisim 40 metre öteye düşüyor. **Buna göre cismin V_0 ilk hızı kaç m/s'dir (g = 10 m/s² alınacaktır.)?**

A) 10 m/s **B)** 12 m/s **C)** 14 m/s **D)** 15 m/s **E)** 16 m/s

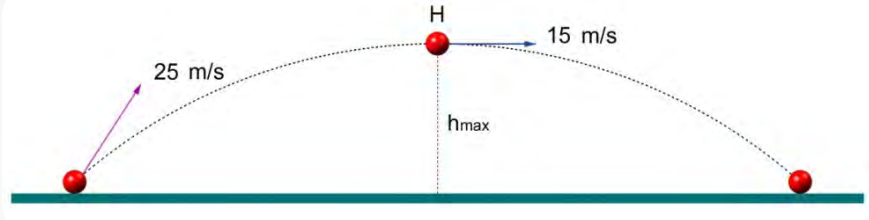
7. Bir cismin hızı 4 saniyede 8 m/s den 40 m/s'ye çıktığına göre cismin ortalama ivmesini hesaplayınız.

A) 4 m/s **B)** 5 m/s **C)** 6 m/s **D)** 7 m/s **E)** 8 m/s

8. Sürtünmesiz yatay düzlem üzerindeki 4 kg kütleli bir cisme, 16 N büyüklüğünde bir kuvvet uygulandığına göre cismin ivmesi kaç m/s² olur?

A) 2 m/s² **B)** 3 m/s² **C)** 4 m/s² **D)** 5 m/s² **E)** 6 m/s²

9. Şekil 3.41'deki gibi yerden 25 m/s'lik hızla atılan bir cisim, maksimum H noktasından 15 m/s hızla geçiyor. **Buna göre maksimum yüksekliği hesaplayınız (g = 10 m/s²).**



Şekil 3.41: Maksimum yükseklik

A) 14 metre **B)** 15 metre **C)** 17 metre **D)** 18 metre **E)** 20 metre

10. Sabit hızla hareket eden 4 kg'lık bir cisim ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,5'tir. **Bu cisme etkiyen sürtünme kuvvetini hesaplayınız (g = 10 m/s2 alınacaktır.).**

A) 18 N **B)** 20 N **C)** 22 N **D)** 25 N **E)** 26 N

11. Bir cisim, 50 N büyüklüğündeki bir kuvvet ile 4 metre ittiriliyor. **Bu kuvvetin yapmış olduğu işi hesaplayınız.**

A) 160 joule **B**) 180 joule **C)** 190 joule **D)** 200 joule **E)** 220 joule

12. Yatay bir düzlem üzerindeki cisim yukarı doğru 37°lik açıyla uygulanan 60 N'luk bir kuvvetin etkisi ile 15 m yol alıyor. **Buna göre kuvvetin yaptığı işi hesaplayınız ($\cos 37^o = 0,8$).**

A) 640 joule **B)** 660 joule **C)** 680 joule **D)** 710 joule **E)** 720 joule

13. 150 N ağırlığındaki kum torbaları 600 watt güce sahip olan bir motorla, sabit hızla 16 metre yüksekliğe kaç saniyede çıkarılır?

A) 3 s **B)** 4 s **C)** 5 s **D)** 6 s **E)** 8 s

14. Yatay düzlem üzerinde sabit V hızıyla gitmekte olan 6 kg kütleli bir cismin kinetik enerjisi 147 joule olduğuna göre, cismin hızı kaç m/s'dir?

A) 4 m/s **B)** 5 m/s **C)** 6 m/s **D)** 7 m/s **E)** 8 m/s

15. Yerden 4 m yüksekte tutulan 3 kg bir cismin yer çekim potansiyel enerjisi kaç jouledür ($g = 10\ m/s^2$ alınacaktır.)?

A) 90 joule **B)** 100 joule **C)** 110 joule **D)** 115 joule **E)** 120 joule

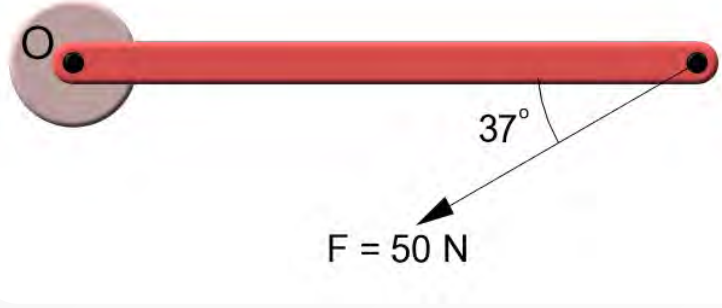
16. Momentum değeri 13000 kg.m/s olan 1000 kg kütleli bir cismin saniyedeki hızı kaç metredir?

A) 9 m/s **B)** 11 m/s **C)** 12 m/s **D)** 13 m/s **E)** 14 m/s

17. 30 N büyüklüğündeki bir kuvvet bir cisme t saniye boyunca etki ettiğinde, cisme uygulanan itmenin büyüklüğü 360 Ns oluyor. **Buna göre kuvvetin cisme etki ettiği süreyi hesaplayınız.**

A) 8 saniye **B)** 9 saniye **C)** 10 saniye **D)** 11 saniye **E)** 12 saniye

18. Şekil 3.42'deki gibi O merkezinden sabitlenmiş bir çubuğa, merkezinden x metre uzaklıktaki bir noktadan 37°lik bir açı ile 50 N'luk bir kuvvet etki etmektedir. **Çubuk 45 N m torkla döndüğüne göre kuvvet kolunun boyunu hesaplayınız ($\sin 37^o = 0,6$ ve $\cos 37^o = 0,8$).**



Şekil 3.42: Kuvvet kolunun mesafesi

A) 1,3 m **B)** 1,4 m **C)** 1,5 m **D)** 1,6 m **E)** 1,7 m



4. ÖĞRENME BİRİMİ

TERMODİNAMİK KANUNLAR VE GAZLAR

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. TERMODİNAMİK ÖZELLİKLER
2. ISI TRANSFERİ

KOD=16588

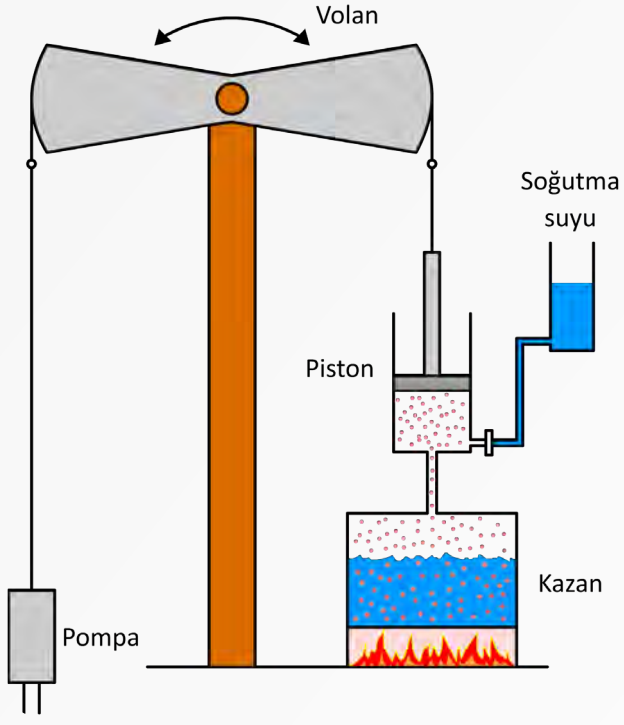
HAZIRLIK ÇALIŞMASI

1. Gemi makine dairesinde vardiya tutan bir makine zabitinin makine ve ekipmanların hangi çalışma değerlerini kayıt altına alması gerektiğiyle ilgili bilgilerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.
2. Makine ve ekipmanlara ait bu değerlerin doğru ve zamanında kayıt altına alınmasının neden önemli olabileceği hakkında fikir alışverişinde bulununuz.

TERMODİNAMİK KANUNLAR VE GAZLAR

Termodinamik, ısı enerjisi ile diğer enerji türleri arasındaki ilişkiyi inceleyen bilim dalıdır. Isı enerjisinin diğer enerji türlerine nasıl dönüştürüldüğünü ve madde üzerindeki etkisini açıklar. Dönüştürülen enerjinin verimli bir şekilde kullanılması da termodinamiğin önemli ilgi alanlarındandır.

Termodinamiğin bir bilim dalı olarak ortaya çıkışı, 18. yüzyılın başlarında buhar makinelerinin icat edilmesi ve endüstride kullanılmasıyla eş zamanlıdır (Şekil 4.1). Bu bilimin gelişimine fizik, kimya ve mühendislik alanlarıyla ilgilenen pek çok bilim insanı çalışmalarıyla katkıda bulunmuştur. Günümüzde de termodinamik alanında çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.



Şekil 4.1: Thomas Newcomen tarafından icat edilen ilk buhar makinesi (1712)

Çok geniş bir uygulama alanına sahip olan termodinamiğin denizcilikte de önemli bir yeri vardır. Gemilerde ana makinenin, jeneratörlerin, tatlı su üreteçlerinin, buhar kazanlarının, buzluk ve iklimlendirme sistemlerinin, gemi devrelerindeki çeşitli akışkan soğutucularının ve ısıtıcılarının çalışma prensipleri termodinamik esaslara dayanır.

1. TERMODİNAMİK ÖZELLİKLER

Termodinamik sistemlerin incelenebilmesi, yapılan gözlemlerin anlamlı olabilmesi için termodinamik özelliklerin iyi bilinmesi gerekir. Uluslararası standartlarla belirlenmiş bu özellikleri öğrenmek, dünya denizlerinde çalışan denizciler için ortak bilim dilini öğrenmek demektir. Bu ortak bilim dili, teknik anlamda iletişimin kolay ve anlaşılır olmasını sağlar. Termodinamik esasların anlaşılmasını sağlayan bütün bu kavram ve terimler, birbiriyle ilişkilidir ve eksiksiz şekilde öğrenilmelidir.

1.1. Büyüklükler ve Birimleri

Çeşitli mühendislik alanlarında ve teknik alanlarda kullanılan farklı ölçü sistemlerinin yarattığı karmaşayı önlemek için 1960 yılında düzenlenen 11. Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda, **Uluslararası Birimler Sistemi (SI)** kabul edilmiştir. Metrik sistem olarak da bilinen bu sistem, yedi temel büyüklük ve bunlardan türetilmiş büyüklüklerden oluşur. Termodinamik alanında sıklıkla kullanılan büyüklükler Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Termodinamik Alanında Kullanılan Büyüklükler ve Birimleri

Büyüklük		Birimi	
Temel	Zaman	Saniye	s
	Kütle	Kilogram	kg
	Termodinamik sıcaklık	Kelvin	K
	Madde miktarı	Mol	mol
Türetilmiş	Kuvvet	Newton	$N = kg \cdot m/s^2$
	Basınç	Pascal	$Pa = N/m^2 = kg/m \cdot s^2$
	Alan	Metrekare	m^2
	Hacim	Metreküp	m^3
	Enerji	Joule	$J = N \cdot m$
	İş	Joule	$J = N \cdot m$
	Güç	Watt	$W = J/s$
	Hız	Metre/saniye	m/s

Çok büyük ve çok küçük sayısal değerlerin ortaya çıkaracağı karmaşanın önlenmesi ve daha anlaşılır ifade edilebilmesi için **SI** sisteminde tüm birimlerde (saniye, metre, kilogram vs.) aynı ön ekler kullanılır (Tablo 4.2). Örneğin,

10000000 Joule (J) = 10 Megajoule (MJ)

300000000000 Watt (W) = 300 Gigawatt (GW) şeklinde ifade edilir.

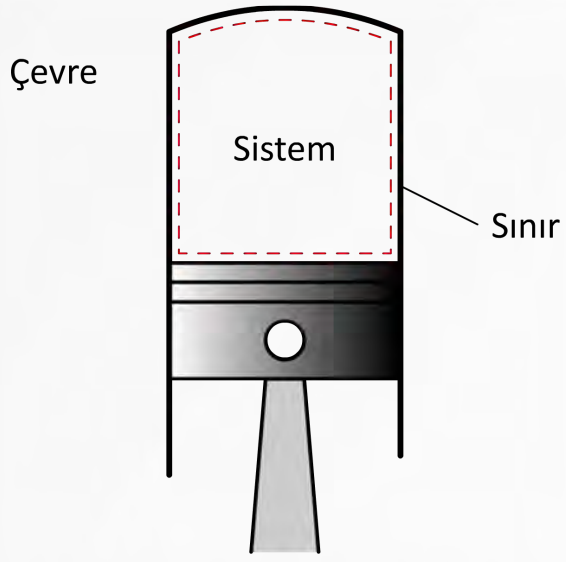
Tablo 4.2: SI Sisteminde Sık Kullanılan Ön Ekler

Çarpan	Adı	Sembolü
10^1	Deka	da
10^2	Hekta	h
10^3	Kilo	k
10^6	Mega	M
10^9	Giga	G
10^{12}	Tera	T

Çarpan	Adı	Sembolü
10^{-1}	Desi	d
10^{-2}	Santi	c
10^{-3}	Mili	m
10^{-6}	Mikro	µ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Piko	p

1.2. Termodinamik Sistem

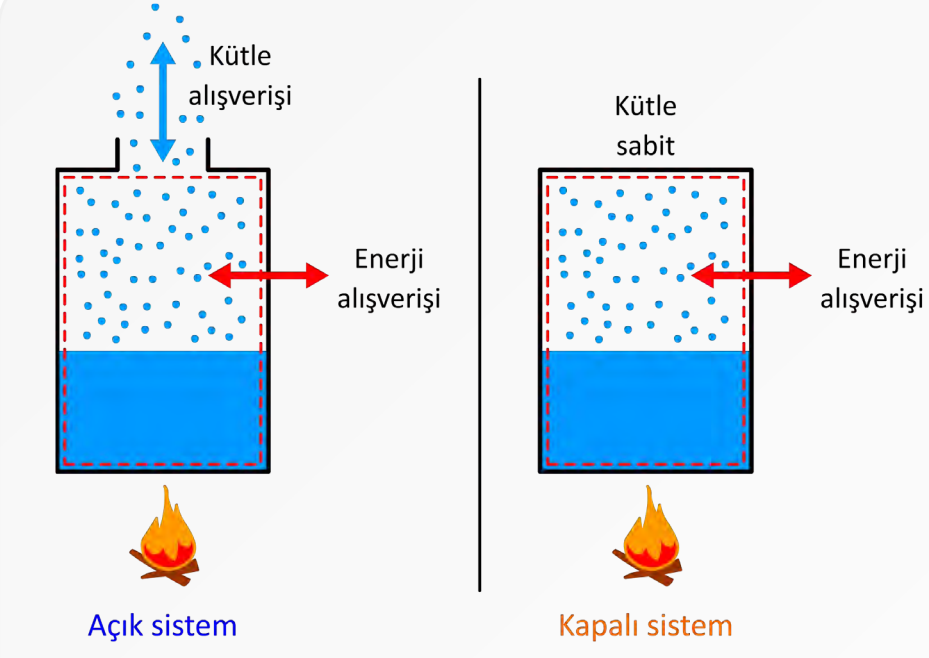
Üzerinde çalışılmak ve analiz edilmek için seçilen madde veya bölgeye **sistem** denir. Sistemi çevreleyen yüzeye ise **sınır** denir. Sistemin tanımlanmasını sağlayan sınır, gerçek veya varsayılan bir yüzey olabilir. Sistem sınırının dışında kalan her şeye **çevre** denir. Şekil 4.2'de termodinamik sistem örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Termodinamik sistem

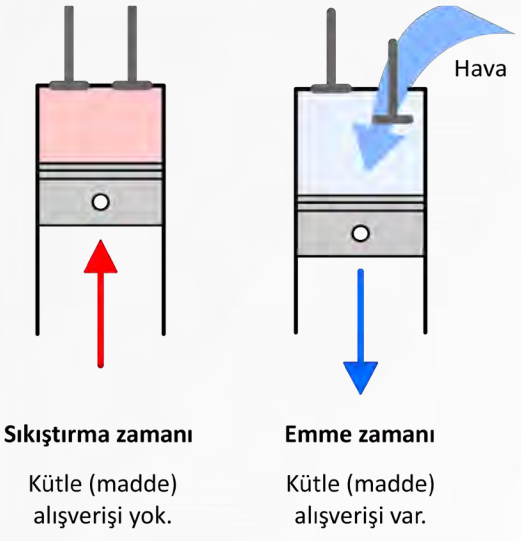
Sistemler, çevreleriyle enerji ve kütle alışverişi yapabilmelerine göre açık sistemler, kapalı sistemler ve yalıtılmış sistemler olarak sınıflandırılabilir.

Açık sistemler, çevreleriyle enerji ve kütle alışverişi yapan sistemlerdir. Gemide bulunan ve kütle giriş çıkışları olan kompresörler, pompalar ve kazanlar açık sistemlere örnek verilebilir. **Kapalı sistemler** ise çevreleriyle yalnızca enerji alışverişi yapan, kütle alışverişi yapmayan sistemlerdir. Gemilerde soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin soğutucu akışkan devreleri veya giriş çıkışı kapalı sıvı depoları, kapalı sistemlerdir (Şekil 4.3). Açık ve kapalı sistemlerin aksine **yalıtılmış sistemler**, çevreleriyle kütle ve enerji alışverişi yapmaz. Termoslar (ısı kayıpları ihmal edilebilir ölçüde ise) bu sistemlere örnek verilebilir.



Şekil 4.3: Açık ve kapalı sistemler

İçten yanmalı motorlarda silindirler, her iki sistemin de özelliğini gösterebilir. Emme zamanında içerisine hava aldığı için açık sistem özelliği gösteren silindirler, sıkıştırma zamanında valflerin kapalı olması nedeniyle kapalı sistem özelliği gösterir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: İçten yanmalı motorlarda emme ve sıkıştırma zamanında silindirler

1.3. Sistemin Özellikleri

Termodinamik bir sistemin tanımlanabilmesi için gözlemlenebilir ve ölçülebilir özelliklerinin bilinmesi gerekir. Sistemi diğer sistemlerden ayıran bağımlı ve bağımsız fiziksel özelliklere maddenin özellikleri denir (Şekil 4.5).

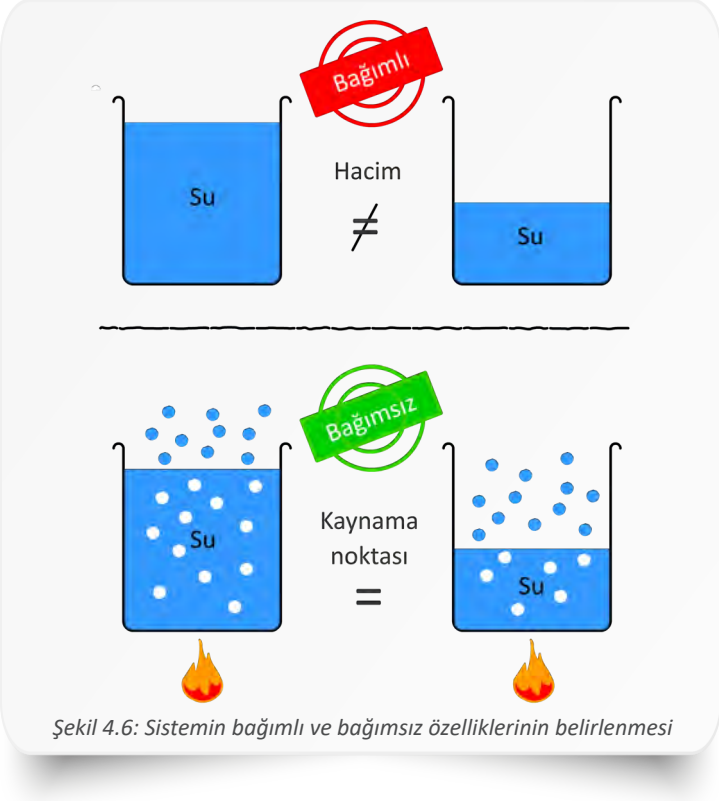
Bağımsız (intensive) özellikler: Madde miktarına bağlı olmaksızın sistemin tüm parçalarında benzerlik gösteren özelliklerdir. Sıcaklık, basınç, yoğunluk, kaynama noktası, renk ve hız bu özelliklere örnek verilebilir.

Bağımlı (extensive) özellikler: Sistemin madde miktarına bağlı olarak değişebilen özelliklerdir. Ağırlık, kütle, hacim, uzunluk, iç enerji, entalpi, entropi bu özelliklere örnek verilebilir. Birim kütle için bağımlı özellikler, özgül ön eki ile ifade edilir.



Şekil 4.5: Bağımlı ve bağımsız özellikler

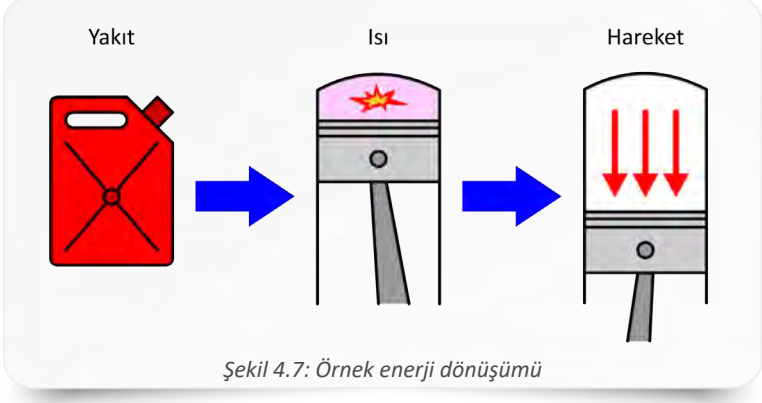
Maddeye ait bir özelliğin bağımlı mı yoksa bağımsız mı olduğunun anlaşılabilmesi için madde miktarı en az iki parçaya bölünerek incelenir. Örneğin bir kap suyun hacmi ile yarım kap suyun hacmi faklıdır, fakat kaynama noktaları aynıdır. Şekil 4.6'daki örnekten anlaşılacağı üzere hacim madde miktarına bağımlı, kaynama noktası ise madde miktarından bağımsız bir özelliktir.



Şekil 4.6: Sistemin bağımlı ve bağımsız özelliklerinin belirlenmesi

1.4. Enerji ve İş

Enerji, bir sistemin iş yapabilme yeteneğidir. **İş** ise sistem ve çevresi arasındaki enerji alışverişidir. SI sistemine göre tüm enerjilerin birimi **Joule**'dür. Enerji; hareket, ısı, ışık, ses, elektrik, nükleer, kimyasal, biyolojik vb. pek çok değişik biçimde bulunabilir. Bir enerji biçimi, çeşitli yöntemlerle başka bir enerji biçimine dönüştürülebilir. Örneğin dizel yakıtı kimyasal enerji içerir ve silindir içerisinde yakılarak ısı enerjisine daha sonra da piston yardımıyla hareket enerjisine dönüştürülür (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: Örnek enerji dönüşümü

Termodinamik olarak sistemdeki ısı enerjisinin değişimiyle ortaya çıkan iş, aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

W_{net} : Sistemin yaptığı iş (J) Q_{giren} : Sisteme giren ısı (J) $Q_{çıkan}$: Sistemden çıkan ısı (J)	$W_{net} = Q_{giren} - Q_{çıkan}$

a) İç Enerji

Maddenin içyapısıyla ilgilidir. Bir maddenin moleküllerinin hareketi iç enerjiyi oluşturur. Bu enerji türü doğrudan ölçülemez, fakat sisteme ait **iç enerji değişimi** ölçülebilir.

ΔU : İç enerji değişimi (J)	$\Delta U = U_{son} - U_{ilk}$

Sistemin iç enerji değişimi, sisteme eklenen ısıdan sistem tarafından yapılan işin çıkarılmasıyla bulunur.

ΔU : İç enerji değişimi (J) Q : Isı (J) W : İş (J)	$\Delta U = Q - W$

Bir sistemin sahip olduğu toplam iç enerjinin kütlesine oranına ise **özgül iç enerji** denir. Özgül iç enerji aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

u : Özgül iç enerji (J/kg) U : İç enerji (J) m : Kütle (kg)	$u = \frac{U}{m}$

b) Entropi (s)

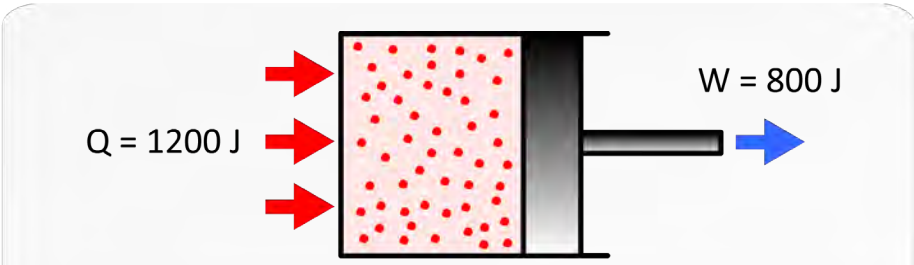
Entropi kavramı felsefeden mühendisliğe birçok alanda kullanılır. Bir sistemdeki düzensizliğin ölçüsüdür. Termodinamik açıdan bir sistemdeki ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülemeyen kısmına **entropi** denir ve büyük bir kısmı çevreye yayılır. Örneğin içten yanmalı dizel bir motorda yanma sonucu ortaya çıkan ısı enerjisinin tümü hareket enerjisine çevrilemez ve bu işe çevrilemeyen ısı enerjisi entropiyi temsil eder. Entropi, termodinamiğin ikinci kanununun temelini oluşturur.

c) Entalpi (H)

Entalpi, maddenin içinde depoladığı çeşitli enerjilerin toplamıdır. Bir hâl değişkenidir; yani maddenin o anki denge durumu hakkında bilgi verir. Termodinamik bir sistemin iç enerjisi **(U)** ile basıncı ve hacminin çarpımının **(P . V)** toplamı şeklinde ifade edilir.

H : Entalpi (J) U : İç enerji (J) P : Basınç V : Hacim h : Özgül entalpi u : Özgül iç enerji (J/kg) v : Özgül hacim	Birim kütle için, $H = U + P . V$ $h = u + P . v$

Örnek 1: Şekil 4.8'deki sistemde, silindire 1200 J ısı verildiğinde piston tarafından 800 J iş elde edilmiştir. Enerji kayıplarını ihmal ederek sistemin iç enerji değişimini hesaplayınız.



Şekil 4.8: Silindir piston düzeneği

Verilenler:	**Çözüm:**
Q = 1200 J	ΔU = Q - W
W = 800 J	ΔU = 1200 - 800
ΔU = ?	**ΔU = 400 J**

1.5. Termodinamik Denge

Çevresiyle kütle ve enerji alışverişi olmayan sistemler termodinamik olarak dengededir. Bu sistemler, zamana göre herhangi bir değişime uğramazlar. Sistemin her yerinde sıcaklık, basınç ve elektriksel potansiyel aynıdır ve sistemde kimyasal reaksiyon gözlenmez. Bir sistemin dengede olduğunun söylenebilmesi için sistemin termal, mekanik, elektriksel ve kimyasal olarak dengede olması gerekir.

Gemilerdeki basınçlı hava ile ilk hareket sisteminin bir bileşeni olan kompresörün çalışır durumdayken termodinamik olarak dengede olduğu söylenemez. Kompresör çalışırken havayı ortamdan alır, basınçlı bir şekilde depolar ve sıcaklığı yükselir. Çalışmasını tamamlayıp durduğu anda da dengede olmaz, çünkü çalışma sırasında ısınan kompresör çevreye ısı aktarmaya devam eder. Kompresörün termodinamik olarak dengede olduğunun söylenebilmesi için çalışmasının durmuş, sıcaklığının çevreyle eşitlenmiş olması ve içinde herhangi bir değişiklik göstermemesi gerekir.

1.6. Isı ve Sıcaklık

Isı, bir enerji türüdür ve doğrudan ölçülemez. SI birim sistemindeki birimi Joule'dür (J). Bir sistemin çevresiyle olan sıcaklık farkı, ısı enerjisini meydana getirir. Örneğin sıcaklıkları farklı ve temas hâlinde iki sistem aynı sıcaklığa ulaşana kadar sıcaklık değişimleri devam eder. Isı, bu değişime neden olan enerjidir. Isı enerjisi, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket eder. Sıcaklık değişimindeki ısı enerjisi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

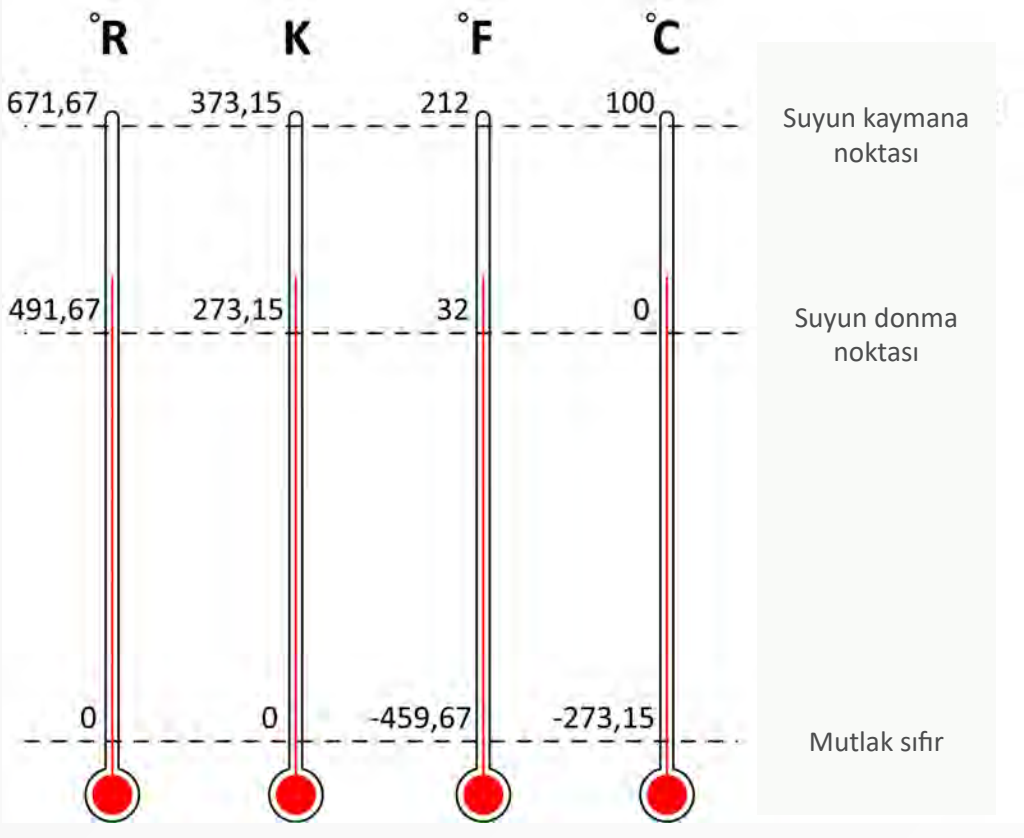
Q : Isı (kJ) m : Kütle (kg) c : Özgül ısı (kJ / kg.K) ΔT : Sıcaklık farkı (K)	$\Delta T = (T_{son} - T_{ilk})$ $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

Sıcaklık ise termodinamik bir sistemde depolanan ısı enerjisinin bir göstergesidir. Her sistemin belirli bir sıcaklığı vardır ve fiziksel olarak ölçülebilir. Madde ısındıkça veya soğudukça sıcaklığı değişir. En yaygın sıcaklık ölçüm cihazına, **termometre** veya **sıcaklık ölçer** denir. Termometreler, ölçme işlemini maddelerin sıcaklıkla değişen özelliklerinden yararlanarak yapar. Gemi makinelerinde yüksek sıcaklıkların ölçümü için pirometre ve **termokupl sensörler** kullanılır.

İngiliz ve SI birim sistemlerinde kullanılan mutlak sıcaklık ölçekleri, sırasıyla Rankine (°R) ölçeği ve Kelvin (K) ölçeğidir; metrik sıcaklık ölçekleri ise Fahrenheit (°F) ölçeği ve Celsius (°C) ölçeğidir (Şekil 4.9). Termodinamik hesaplamalarda kullanılan sıcaklık ölçeği Kelvin (K) ölçeğidir.

Sıcaklık ölçeklerinin birbirlerine dönüşümleri için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$\frac{°R - 492}{180} = \frac{K - 273}{100} = \frac{°F - 32}{180} = \frac{°C}{100}$$



Şekil 4.9: Sıcaklık ölçeklerinin karşılaştırılması

Maddenin moleküler hareketinin durduğu varsayılan en düşük sıcaklığa **mutlak sıfır** denir. Bu sıcaklığa ulaşan bir maddenin iç enerjisi sıfır olur ve daha fazla soğuyamaz.

Örnek 2: Dökme demir alaşımdan yapılmış bir motor bloğunun ergime noktası 1100 °C olduğuna göre bu sıcaklığın Kelvin (K) karşılığı nedir?

Çözüm:

$$\frac{°C}{100} = \frac{K - 273}{100}$$

$°C = K - 273$

$K = °C + 273$

$K = 1100 + 273$

K = 1373

Örnek 3: Makine vardiyası tutan zabit, ana makine yağlama yağı sıcaklığını kuler girişinde 283 K olarak ölçmüştür. Yağ sıcaklık değerinin Fahrenheit (°F) karşılığı nedir?

Çözüm:

$$\frac{°F - 32}{180} = \frac{K - 273}{100}$$

$$\frac{°F - 32}{180} = \frac{283 - 273}{100}$$

$$\frac{°F - 32}{180} = \frac{10}{100}$$

$°F - 32 = 18$

$°F = 32 + 18$

°F = 50

Özgül Isı (c)

Bir maddenin birim kütlesinde birim sıcaklık değişikliği sağlanabilmesi için gereken ısı miktarına **özgül ısı** denir. Örneğin 1 kg suyun sıcaklığının 1 K artırılması için suya 4,18 kJ/kg.K ısı verilmesi gerekir. Aynı maddenin farklı hâllerde ve farklı koşullarda özgül ısısı değişir.

Gazlar sıkıştırılabildiği için sabit basınç ve sabit hacim koşullarında farklı özgül ısı değerleri kullanılır (Tablo 4.3). Katı ve sıvı maddeler için yapılan ısı değişimi hesaplamalarında, basıncın ve hacmin değişmediği kabul edilerek sabit basınçta özgül ısı değerleri kullanılır (Tablo 4.4).

Tablo 4.3: Bilinen Bazı Gazların Sabit Basınç ve Sabit Hacimdeki Özgül Isıları (300 K Sıcaklıkta)

Gaz	Kimyasal Formülü	R	C_P	C_V	k
Hava	—	0,2870	1,005	0,718	1,400
Azot	N_2	0,2968	1,039	0,743	1,400
Oksijen	O_2	0,2598	0,918	0,658	1,395
Argon	Ar	0,2081	0,5203	0,3122	1,667
Bütan	C_4H_{10}	0,1433	17,164	15,734	1,091
Propan	C_3H_8	0,1885	16,794	14,909	1,126
Karbondioksit	CO_2	0,1889	0,846	0,657	1,289
Karbonmonoksit	CO	0,2968	1,040	0,744	1,400
Etilen	C_2H_4	0,2964	15,482	12,518	1,237
Helyum	He	20,769	51,926	31,156	1,667
Hidrojen	H_2	41,240	14,307	10,183	1,405
Metan	CH_4	0,5182	22,537	17,354	1,299
Etan	C_2H_6	0,2765	17,662	14,897	1,186
Neon	Ne	0,4119	10,299	0,6179	1,667
Oktan	C_8H_{18}	0,0729	17,113	16,385	1,044
Su buharı	H_2O	0,4615	18,723	14,108	1,327

C_P : Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg.K)

C_V : Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kg.K)

R : Gaz sabiti (kJ/kg.K)

k : C_P / C_V

Tablo 4.4: Bilinen Bazı Sıvı ve Katıların Sabit Basınçta Özgül Isıları (25 °C Sıcaklıkta)

Madde	ρ	C_P
Su	997	4,18
Makine yağı	885	1,9
Propan	510	2,54
Bütan	556	2,47
Cıva (Hg)	13580	0,14
R-134a	1206	1,43
Buz (0 °C)	917	2,04
Alüminyum	2700	0,90
Bakır	8300	0,42
Dökme demir	7272	0,42
Gümüş	10524	0,24
Altın	19300	0,13
Çelik St-304	7820	0,46

ρ : Yoğunluk (kg/m^3)

C_P : Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg.K)

Örnek 4: Servis tankından gelen ve kütlesi 100 kg olan yakıtı 340 K sıcaklıktan 390 K sıcaklığa kadar ısıtabilmek için gereken ısıyı hesaplayınız (CP= 1,90 kJ/kg.K).

Verilenler:	**Çözüm:**
m = 100 kg	$\Delta T = T_{son} - T_{ilk}$
C_p = 1,90 kJ/kg.K	$\Delta T = 390 - 340$
T_{son} = 390 K	$\Delta T = 50$ K
T_{ilk} = 340 K	$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$
Q = ?	$Q = 100 \cdot 1,9 \cdot 50$
	Q = 9500 kJ

Örnek 5: Bir buhar kazanına 20 °C sıcaklıkta giren 1 ton besleme suyunun 95 °C sıcaklığa kadar ısıtılabilmesi için 313500 kJ ısı gerekmektedir. Bu bilgilere göre suyun özgül ısısını hesaplayarak bulduğunuz sonucu Tablo 4.4'ten kontrol ediniz.

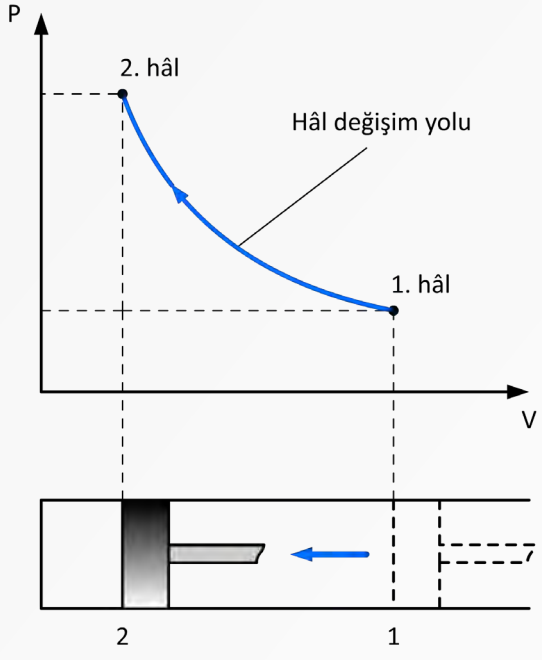
Verilenler:	**Çözüm:**
Q = 313500 kJ	$\Delta T = T_{son} - T_{ilk}$
m = 1 ton = 1000 kg	$\Delta T = 95 - 20$
T_{son} = 95 °C	$\Delta T = 75$ °C
T_{ilk} = 20 °C	$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$
C_p = ?	$c_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$
	$c_p = 313500 / 1000 \cdot 75$
	c_p = 4,18 kJ/kg.K

Örnek 6: Gemi kuzinesinde bir tencere içerisinde bulunan 28 °C sıcaklıktaki 10 kg yağa 392 kJ ısı verildiğinde yağın ulaşabileceği sıcaklığı hesaplayınız (C_p= 1,96 kJ/kg.K).

Verilenler:	**Çözüm:**
Q = 392 kJ	$Q = m \cdot c_p \cdot (T_{son} - T_{ilk})$
m = 10 kg	$\frac{Q}{m \cdot c_p} = T_{son} - T_{ilk}$
C_p = 1,96 kJ/kg.K	$T_{son} = \frac{Q}{m \cdot c_p} + T_{ilk}$
T_{ilk} = 28 °C	$T_{son} = \frac{392}{10 \cdot 1,96} + 28$
T_{son} = ?	**T_{son} = 48 °C**

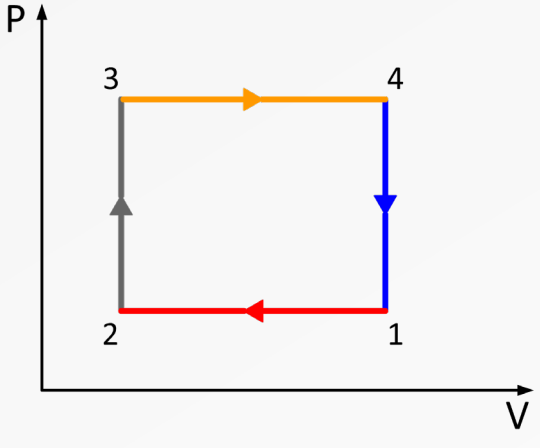
1.7. Hâl, Hâl Değişimi ve Çevrim

Dengedeki termodinamik bir sistemin içinde bulunduğu değişmeyen duruma **hâl**, bir denge hâlinden başka bir denge hâline geçişine de **hâl değişimi** denir. İki hâl arasında sistem, bir dizi sonsuz değişime uğrar ve bu değişimin gerçekleştiği yol, **hâl değişim yolu** olarak adlandırılır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10: Hâl, hâl değişimi ve hâl değişim yolu

Bir sistemin bir dizi hâl değişimi sonrasında tekrar ilk hâline dönmesine **çevrim** denir. Çevrimin ilk ve son hâlleri aynıdır. Çevrim özelliklerinin değişimini gösteren grafiklere **diyagram** denir. Şekil 4.11'de termodinamik bir çevrimin basınç ve hacim (P-V) diyagramı görülmektedir.



1-2-3-4-1: Çevrim

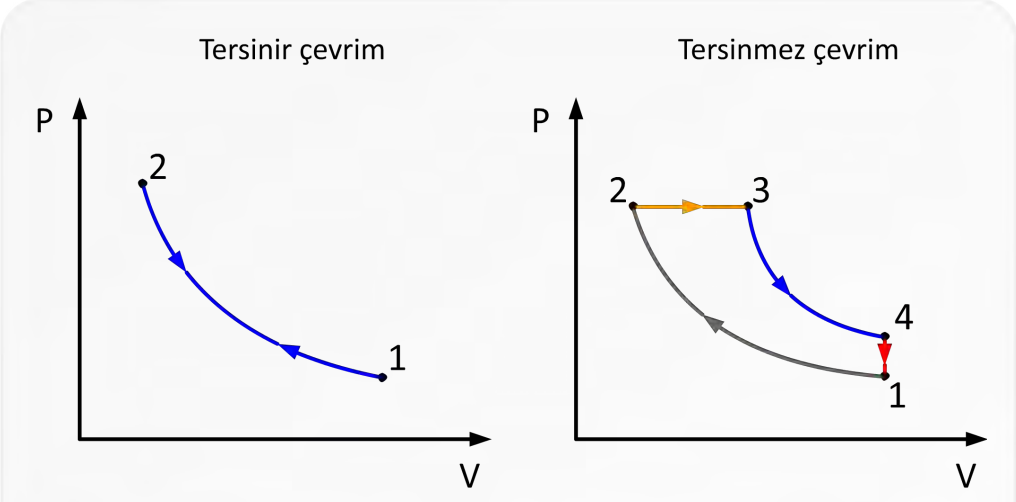
1-2, 2-3, 3-4, 4-1: Hâl değişimleri

1-2 ve 3-4: Sabit basınçta hâl değişimi

2-3 ve 4-1: Sabit hacimde hâl değişimi

Şekil 4.11: Termodinamik bir çevrim (P-V diyagramı)

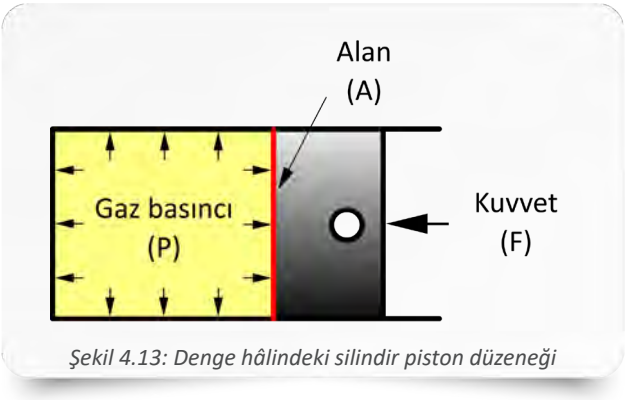
Çevrim bir süreçtir, bu süreç tersinir ve tersinmez olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir (Şekil 4.12). Sistemin geçirdiği hâl değişikliklerinin tekrar aynı yolu takip ederek iz bırakmadan ilk hâline gelmesine **tersinir çevrim** denir. Tersinir çevrimler teorik olarak vardır, fakat bunlara gerçek hayatta rastlanmaz. Sistemin geçirdiği hâl değişikliklerinin tekrar aynı yolu izlemeden ilk hâline dönmesine ise **tersinmez çevrim** denir. Bütün doğal süreçler tersinmezdir.



Şekil 4.12: Tersinir ve tersinmez çevrimler

1.8. Basınç

Bir sistemin, birim yüzey alana uyguladığı dik kuvvete **basınç** denir. Kapalı bir kapta bulunan gazın basıncı, temas ettiği tüm yüzeylerde aynıdır. Şekil 4.13'te görülen hareketli silindir piston düzeneği dengededir. Pistonun hareketsiz kalması için gaz basıncı ile piston alanının çarpımı, dış kuvvete eşit olmalıdır. Dış kuvvetler değiştiğinde sistemin tekrar dengeye dönmesi gerekeceği için gazın basıncı da değişecektir.



Şekil 4.13: Denge hâlindeki silindir piston düzeneği

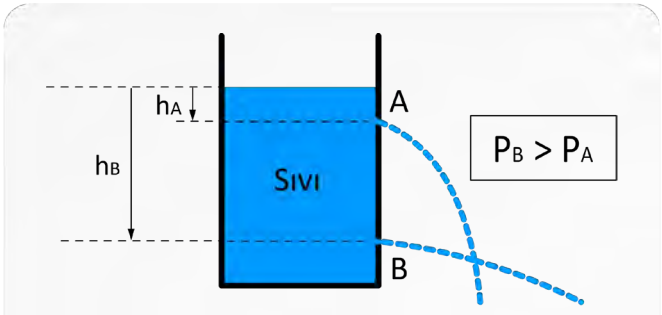
Gazlarda basınç aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

P : Basınç (Pa= N/m^2) F : Kuvvet (N) A : Alan (m^2)	$P = \frac{F}{A}$

Örnek 7: Hareketli pistona sahip bir silindirin içinde 100 Pa basınçta gaz vardır ve pistona 10 N kuvvet etki etmektedir. Sürtünme olmadığı varsayılan sistem dengede olduğuna göre, piston yüzey alanını hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
P=100 Pa	$P = \frac{F}{A}$
F=10 N	$A = \frac{F}{P} = \frac{10}{100}$
A=?	$A = 0{,}1\ m^2$

Hareketsiz hâldeki sıvılar, bulundukları kabın her yüzeyine basınç uygular. Yüzeylere uyguladıkları basınç, sıvının derinliğe göre değişir. Şekil 4.14'te içi sıvı dolu bir kabın yüzeyine iki delik açılmış ve farklı derinliklerde basınç değişimleri gözlemlenmiştir. B noktasındaki basınç A noktasına göre daha yüksek olduğu için B deliğinden akan sıvı daha tazyiklidir.



Şekil 4.14: Sıvı dolu bir kapta basıncın derinliğe göre değişimi

Sıvılarda basınç, aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

P : Basınç (Pa = N/m^2) h : Sıvının derinliği (m) ρ : Sıvının yoğunluğu (kg/m^3) g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)	$P = h \cdot \rho \cdot g$

Uluslararası birim sisteminde (SI) ve termodinamik hesaplamalarda kullanılan basınç birimi **Pascal**'dır. İngiliz ölçü sisteminde kullanılan **psi**, atmosfer basıncını ifade eden **atm** ve Pascal'ın çok büyük değerler alması nedeniyle mühendislik hesaplamalarında kullanılan **bar**, diğer basınç birimlerinden bazılarıdır. Sık kullanılan bazı basınç birimleri, Tablo 4.5'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

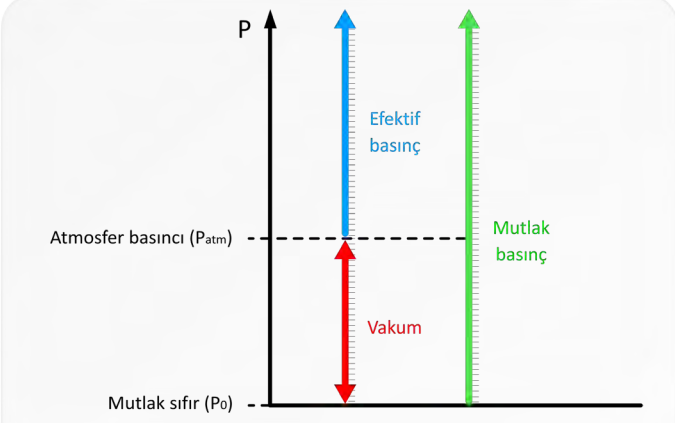
Tablo 4.5: Sık Kullanılan Basınç Birimlerinin Karşılaştırılması

	Pa	**bar**	**atm**	**psi**
1 Pa	1	0,00001	0,000009869	0,000145
1 bar	100000	1	0,9869	14,504
1 atm	101325	1,01325	1	14,696
1 psi	6895	0,06894	0,06804	1

Sıvı ve gaz akışkanların basıncını ölçmek için kullanılan cihazlara **manometre** denir. Manometre, ortamdaki atmosfer basıncını sıfır kabul ederek ölçüm yapar ve sadece bağlı olduğu sistemin basıncını ölçer. Manometrenin ölçtüğü basınca, **gösterge basıncı** ya da **efektif basınç** denir. Ölçülen değere ortamdaki atmosfer basıncı eklendiğinde **mutlak basınç** bulunur. Mutlak basınç aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

P_{mutlak} : Mutlak basınç $P_{efektif}$: Manometreden ölçülen basınç (efektif basınç) P_{atm} : Atmosfer basıncı	$P_{mutlak} = P_{efektif} + P_{atm}$

Atmosfer basıncı yani açık hava basıncı **barometre** adı verilen cihazlarla ölçülür. Atmosfer basıncının altındaki basınçlara **vakum** denir. Mutlak basıncın sıfır olduğu yere ise **mutlak vakum** denir. Mutlak vakum tam boşluktur. Mutlak basınç, efektif basınç ve vakum arasındaki ilişki Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15: Mutlak basınç, efektif basınç ve vakum arasındaki ilişki

1.9. Diğer Termodinamik Büyüklükler

Termodinamik hesaplamalarda yoğunluk, özgül hacim, özgül ağırlık gibi büyüklükler sıklıkla kullanılır.

- **Yoğunluk (ρ):** Değişmeyen madde miktarına **kütle** denir. Bir maddenin birim hacminin kütlesine ise **yoğunluk** denir.

ρ : Yoğunluk (kg/m³) m : Kütle (kg) V : Hacim (m³)	$\rho = \frac{m}{V}$

- **Özgül hacim (v):** Bir maddenin birim kütlesinin hacmine **özgül hacim** denir.

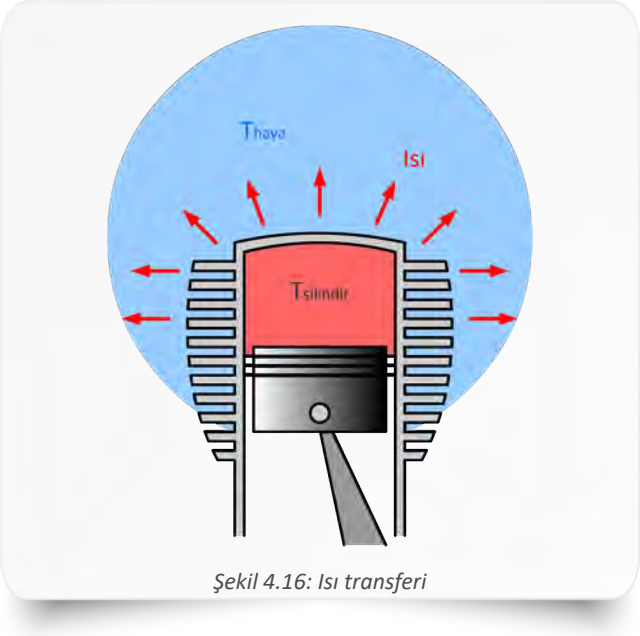
v : Özgül hacim (m³/kg) m : Kütle (kg) V : Hacim (m³)	$v = \frac{V}{m}$

- **Özgül ağırlık (ϒ):** Bir maddenin birim hacminin ağırlığına **özgül ağırlık** denir.

ϒ : Özgül ağırlık (N/m³) G : Ağırlık (N) V : Hacim (m³)	$\Upsilon = \frac{G}{V}$

2. ISI TRANSFERİ

İki sistem arasındaki sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı alışverişine **ısı transferi (geçişi)** denir. Bu alışveriş, sistemler ısıl dengeye ulaşana kadar yani sıcaklıklar eşitlenene kadar devam eder. Bir enerji çeşidi olan ısı, yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan daha düşük sıcaklıktaki bir ortama doğru kendiliğinden hareket eder (Şekil 4.16).

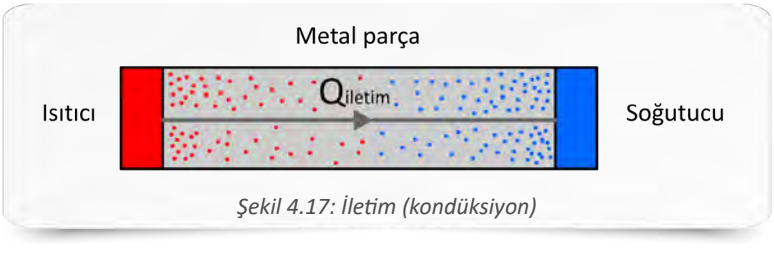


Şekil 4.16: Isı transferi

Isının geçtiği ortamlara bağlı olarak ısı transferi üç şekilde meydana gelir. Bunlar; iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışınım (radyasyon) olarak sınıflandırılmaktadır.

- **İletim (Kondüksiyon)**

  İletim, sistem içindeki sıcaklık farkından meydana gelir. Moleküller arası etkileşimle ısı enerjisinin geçişidir. İletim yoluyla ısı geçişi, sistemin her noktasındaki sıcaklık eşitlenene kadar devam eder. Bir ucundan ısıtılmış bir milin soğuk ucuna doğru geçen ısı, iletime örnek verilebilir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17: İletim (kondüksiyon)

İletim yoluyla ısı geçişi, Fourier'in (Forier) ısı iletim kanununa göre aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilir.

Q_{iletim} : İletim yoluyla ısı geçişi (W)	$Q_{iletim} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$
k : Isı iletim katsayısı (W/m.K)	
A : Yüzey alanı (m^2)	
ΔT : Sıcaklık farkı (K)	
L : Kalınlık (m)	

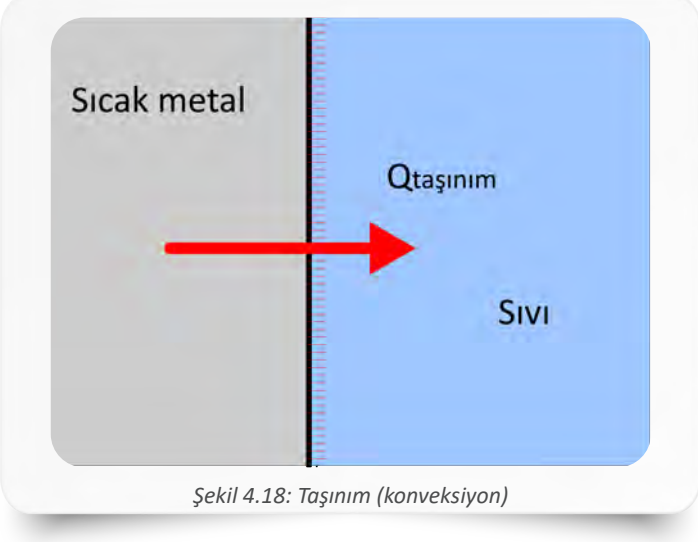
Bir maddenin ısıyı ne kadar iyi ilettiğini gösteren değere **ısı iletim katsayısı (k)** denir. Bu, maddeler için ayırt edici bir özelliktir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Isı İletim Katsayıları

Madde	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
Alüminyum (saf)	204
Bakır (saf)	386
Demir (dövme)	59
Gümüş (saf)	407
Porselen	1,03
Cam	0,78
Su	0,59
Hava	0,026
20 °C'deki özelliklerdir.	

- **Taşınım (Konveksiyon)**

  Taşınım, katı yüzey ve akışkan arasında gerçekleşen ısı alışverişidir. Isının silindir bloğundan soğutma sıvısına geçişi taşınıma örnek verilebilir (Şekil 4.18). Isı geçişi yalnızca sıcaklık farkından oluşuyorsa **doğal taşınım**, pompa veya fan gibi cihazlar kullanılarak gerçekleştiriliyorsa **zorlamalı taşınım** olarak adlandırılır.



Şekil 4.18: Taşınım (konveksiyon)

Taşınım yoluyla ısı geçişi, Tablo 4.7 Newton'un soğutma kanununa göre aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilir.

$Q_{taşınım}$: Taşınım yoluyla ısı geçişi (W)
h : Isı taşınım katsayısı (W/m^2.K)
A : Yüzey alanı (m^2)
T_y : Yüzey sıcaklığı (K)
T_a : Akışkan sıcaklığı (K)

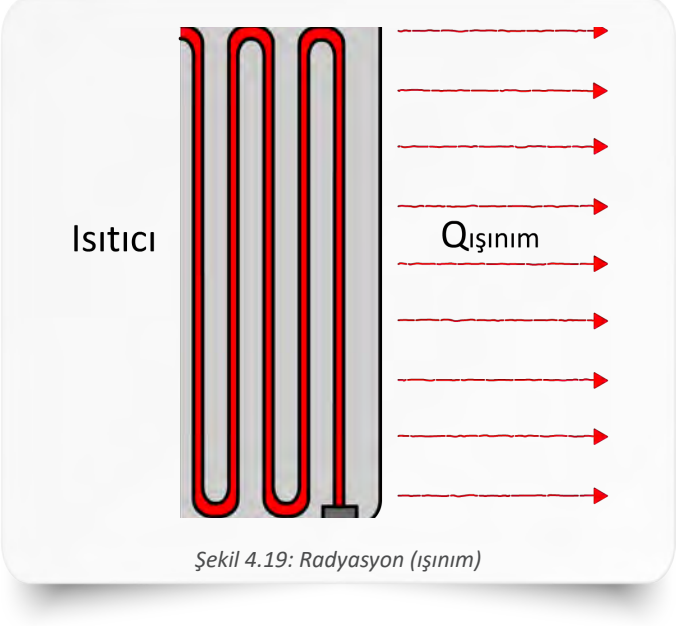
$$Q_{taşınım} = h \cdot A \cdot (T_y - T_a)$$

Tablo 4.7: Bazı Akışkanlar İçin Isı Taşınım Katsayıları

Madde		Isı Taşınım Katsayısı (W/m².K)
Doğal Taşınım	Gazlar	5-30
	Yağlar	5-100
	Su	30-300
Zorlamalı Taşınım	Gazlar	30-300
	Yağlar	30-3000
	Su	300-10000

- **Işınım (Radyasyon)**

  Elektromanyetik dalgalar veya fotonlarla gerçekleşen ısı aktarımına **ışınım (radyasyon)** denir. Işınım, fiziksel bir ortama ihtiyaç duymaksızın havasız ortamda veya mutlak vakumda gerçekleşebilir. Işınıma verilebilecek en bilinen örnek güneşin yeryüzünü ısıtmasıdır. Gemilerde ise ısının radyatör, buhar kazanı veya sıcak boru tesisatından etrafa yayılması, ışınıma örnek verilebilir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19: Radyasyon (ışınım)

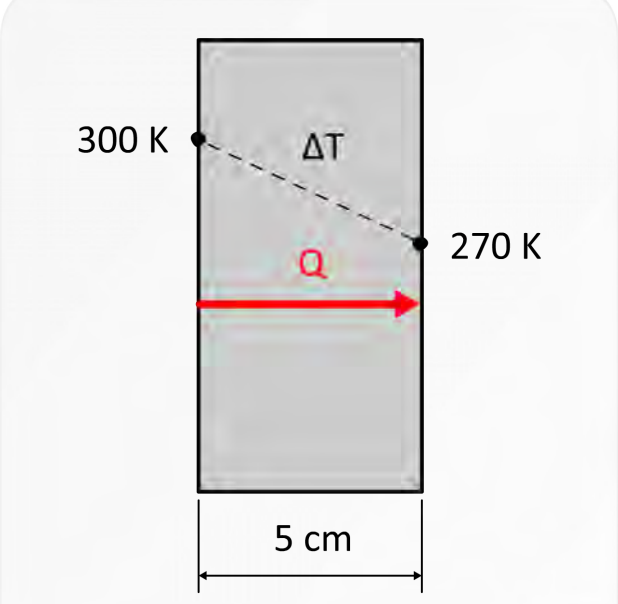
Işınım yoluyla ısı geçişi, Tablo 4.8 Stefan-Boltzman kanununa göre aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilir.

$Q_{ışınım}$: Işınım yoluyla ısı geçişi (W) ε : Yayma katsayısı σ : Stefan-Boltzman sabiti (5,67x10^{-8} W/m^2.K^4) A : Yüzey alanı (m^2) T_R : Radyasyon yayan cismin sıcaklığı (K) $T_Ç$: Çevrenin sıcaklığı (K)	$Q_{ışınım} = ε \cdot σ \cdot A \cdot (T_R^4 - T_Ç^4)$

Tablo 4.8: Yayma Katsayıları

Madde	Yayma Katsayısı
Bakır (parlatılmış)	0,03
Çelik (parlatılmış)	0,1
Alüminyum (parlatılmış)	0,05
Demir (dövme parlatılmış)	0,28
Cam	0,92
Beyaz boya	0,89
Siyah boya	0,97
Su	0,96

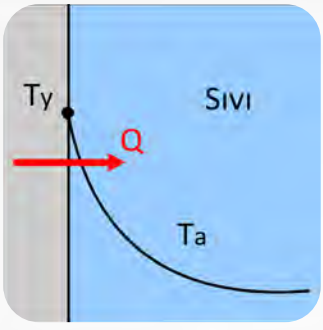
Örnek 8: Şekil 4.20'de görülen 5 cm kalınlığındaki alüminyum bir soğutucu kapağının iç yüzeyi 270 K, dış yüzeyi 300 K sıcaklıktadır. Bu soğutucu kapağın 1 m^2lik kısmından birim zamandaki ısı geçişini hesaplayınız.



Şekil 4.20: Alüminyum malzeme

Verilenler:	**Çözüm:**
k = 204 (W/m.K)	$Q_{iletim} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$
A = 1 m^2	$Q_{iletim} = \frac{204 \cdot 1 \cdot 30}{0,05}$
ΔT = (300 - 270) = 30 K	**Q_{iletim} = 122400 W = 122,4 kW**
L = 5 cm = 0,05 m	
Q_{iletim} = ?	

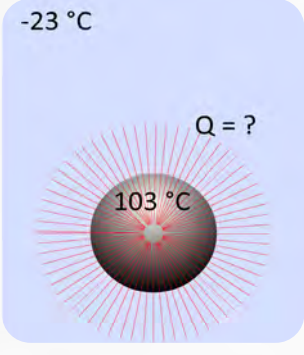
Örnek 9: Şekil 4.21'de görülen 0,02 m^2 su soğutma yüzey alanına sahip bir silindirin sıcaklığı 120 °C, yüzeye komşu soğutma suyunun sıcaklığı 20 °C olduğuna göre zorlamalı taşınım ısı geçişini hesaplayınız.



Şekil 4.21: Silindir yüzeyi

Verilenler:	**Çözüm:**
h = 500 ($W/m^2.K$)	$Q_{taşınım} = h \cdot A \cdot (T_y - T_a)$
A = 0,02 m^2	$Q_{taşınım} = 500 \cdot 0,02 \cdot (393 - 293)$
T_y = 120 °C = 393 K	**$Q_{taşınım}$ = 1000 W = 1 kW**
T_a = 20 °C = 293 K	
$Q_{taşınım}$ = ?	

Örnek 10: Alanı 0,01 m^2, yayma katsayısı 0,4 ve sıcaklığı 107 °C olan küre şeklindeki rulman bilyesinin (Şekil 4.22) -23 °C'lik bir ortamda gerçekleşen ısı geçişini hesaplayınız.



Şekil 4.22: Küre şeklindeki rulman bilyesi

Verilenler:	**Çözüm:**
ε = 0,4	$Q_{ışınım} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_R^4 - T_Ç^4)$
σ = 5,67x10^{-8} $W/m^2.K^4$	$Q_{ışınım} = 0,4 \cdot 0,0000000567 \cdot 0,01 \cdot (380^4 - 250^4)$
A = 0,01 m^2	**$Q_{ışınım}$ = 3,84 W**
$T_Ç$ = -23 °C = 250 K	
T_R = 107 °C = 380 K	
$Q_{ışınım}$ = ?	

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan yerlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Sıcaklık, uluslararası birimler sistemine (SI) göre temel büyüklüklerdendir.

2. ( ) Termodinamik bir sistemi çevreleyen yüzeye sistem ısısı denir.

3. ( ) Ağırlık, maddenin kütlesine bağımlı özelliklerindendir.

4. ( ) Deniz suyu pompası, açık sistemlere örnek verilebilir.

5. ( ) Isı enerjisi, düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa doğru hareket eder.

B) Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Çevreleriyle yalnızca enerji alışverişi yapan, kütle alışverişi yapmayan sistemlere ..... sistemler denir.

2. Sistem ve çevresi arasındaki enerji alışverişine ..... denir.

3. Bir sistemin, birim yüzey alana uyguladığı dik kuvvete ..... denir.

4. Bir maddenin birim hacminin kütlesine ..... denir.

5. İki sistem arasındaki sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı alışverişine ..... denir.

C) Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. SI birim siteminde yer alan ve gemi makinelerinin gücünü ifade etmek için de kullanılan güç birimi aşağıdakilerden hangisidir?

A) Amper
B) Newton
C) Radyan
D) Tesla
E) Watt

2. Kayıpların ihmal edildiği bir silindir piston düzeneğinde silindire 200 kJ ısı verildiğinde 40 kJ iş elde edilmiştir. **Sistemin iç enerji değişimi kaç kJ'dür?**

A) 100
B) 120
C) 140
D) 160
E) 180

3. Aşağıdakilerden hangisi sistemin bağımsız (intensive) özelliklerindendir?

A) Ağırlık
B) Basınç
C) Hacim
D) Sıcaklık
E) Uzunluk

4. Datça'da deniz suyu sıcaklığı 17 °C ölçüldüğüne göre bu değerin Kelvin (K) karşılığı nedir?

A) 273
B) 280
C) 287
D) 290
E) 293

5. Kütlesi 10 kg olan alüminyum bir iş parçasının sıcaklığını 10 °C artırabilmek için gerekli ısı kaç kJ'dür? (c_p = 0,90 kJ/kg.K)

A) 50
B) 60
C) 70
D) 80
E) 90

6. Hacmi 25 m^3 olan 5 kg gazın özgül hacmi kaç m^3/kg'dır?

A) 3
B) 4
C) 5
D) 6
E) 7

7. Aşağıdakilerden hangisi ile kapalı sistem basıncı ölçülebilir?

A) Barometre
B) Kilometre
C) Manometre
D) Pirometre
E) Termometre

8. Yüzey alanı 0,15 m^2 olan hareketli bir pistona sahip silindirin içinde 20 Pa basınçta gaz vardır. **Bu sistemin dengede olabilmesi için pistona kaç N kuvvet etki etmelidir?**

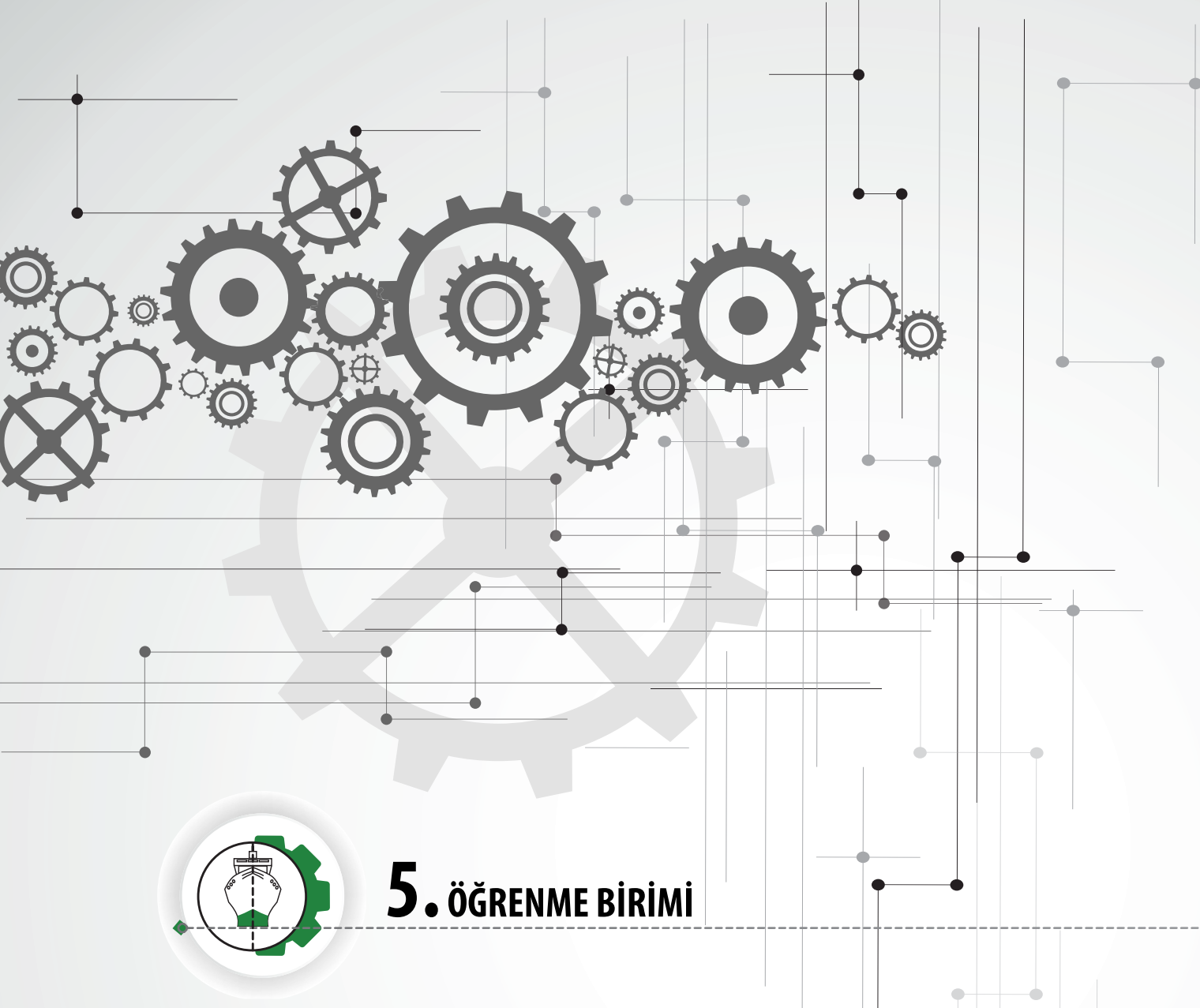
A) 2
B) 3
C) 4
D) 5
E) 6

9. Isının silindir bloğundan soğutma suyuna geçişi aşağıdakilerden hangi ısı transfer türüne örnektir?

A) Taşınım (konveksiyon)
B) Işınım (radyasyon)
C) Yalıtım (seperasyon)
D) İletim (kondüksiyon)
E) Yayılım (difüzyon)

10. Kalınlığı 0,01 m olan paslanmaz çelik plakanın iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı 20 K'dir. **Bu plakanın 0,4 m^2lik kısmından birim zamandaki ısı geçişi kaç kJ'dür? (k = 15 W/m.K)**

A) 12000
B) 12500
C) 13000
D) 13500
E) 14000



5. ÖĞRENME BİRİMİ

ÇEVRİMLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. TERMODİNAMİK KANUNLAR

2. SOĞUTMA ÇEVRİMLERİ

3. BUHAR ÇEVRİMLERİ

4. GAZ ÇEVRİMLERİ

5. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE GÜÇ

6. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE VERİM

7. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE YAKIT TÜKETİMİ

KOD=16589

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

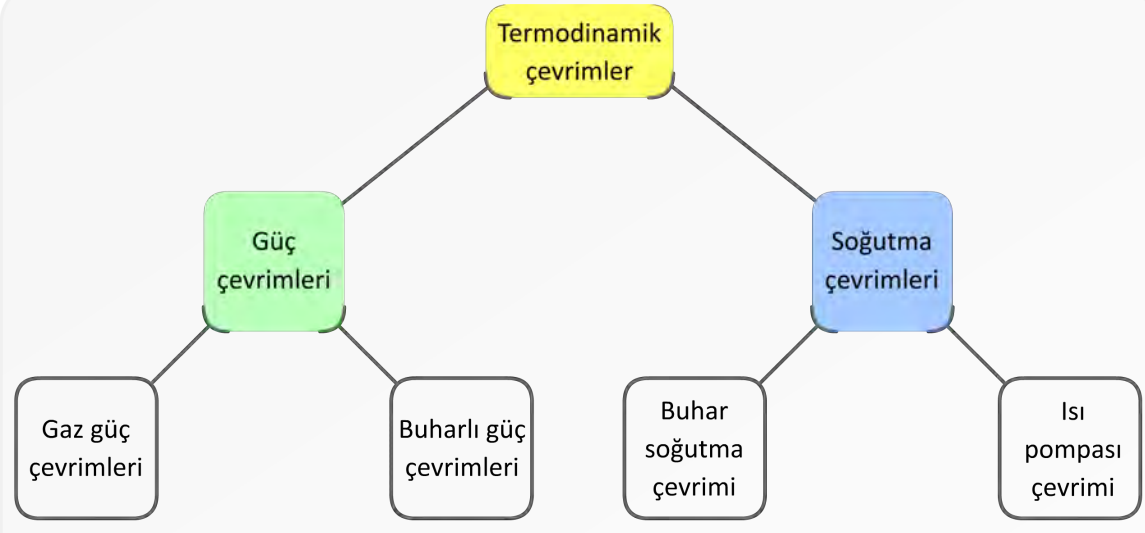
1. Gemi makine dairesinde bulunan ısı kaynakları ve bu kaynaklardan elde edilen ısının kullanım alanları ile ilgili bilgi ve gözlemlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

2. Gemi ana makinesinin güç ve veriminin düşmesine nelerin sebep olabileceği ile ilgili görüşlerinizi belirtiniz.

3. İdeal (mükemmel) bir makinenin hangi özelliklere sahip olması gerektiğini ve bu özelliklerin gerçekte olup olamayacağını tartışınız.

ÇEVRİMLER

Termodinamik çevrimlerde kullanılan çalışma akışkanı, bir veya birden fazla hâl değişimi gerçekleştirip tekrar ilk hâline döner. Bir amaç doğrultusunda gerçekleşen bu çevrimler, güç çevrimi ve soğutma çevrimi olarak sınıflandırılır (Şekil 5.1).



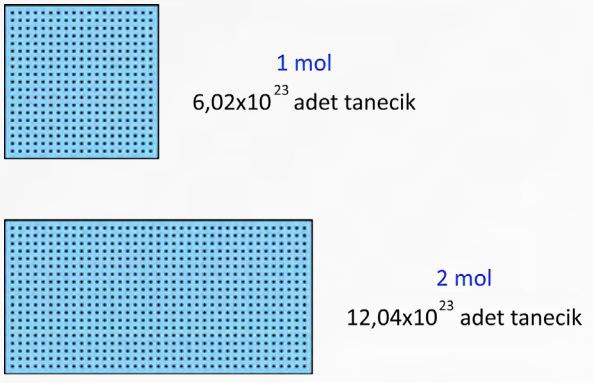
Şekil 5.1: Termodinamik çevrimlerin sınıflandırılması

1. TERMODİNAMİK KANUNLAR

Termodinamik çevrimler, termodinamik kanunların yanı sıra çeşitli gaz kanunlarına dayanır. Bu kanunlar gazlarda basınç, sıcaklık ve hacim gibi değişkenlerin arasındaki ilişkiyi açıklar. Gazlarla ilgili yapılan hesaplamalarda işleme konu olan gazın ideal gaz olduğu varsayılır. Tüm hacmine oranla ihmal edilebilecek kadar küçük tanecikleri olan (atom, molekül, iyon vb.), bu tanecikler arasında çekme ya da itme kuvveti bulunmayan ve tanecikler arası çarpışmanın enerji kaybına yol açmadığı varsayılan gazlara **ideal gaz** denir. İdeal gazlar gerçekte yoktur. İdeal olmayan gazlara ise **gerçek gaz** denir. Tanecikler arası etkileşimin düşük olduğu yüksek sıcaklık ve düşük basınç gibi durumlarda gerçek gazlar, ideal gaz özelliklerine yaklaşır.

1.1. Mol Kavramı

Mol, Uluslararası Birimler Sistemi'nde **(SI)** belirtilen yedi temel büyüklükten biridir ve madde miktarının birimidir. 1 mol, **Avogadro sayısı** kadar yani $6{,}02x10^{23}$ adet aynı tür tanecik içerir (Şekil 5.2). Avogadro sayısı SI sisteminde tanımlanmış yedi evrensel sabitten biridir. Normal şartlar altında (0 °C sıcaklıkta ve 1 atm basınçta) bütün gazların 1 molünün hacmi 22,414 litredir. Maddenin 1 molünün kütlesine de **mol kütlesi** denir.



Şekil 5.2: Mol sayısı

Mol sayısı aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir.

n	: Mol sayısı (mol)	$n = \frac{N}{N_A}$
N	: Tanecik sayısı	
N_A	: Avogadro sayısı	$n = \frac{m}{M}$
m	: Toplam kütle (g)	
M	: Mol kütlesi (g/mol)	$n = \frac{V}{22,4}$
V	: Verilen gaz hacmi (Litre)	
22,4	: Normal şartlar altında bir gazın hacmi (Litre)	

Örnek 1: 0,2 mol C_3H_8 gazı kaç tane molekül içerir?

Verilenler:	**Çözüm:**
n = 0,2 mol $N_A = 6{,}02x10^{23}$ N = ?	$n = \frac{N}{N_A}$ $0{,}2 = \frac{N}{6{,}02 \times 10^{23}}$ $N = 0{,}2 \cdot 6{,}02 \times 10^{23}$ **$N = 1{,}204 \times 10^{23}$**

Örnek 2: 4 gram CH_4 gazı kaç moldür?

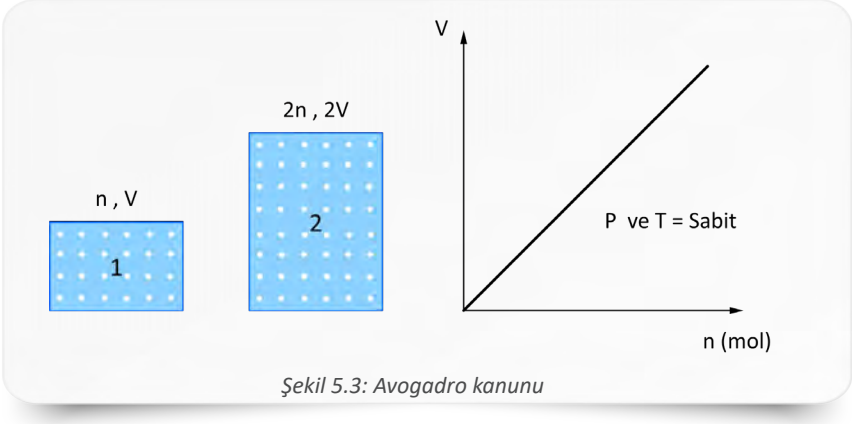
Verilenler:	**Çözüm:**
m = 4 g M = 16,04 g/mol n = ?	$n = \frac{m}{M}$ $n = \frac{4}{16,04}$ **n = 0,25 mol**

Örnek 3: Normal şartlar altında 44,8 litre CO_2 gazı kaç moldür?

Verilenler:	**Çözüm:**
V = 44,8 L Normal şartlar altında gaz hacmi = 22,4 L n = ?	$n = \frac{V}{22,4} = \frac{44,8}{22,4}$ **n = 2 mol**

1.2. Avogadro Kanunu

Sabit basınç ve sıcaklıktaki bir gazın hacmi ve mol sayısı doğru orantılı olarak değişir (Şekil 5.3). Aynı basınç ve sıcaklıktaki farklı gazların eşit hacimlerinin mol sayıları aynıdır.



Şekil 5.3: Avogadro kanunu

Avogadro kanunu aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$P_1 = P_2 = P_n$$

$$T_1 = T_2 = T_n$$

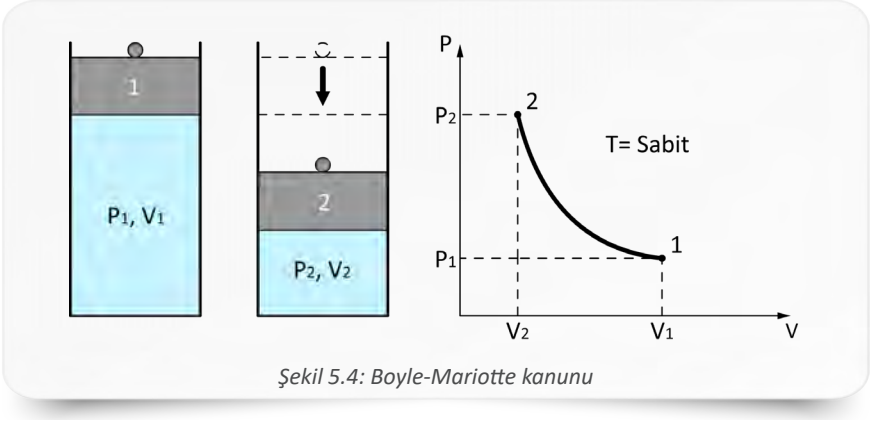
$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} = \frac{V_n}{n_n}$$

Örnek 4: Sızdırmaz ve sürtünmesiz bir silindir piston düzeneği içerisinde 5 L hacimde 10 g H_2 gazı bulunmaktadır. Bu silindire eşit sıcaklıkta 2 g daha H_2 gazı eklenirse gazın son hacminin kaç L olacağını hesaplayınız. (H_2 = 2 g/mol)

Verilenler:	**Çözüm:**	
$P_1 = P_2$ = Sabit $T_1 = T_2$ = Sabit M = 2 g/mol V_1 = 5 L m_1 = 10 g V_2 = ?	m_2 = 10 + 2 = 12 g $n_1 = \frac{m_1}{M} = \frac{10}{2}$ n_1 = 5 mol $n_2 = \frac{m_2}{M} = \frac{12}{2}$ n_2 = 6 mol	$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$ $\frac{5}{5} = \frac{V_2}{6}$ **V_2 = 6 L**

1.3. Boyle-Mariotte Kanunu

Sabit sıcaklıkta, kapalı kaptaki bir gazın basıncı ile hacminin çarpımı daima sabittir. Gazın hacmi azalırsa basıncı da aynı oranda artar, hacmi artarsa basıncı da aynı oranda azalır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: Boyle-Mariotte kanunu

Boyle-Mariotte kanunu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$T_1 = T_2 = T_n$$

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = P_n \cdot V_n$$

Örnek 5: Sabit sıcaklıkta, hacmi değişebilen kapalı bir silindir içindeki 3 Pa basınçtaki gaz, sabit sıcaklıkta 0,01 m^3 hacim yer kaplamaktadır. Silindirin hacmi 0,007 m^3 azaltıldığında içindeki gazın basıncının kaç Pa olacağını hesaplayınız.

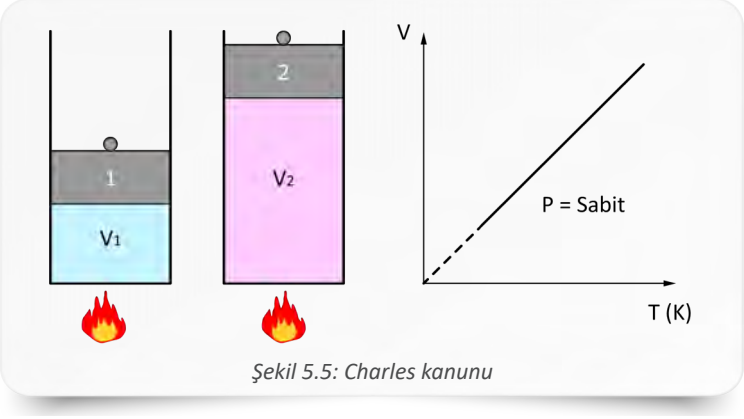
Verilenler:	**Çözüm:**
$T_1 = T_2$ = Sabit	$V_2 = 0,01 - 0,007 = 0,003\ m^3$
$P_1 = 3$ Pa	$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$
$V_1 = 0,01\ m^3$	$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{3 \cdot 0,01}{0,003} = 10$ Pa
P_2 = ?	**P_2 = 10 Pa**

Örnek 6: Basıncı 200 kPa, hacmi 0,12 m^3 olan bir gaz, sabit sıcaklıkta 540 kPa basınca sıkıştırılıyor. Bu gazın son hacmini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$T_1 = T_2$ = Sabit	$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$
$P_1 = 200$ kPa	$V_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{P_2} = \frac{200 \cdot 0,12}{5400} = 0,04\ m^3$
$P_2 = 540$ kPa	**$V_2 = 0,04\ m^3$**
$V_1 = 0,12\ m^3$	
V_2 = ?	

1.4. Charles Kanunu

Sabit basınçta kapalı bir kaptaki gazın hacmi, sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değişir. Gazın sıcaklığı artarsa hacmi de aynı oranda artar, sıcaklığı azalırsa hacmi de aynı oranda azalır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: Charles kanunu

Charles kanunu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$P_1 = P_2 = P_n$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_n}{T_n}$$

Örnek 7: Sabit basınçta, kapalı bir silindir içinde 280 K sıcaklıktaki gaz 14 L hacim yer kaplamaktadır. Kabın sıcaklığı 60 K azaltıldığında gazın hacminin kaç L olacağını hesaplayınız.

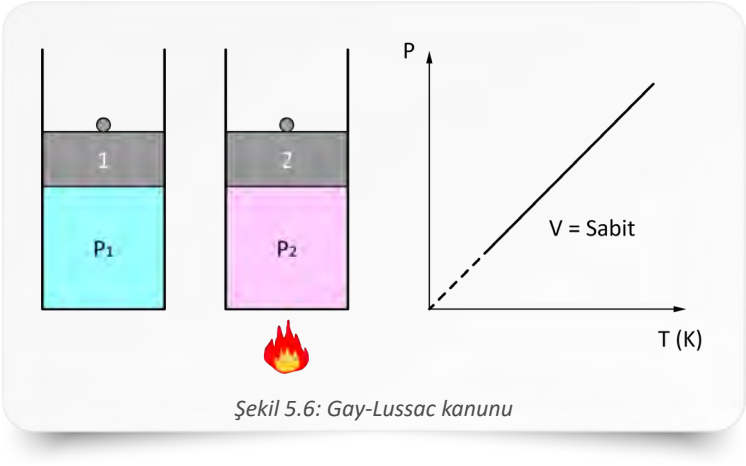
Verilenler:	**Çözüm:**
$P_1 = P_2$ = Sabit	$T_2 = 280 - 60 = 220$ K
$T_1 = 280$ K	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
$V_1 = 14$ L	$V_2 = \frac{V_1 . T_2}{T_1} = \frac{14 . 220}{280} = 11$ L
$V_2 = ?$	**$V_2 = 11$ L**

Örnek 8: Sıcaklığı 110 °C olan bir gazın hacmi sabit basınçta 2 m^3'ten 6 m^3'e yükseltiliyor. Buna göre gazın son sıcaklığının kaç °C olduğunu hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$P_1 = P_2$ = Sabit	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
$T_1 = 110$ °C	$T_2 = \frac{V_2 . T_1}{V_1} = \frac{6 . 110}{2} = 330$ °C
$V_1 = 2\ m^3$	**$T_2 = 330$ °C**
$V_2 = 6\ m^3$	
$T_2 = ?$	

1.5. Gay-Lussac Kanunu

Sabit hacimde kapalı bir kaptaki gazın basıncı, sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değişir. Gazın sıcaklığı artarsa basıncı da aynı oranda artar, sıcaklığı azalırsa basıncı da aynı oranda azalır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6: Gay-Lussac kanunu

Gay-Lussac kanunu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$V_1 = V_2 = V_n$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_n}{T_n}$$

Örnek 9: Sabit hacimli bir silindirde bulunan gazın sıcaklığı 12 °C, basıncı ise 10 Pa'dır. Bu gazın basıncı 4 Pa artırılırsa son sıcaklığının kaç °C olacağını hesaplayınız.

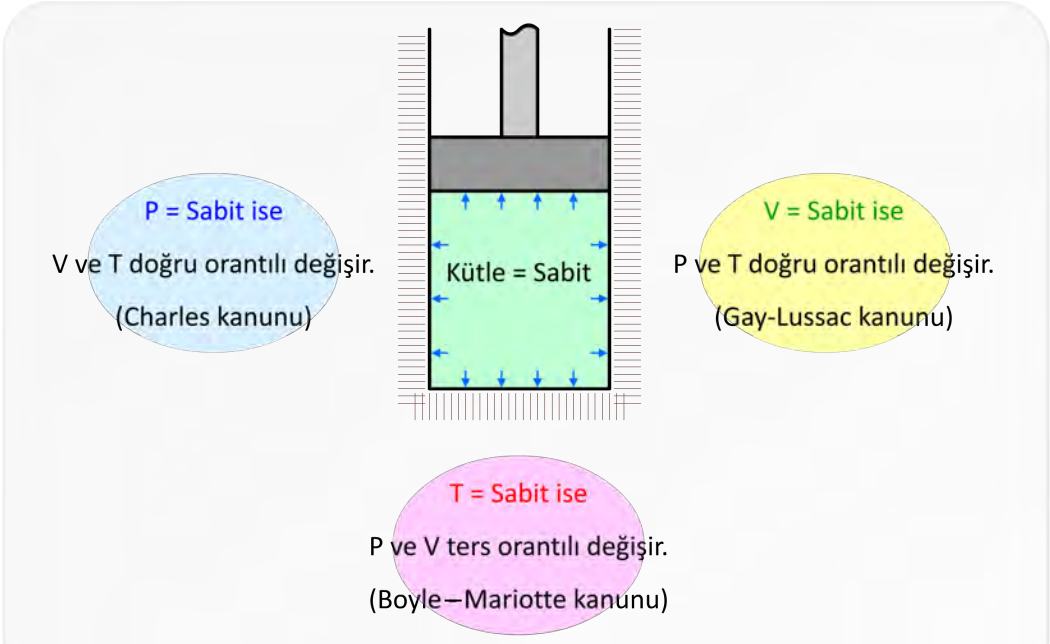
Verilenler:	**Çözüm:**
$V_1 = V_2$ = Sabit	$P_2 = 10 + 4 = 14$ Pa
$T_1 = 12$ °C	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
$P_1 = 10$ Pa	$T_2 = \frac{P_2 . T_1}{P_1} = \frac{14 . 12}{10} = 16,8$ °C
T_2 =?	**T_2 = 16,8 °C**

Örnek 10: Sıcaklığı 330 K, basıncı 110 kPa olan bir gazın sıcaklığı sabit hacimde 100 K azaltılırsa basıncının kaç kPa olacağını hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$V_1 = V_2$ = Sabit	$T_2 = 330 - 100 = 230$ K
$T_1 = 330$ K	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
$P_1 = 110$ kPa	$P_2 = \frac{P_1 . T_2}{T_1} = \frac{110 . 230}{330} = 76,6$ kPa
P_2 = ?	**P_2 = 76,6 kPa**

1.6. İdeal Gaz Kanunu

İdeal gaz kanunu, diğer gaz kanunlarının hepsini kapsar. İdeal bir gaz için çeşitli koşullar altındaki basınç, hacim ve sıcaklık ilişkisini inceler (Şekil 5.7).



Şekil 5.7: İdeal gaz kanununa göre basınç, hacim, sıcaklık ve gaz miktarı arasındaki ilişki

İdeal gaz kanunu çeşitli değişkenlere bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir.

P : Basınç (kPa) v : Özgül hacim (m^3/kg) R : Gaz sabiti (kj/kg.K) T : Sıcaklık (K) V : Hacim (m^3) m : Kütle (kg) R_u : Evrensel gaz sabiti (kJ/kmol.K) n : Mol sayısı (kmol) M : Mol kütlesi (kg/kmol)	$$P \cdot v = R \cdot T$$ $$v = \frac{V}{m}$$ $$\frac{P \cdot V}{m} = R \cdot T$$ $$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$$ $$R = \frac{R_u}{M}$$ $$m = n \cdot M$$ $$P \cdot V = n \cdot M \cdot \frac{R_u}{M} \cdot T$$ $$P \cdot V = n \cdot R_u \cdot T$$

Normal şartlar altında bütün ideal gazlar için aynı olan **evrensel gaz sabiti (R_u)** aşağıdaki bağıntıyla bulunur.

SI sistemine göre normal şartlar altında 1 mol gaz için, Normal basınç : P = 1 atm = 101325 Pa Normal hacim : V = 22,414 L = 0,022414 m^3 Normal sıcaklık : T = 0 °C = 273,15 K	$R_u = \frac{P \cdot V}{n \cdot T}$ $R_u = \frac{101325 \cdot 0,022414}{1 \cdot 273,15}$ R_u = 8,3144 Pa . m^3/mol . K **R_u = 8,3144 J/mol . K**

Her gerçek gazın kendine özgü bir **gaz sabiti (R)** vardır. Gerçek gazlar için gaz sabiti aşağıdaki bağıntılar ile bulunur.

R : Gaz sabiti (kJ/kg.K) R_u : Evrensel gaz sabiti (kJ/kmol.K) M : Mol kütlesi (kg/kmol) c_p : Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg.K) c_v : Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kg.K)	$R = \frac{R_U}{M}$ $R = c_p - c_v$

Örnek 11: 10 Pa basınçta 0,2 mol gazın hacmi 2,2 m^3 ve sıcaklığı 20 °C olduğuna göre gaz sabitini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
P = 10 Pa V = 2,2 m^3 n = 0,2 mol T = 20 + 273 = 293 K R = ?	$R = \frac{P \cdot V}{n \cdot T}$ $R = \frac{10 \cdot 2,2}{0,2 \cdot 293}$ **R = 0,3754 J/mol . K**

Örnek 12: Hacmi 0,2 m^3 olan kapalı silindirik bir kapta basıncı 100 kPa olan 0,5 kg hava bulunmaktadır. Havanın sıcaklığını (K) Kelvin cinsinden bulunuz. (R_{hava} = 0,287 kj/kg.K)

Verilenler:	**Çözüm:**
P = 100 kPa V = 0,2 m^3 m = 0,5 kg R_{hava} = 0,287 kj/kg.K T = ?	P . V = m . R . T $T = \frac{P \cdot V}{m \cdot R}$ $T = \frac{100 \cdot 0,2}{0,5 \cdot 0,287}$ **T = 139,37 K**

1.7. Gazların Hâl Değişimleri

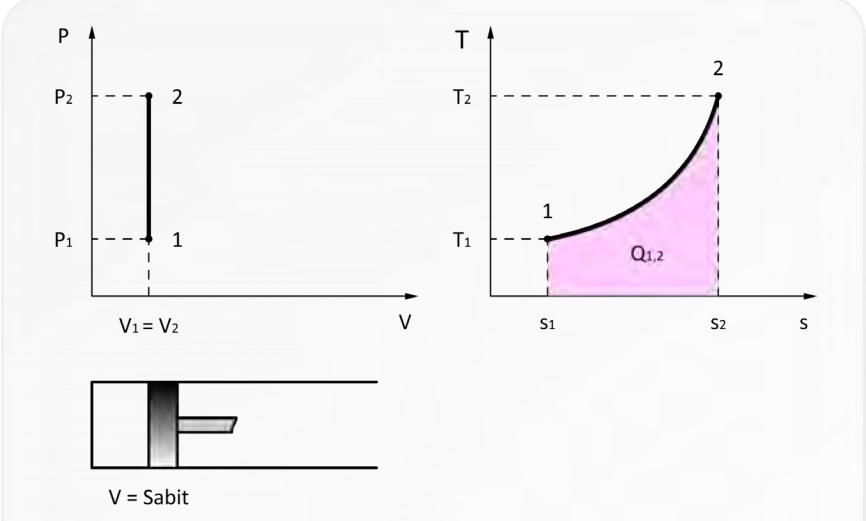
Termodinamik sistemlerin teorik çevrimlerindeki temel hâl değişimlerinin kapalı sistem, sürtünmesiz piston ve ideal gaz kullanılarak yapıldığı varsayılır. Bu hâl değişimleri, **basınç-hacim (P-V)** ve **sıcaklık-entropi (T-s)** diyagramları üzerinde incelenir. P-V diyagramı eğrisi altında kalan alan sistem tarafından yapılan işe, T-s diyagramı eğrisi altında kalan alan ise sistemdeki ısı alışverişine eşittir. Termodinamik hâl değişimlerinde iş, aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

W	: Yapılan iş (J)	$W = P \cdot \Delta V$
P	: Basınç (Pa)	
ΔV	: Hacim değişimi (m^3)	

Hâl değişimlerinde iş, ısı ve entropi değişimi gibi bazı bağıntılar, logaritmik hesaplamalar ($\ln\frac{x}{y}$) yardımıyla çözülür. Bu hesaplamalar, hesap makinesi kullanılarak kolayca yapılabilir. Hesaplamalarda sistemin yaptığı iş pozitif (+), sistemin harcadığı iş negatif (-), sistemin aldığı ısı pozitif (+) ve sistemin kaybettiği ısı negatif (-) değerde olur. Bu değerler iş ve ısının yönünü gösterir.

1.7.1. Sabit Hacimde (İzokorik) Hâl Değişimi

Bu hâl değişimi sırasında hacim değişmez. Sabit hacimde hâl değişiminin P-V ve T-s diyagramları Şekil 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5.8: Sabit hacimde hâl değişiminin P-V, T-s diyagramları

Sabit hacimde hâl değişimi için ideal gaz kanununa göre aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

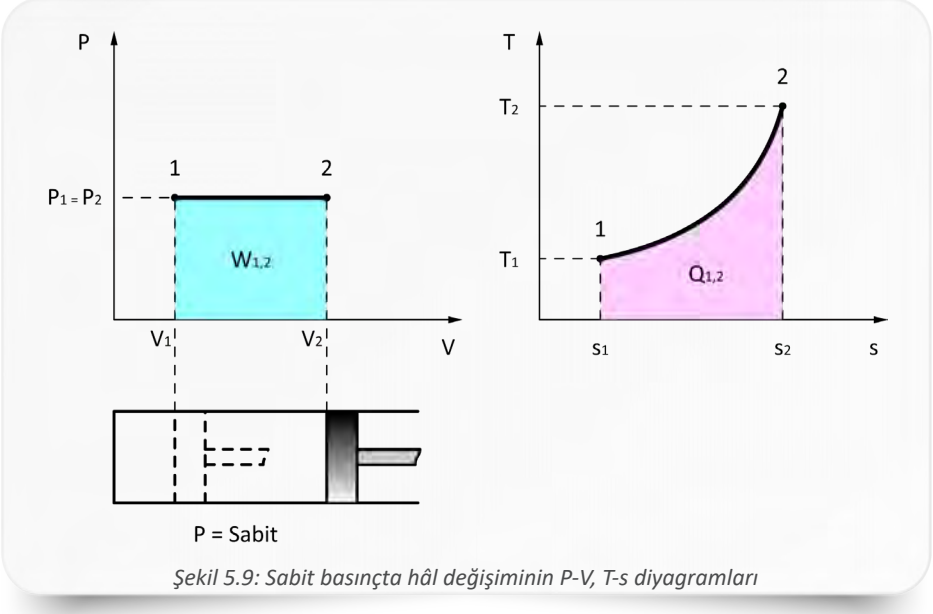
Sabit hacimde hâl değişiminde $V_1 = V_2$ olduğu için	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
P-V diyagramı eğrisi altında alan olmadığı için sabit hacimde iş, sıfıra eşittir.	$w_{1,2} = 0$
Birim kütle için ısı değişimi	$q_{1,2} = c_v \cdot (T_2 - T_1)$

Örnek 13: Sıcaklıkla hacminin değişmediği varsayılan bir kompresörün hava tankında 350 K sıcaklıkta ve 550 kPa basınçta hava vardır. Bu deponun sıcaklığı 50 K azaldığında tank basıncının kaç kPa ve birim kütle için ısı kaybının kaç kJ/kg olacağını hesaplayınız. (c_v = 0,718 kJ/kg.K)

Verilenler:	**Çözüm:**
$V_1 = V_2$ $T_1 = 350$ K $P_1 = 550$ kPa $T_2 = 350 - 50 = 300$ K $P_2 = ?$ $q_{1,2} = ?$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ $P_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{550 \cdot 300}{350} = 471$ **P_2 = 471 kPa** $q_{1,2} = c_v \cdot (T_2 - T_1) = 0,718 \cdot (300 - 350) = -35,9$ kJ/kg **$q_{1,2}$ = -35,9 kJ/kg**

1.7.2. Sabit Basınçta (İzobarik) Hâl Değişimi

Bu hâl değişimi sırasında basınç değişmez. Sabit basınçta hâl değişiminin P-V ve T-s diyagramları Şekil 5.9'da görülmektedir.



Şekil 5.9: Sabit basınçta hâl değişiminin P-V, T-s diyagramları

Sabit basınçta hâl değişimi için ideal gaz kanununa göre aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

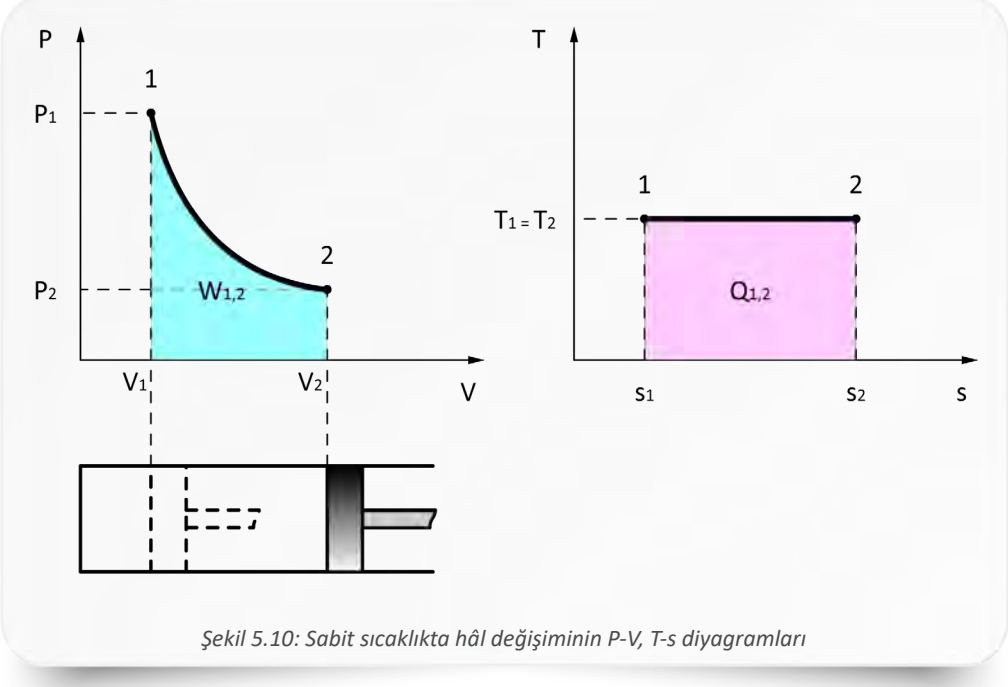
Sabit basınçta hâl değişiminde $P_1 = P_2$ olduğu için	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
Birim kütle için iş	$w_{1,2} = P \cdot (V_2 - V_1)$ veya $w_{1,2} = R \cdot (T_2 - T_1)$
Birim kütle için ısı değişimi	$q_{1,2} = c_p \cdot (T_2 - T_1)$

Örnek 14: Sabit basınçta sıcaklığı 500 K ve hacmi 0,50 m^3 olan bir gaz 780 K sıcaklığa kadar ısıtılıyor. Sistemdeki birim kütle için ısı değişimini ve işi hesaplayınız. (c_p = 1,039 kJ/kg.K, c_v = 0,743 kJ/kg.K)

Verilenler:	**Çözüm:**
$P_1 = P_2$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
T_1 = 500 K	$V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{0,50 \cdot 780}{500} = 0,78\ m^3$
$V_1 = 0,50\ m^3$	**$V_2 = 0,78\ m^3$**
T_2 = 780 K	$q_{1,2}$ = cp . (T2 - T1) = 1,039 . (780 - 500) = 290 kJ/kg
V_2 = ?	**$q_{1,2}$ = 290 kJ/kg**
$q_{1,2}$ = ?	R = c_p - c_v = 1,039 - 0,743 = 0,296 kj/kg.K
$w_{1,2}$ = ?	$w_{1,2} = R \cdot (T_2 - T_1) = 0,296 \cdot (780 - 500) = 82,88$ kJ/kg
	$w_{1,2}$ = 82,88 kJ/kg

1.7.3. Sabit Sıcaklıkta (İzotermal) Hâl Değişimi

Bu hâl değişimi sırasında sıcaklık değişmez. Sabit sıcaklıkta hâl değişiminin P-V ve T-s diyagramları Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.10: Sabit sıcaklıkta hâl değişiminin P-V, T-s diyagramları

Sabit sıcaklıkta hâl değişimi için ideal gaz kanununa göre aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

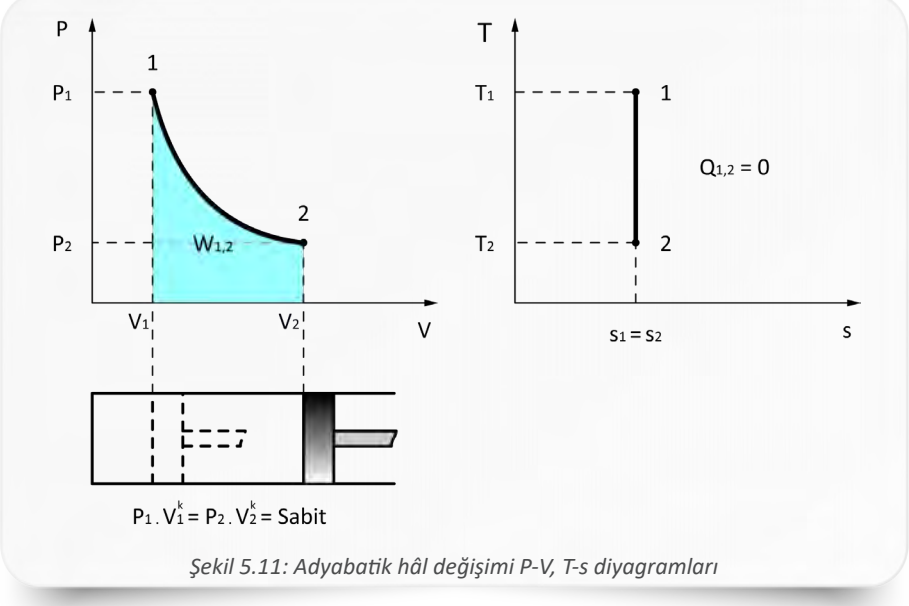
İzotermal hâl değişiminde $T_1 = T_2$ sabit olduğu için	$P_1 . V_1 = P_2 . V_2$
Birim kütle için iş	$w_{1,2} = R . T . \ln \frac{P_1}{P_2}$
Birim kütle için ısı değişimi	$q_{1,2} = w_{1,2}$
İzotermal hâl değişiminde sistemin iç enerji değişimi sıfırdır. Isı alışverişi ve iş birbirine eşittir.	$\Delta u = q - w = 0$

Örnek 15: Bir silindirin içinde bulunan 300 kPa basınçtaki hava, sabit sıcaklıkta 0,09 m^3 hacimden 0,30 m^3 hacme kadar genişletilmektedir. Havanın son basıncını hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$T_1 = T_2$ $V_1 = 0,09\ m^3$ $V_2 = 0,30\ m^3$ $P_1 = 300$ kPa $P_2 = ?$	$P_1 . V_1 = P_2 . V_2$ $P_2 = \frac{P_1 . V_1}{V_2} = \frac{300 . 0,09}{0,3} = 90$ kPa $P_2 = 90$ kPa

1.7.4. Adyabatik (İzentropik) Hâl Değişimi

Adyabatik hâl değişimi sırasında sistem çevresiyle ısı alışverişinde bulunmaz. Motorların teorik çevrimlerinde sıkıştırma ve genişleme işlemleri adyabatik özelliktedir. Bu hâl değişiminin P-V ve T-s diyagramları Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11: Adyabatik hâl değişimi P-V, T-s diyagramları

Adyabatik hâl değişimi için ideal gaz kanununa göre aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

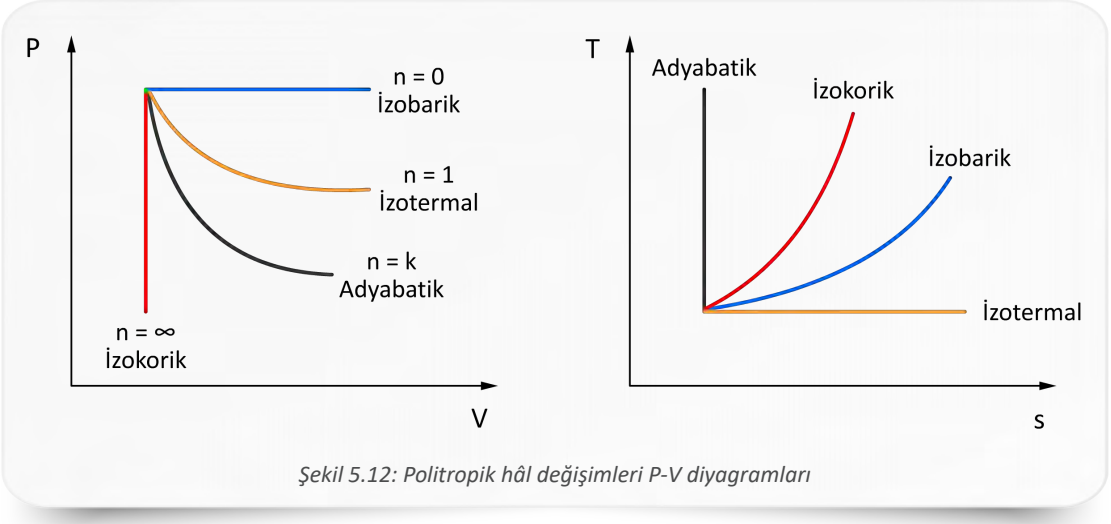
Adyabatik hâl değişiminde kullanılan bağıntılar	$P_1 . V_1^k = P_2 . V_2^k$ ve $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$
Adyabatik üs (k)	$k = \frac{c_p}{c_v}$
Birim kütle için iş	$w_{1,2} = \frac{(P_1 . V_1) - (P_2 . V_2)}{k - 1}$ veya $w_{1,2} = \frac{R . (T_2 - T_1)}{1 - k}$
Birim kütle için ısı değişimi	$q = 0$

Örnek 16: Sızdırmaz ve sürtünmesiz bir silindir piston düzeneği içinde bulunan 50 kPa basınçta ve 55 °C sıcaklıktaki hava 250 °C sıcaklığa kadar adyabatik olarak sıkıştırılmaktadır. Bu işlem sırasında birim kütle için harcanan işin kaç kJ/kg olduğunu hesaplayınız. (R = 0,287 kJ/kg.K ve k = 1,4)

Verilenler:	**Çözüm:**
R = 0,287 kJ/kg.K k = 1,4 P_1 = 50 kPa T_1 = 55 °C T_2 = 250 °C $w_{1,2}$ = ?	$w_{1,2} = \frac{R . (T_2 - T_1)}{1 - k} = \frac{0,287 . (250 - 55)}{1 - 1,4} = -140$ kJ/kg **$w_{1,2}$ = -140 kJ/kg**

1.7.5. Çok Değişkenli (Politropik) Hâl Değişimi

Gerçek çevrimleri incelemede kullanılan hâl değişimidir. Basınç, hacim ve sıcaklık değişkendir. Isı alışverişi olabilir. Diğer hâl değişimleri politropik hâl değişiminin özel durumlarıdır. Çok değişkenli hâl değişimlerinin P-V diyagramları Şekil 5.12'de görülmektedir.



Şekil 5.12: Politropik hâl değişimleri P-V diyagramları

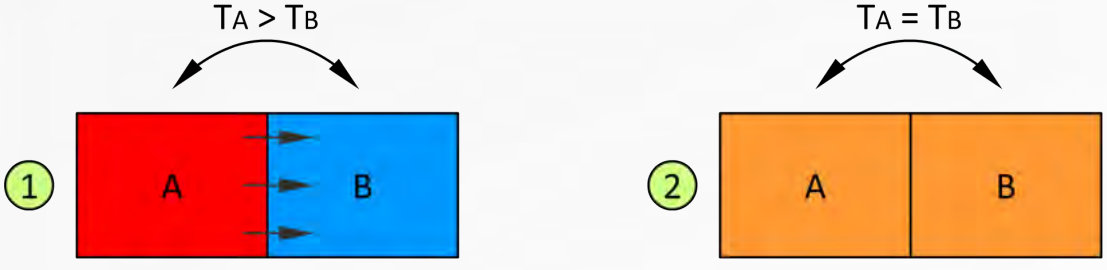
Politropik hâl değişiminde kullanılan bağıntı	$P_1 . V_1^n = P_2 . V_2^n$ ve $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1}$
Politropik üs (n)	$(1 < n < k)$ $n = 0 \Rightarrow P = Sabit$ (İzobarik) $n = 1 \Rightarrow T = Sabit$ (İzotermal) $n = k \Rightarrow P . V^k = Sabit$ (Adyabatik) $n = \infty \Rightarrow V = Sabit$ (İzokorik)
Sistemdeki iş	$W_{1,2} = \frac{(P_1 . V_1) - (P_2 . V_2)}{n - 1}$
Birim kütle için ısı etkileşimi	$q_{1,2} = c_n . (T_2 - T_1)$
Politropik hâl değişiminde özgül ısı (c_n)	$c_n = c_v \frac{k - n}{1 - n}$

1.8. Termodinamik Kanunlar

Çeşitli gözlem ve deneyler sonucunda bilim insanları tarafından termodinamikle ilgili dört temel kanun ortaya konulmuştur. Bunlar; termodinamiğin sıfırıncı, birinci, ikinci ve üçüncü kanunları olarak adlandırılır.

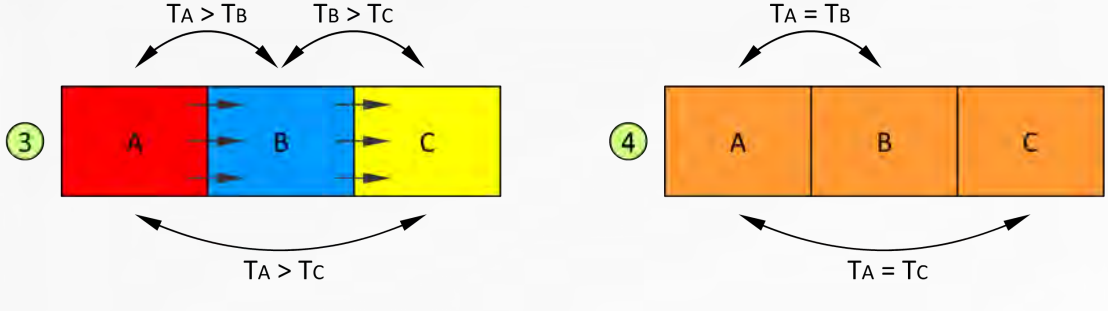
1.8.1. Termodinamiğin Sıfırıncı Kanunu

Termodinamiğin birinci, ikinci ve üçüncü kanunlarından sonra bulunan bu kanun, diğer kanunların temelini oluşturduğu için sıfırıncı kanun olarak adlandırılmış ve termodinamiğin diğer kanunları arasında ilk sıraya konulmuştur. Şekil 5.13'te görüldüğü gibi sıcaklıkları farklı ve temas hâlindeki iki sistemin (A ve B) sıcaklık değişimleri her iki sistem de aynı sıcaklığa yani ısıl dengeye ulaşana kadar devam eder.



Şekil 5.13: Termodinamiğin sıfırıncı kanununa göre iki cismin sıcaklık etkileşimi

Termodinamiğin sıfırıncı kanununa göre birbirleriyle temas hâlinde olmayan iki sistem (A ve C), ortak temas ettikleri üçüncü bir sistem ile (B) ısıl dengedeyseler bu iki ayrı sistem de (A ve C) birbiriyle ısıl dengededir (Şekil 5.14).



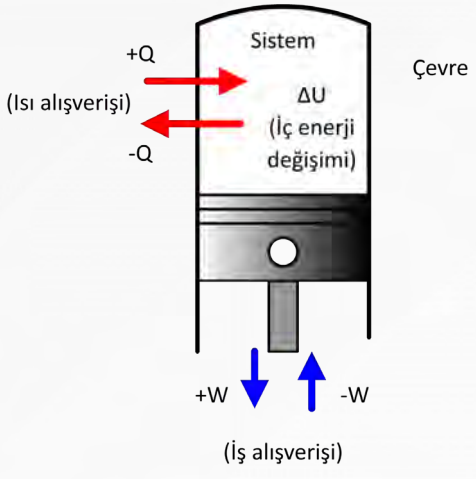
Şekil 5.14: Termodinamiğin sıfırıncı kanununa göre üç cismin sıcaklık etkileşimi

1.8.2. Termodinamiğin Birinci Kanunu

Enerjinin korunumu olarak da bilinen bu kanuna göre enerji kendiliğinden var olmaz, var olan enerji de yok olmaz ancak başka bir enerji türüne dönüşebilir. Buna göre sistemin kaybettiği enerji, çevrenin kazandığı enerjiye eşittir. Termodinamiğin birinci kanunu, deney ve gözlemlerle

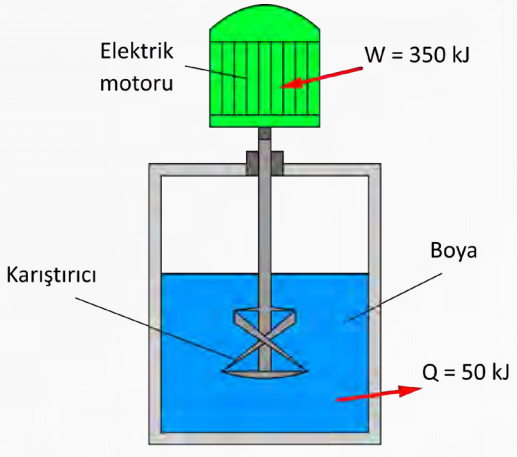
kanıtlanabilir ve aşağıdaki bağıntıyla ifade edilebilir.

ΔU : İç enerji değişimi (J) Q : Isı alışverişi (J) W : İş alışverişi (J)	$\Delta U = U_2 - U_1 = (Q_{giren} - Q_{çıkan}) - (W_{giren} - W_{çıkan})$ $\Delta U = Q - W$



Şekil 5.15: Termodinamiğin birinci kanunu

Örnek 17: Şekil 5.16'da görülen ve kapalı bir sistem olan boya karıştırıcısı, elektrik motorlu bir karıştırıcı yardımıyla çalışmaktadır. Karıştırıcının çevrilebilmesi için 350 kJ iş harcanmış ve karıştırma sonunda 50 kJ ısı çevreye yayılmıştır. Bu bilgilere göre sistemin iç enerji değişimini hesaplayınız.



Şekil 5.16: Boya karıştırıcısı

Verilenler:	**Çözüm:**
$W_{giren} = 350$ kJ $Q_{çıkan} = 50$ kJ ΔU = ?	$\Delta U = Q - W$ $\Delta U = (Q_{giren} - Q_{çıkan}) - (W_{giren} - W_{çıkan})$ $\Delta U = (0 - 50) - (350 - 0)$ **ΔU = 400 kJ**

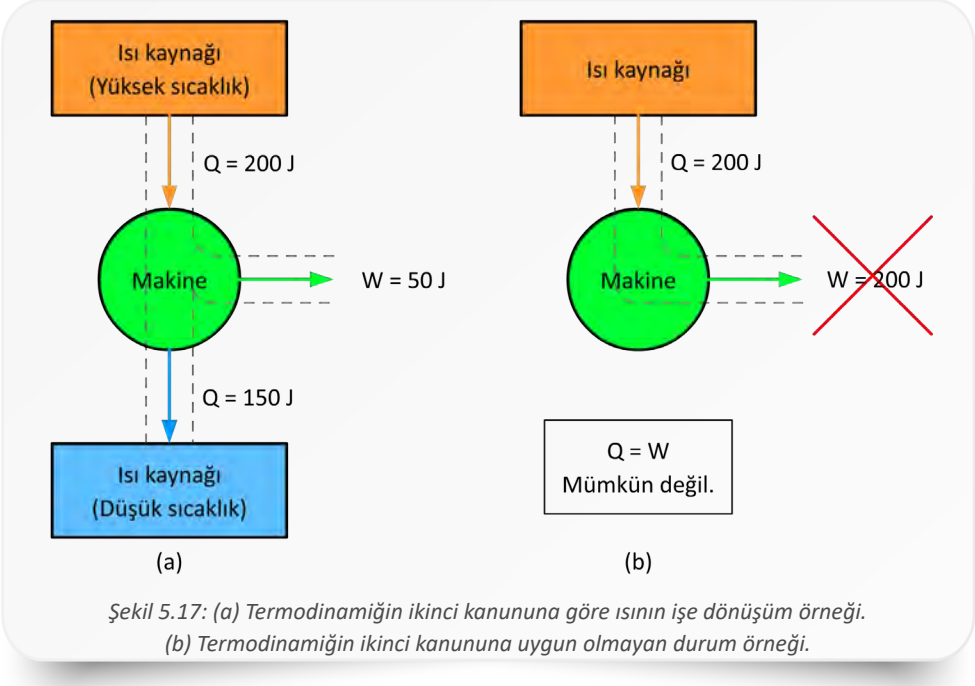
1.8.3. Termodinamiğin İkinci Kanunu

Diğer iki kanunu tamamlar nitelikte olan termodinamiğin ikinci kanunu, enerji türlerinin birbirine dönüşme yollarını inceler ve bu dönüşümün yönünü belirler. Bu kanun, serbest hâldeki bir sistemde birbiriyle bağlantılı üç tespite dayanır.

Düzensizliğin ölçüsü olan entropi ya artar ya da sabit kalır fakat hiçbir zaman azalmaz. Bu duruma bir buzun erimesi örnek verilebilir. Buz katı hâlden sıvı hâle geçerken moleküllerinin hareketi hızlanır ve düzensizliği artar.

Isı, kendiliğinden yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket eder. Bunun tam tersi mümkün değildir. Örneğin çalışma sıcaklığına ulaşmış içten yanmalı bir motor, ısısını daha düşük sıcaklıktaki soğutma suyuna ve çevresine aktarır.

Tek ısı kaynaklı ve tüm ısısını işe dönüştürerek yüzde yüz verimle çalışan bir makine üretmek mümkün değildir. Isı makinelerinde ısı, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket ederken iş üretir. Isının bir miktarı işe çevrilirken geri kalanı düşük sıcaklık kaynağına aktarılır (Şekil 5.17).



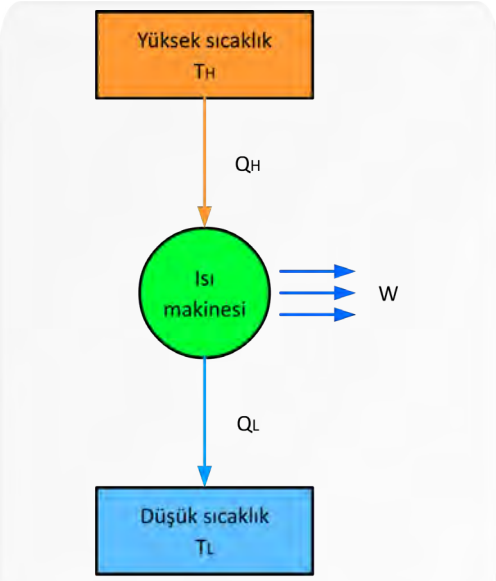
Şekil 5.17: (a) Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısının işe dönüşüm örneği. (b) Termodinamiğin ikinci kanununa uygun olmayan durum örneği.

Isı enerjisini faydalı işe çeviren makinelere **ısı makineleri** denir (Şekil 5.18). Isı makinelerinin verimi, makinenin yaptığı işin makineye giren ısıya oranına eşittir.

η_t	: Isıl verim
T_H	: Yüksek sıcaklık ısı kaynağının sıcaklığı (K)
T_L	: Düşük sıcaklık ısı kaynağının sıcaklığı (K)
W	: Makinenin yaptığı iş (J)
Q_H	: Makineye verilen ısı (J)
Q_L	: Makineden atılan ısı (J)

$$\eta_t = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

Isı makinelerinin çalışma prensibi Şekil 5.18'de yer alan şemadaki gibidir.



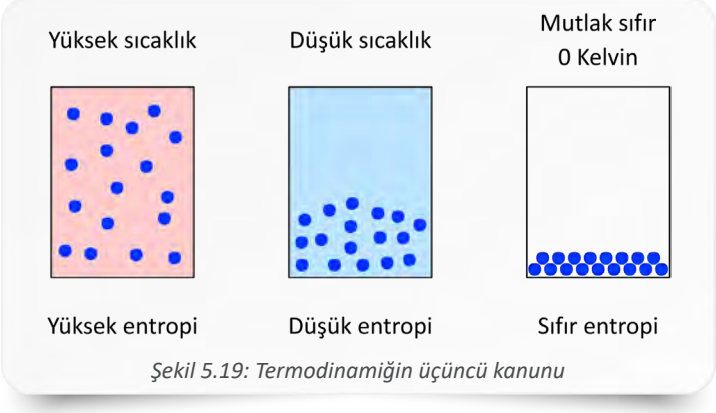
Şekil 5.18: Isı makinesi

Örnek 18: Bir ısı makinesinde gerçekleşen çevrim sırasında çevreye atılan ısı 220 kJ, makineden elde edilen iş ise 30 kJ'dür. Bu bilgilere göre makinenin ısıl verimini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$Q_L = 220$ kJ $W = 30$ kJ $\eta_t = ?$	$W = Q_H - Q_L$ $Q_H = W + Q_L = 220 + 30 = 250$ kJ $\eta_t = \frac{1 - Q_L}{Q_H} = \frac{1 - 220}{250} = 0,12$ **η_t = % 12**

1.8.4. Termodinamiğin Üçüncü Kanunu

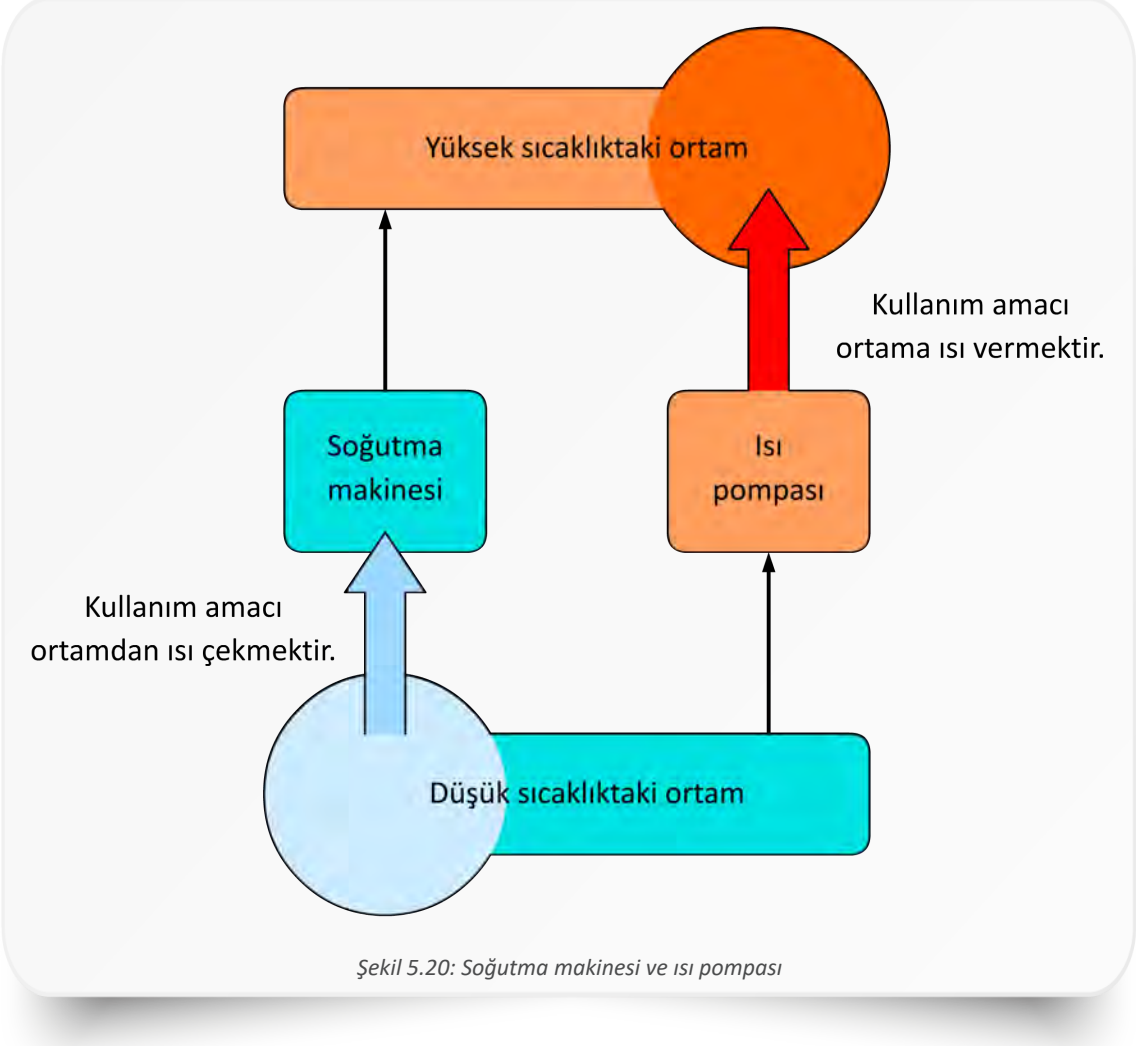
Bu kanun mutlak sıfırda (0 Kelvin) yani evrende mümkün olabilecek en düşük sıcaklıkta entropinin de sıfır olacağını belirtir. Şekil 5.19'da bir sistemin farklı sıcaklıklardaki entropi değişimi, temsili olarak görülmektedir.



Şekil 5.19: Termodinamiğin üçüncü kanunu

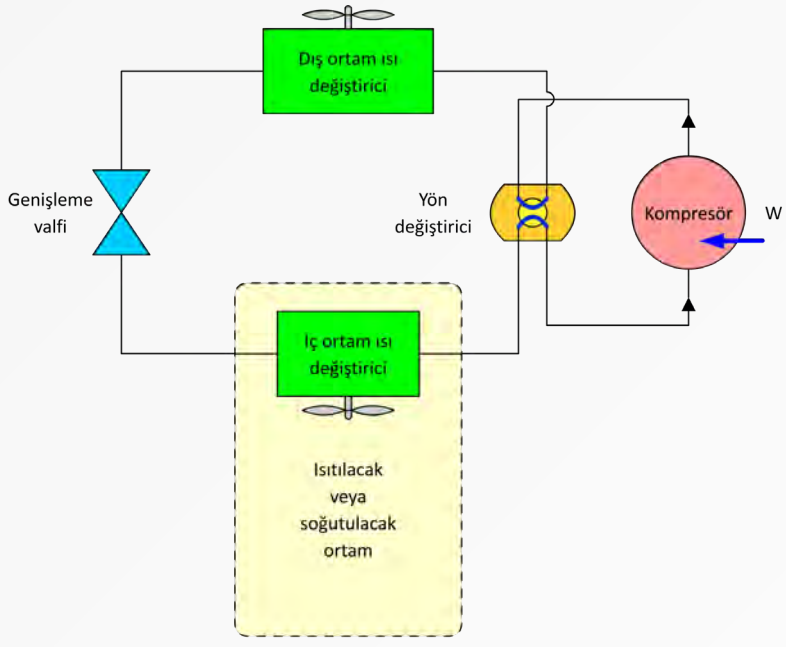
2. SOĞUTMA ÇEVRİMLERİ

Düşük sıcaklıktaki ortamdan yüksek sıcaklıktaki ortama doğru ısı transferini sağlayan makinelerin çevrimlerine **soğutma çevrimleri** denir. Soğutma çevrimlerinde kullanılan akışkana **soğutma akışkanı** denir. Kullanılan soğutma akışkanlarında ucuzluk, uygun ısı aktarım özellikleri, çevreye ve insana zararlı olmama gibi özellikler aranır. Yüksek sıcaklıktaki ortamı ısıtma amacıyla kullanılan cihazlar ısı pompası, düşük sıcaklıktaki ortamı soğutma amacıyla kullanılan cihazlar ise **soğutma makinesi** olarak adlandırılır (Şekil 5.20).



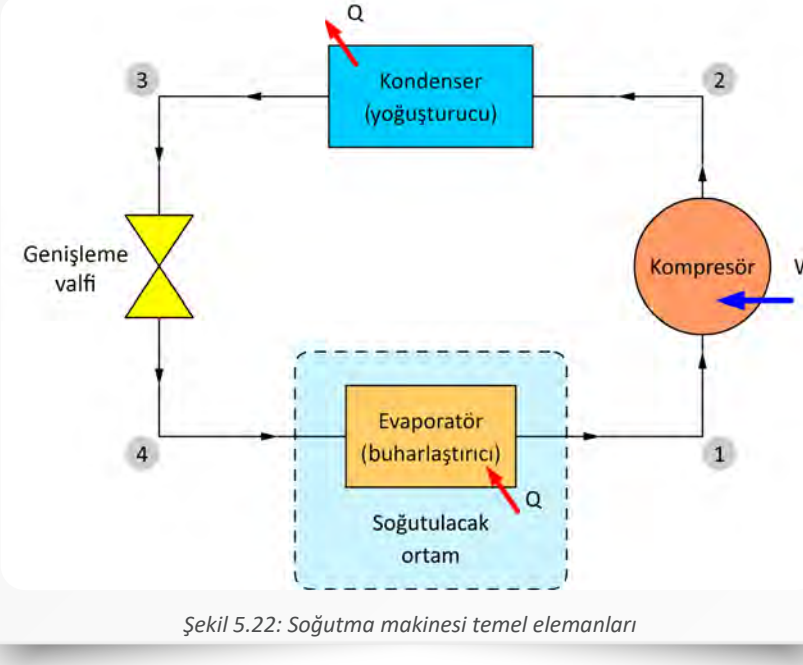
Şekil 5.20: Soğutma makinesi ve ısı pompası

Düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına doğru ısı transferi sağlayarak ısıtma amacıyla kullanılan makinelere **ısı pompası** denir. Genellikle ev ve iş yeri gibi ortamların ısıtılması için kullanılan ısı pompalarının kurulum maliyetleri yüksektir; ancak ısıtma maliyetleri düşüktür. Bu nedenle bu pompalardan uzun vadede ekonomik verim elde edilebilir. Günümüzde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Isı pompaları, soğutma makineleriyle aynı temel elemanlara sahip olduğu için kışın ısıtma yazın da soğutma amacıyla kullanılabilir. Yön değiştirme valfi ile akışkan yönü değiştirilerek kullanım amacı da değiştirilebilir (Şekil 5.21). Isı pompaları enerji kaynağı olarak hava, toprak ve yeraltı sularındaki ısıyı kullanır.



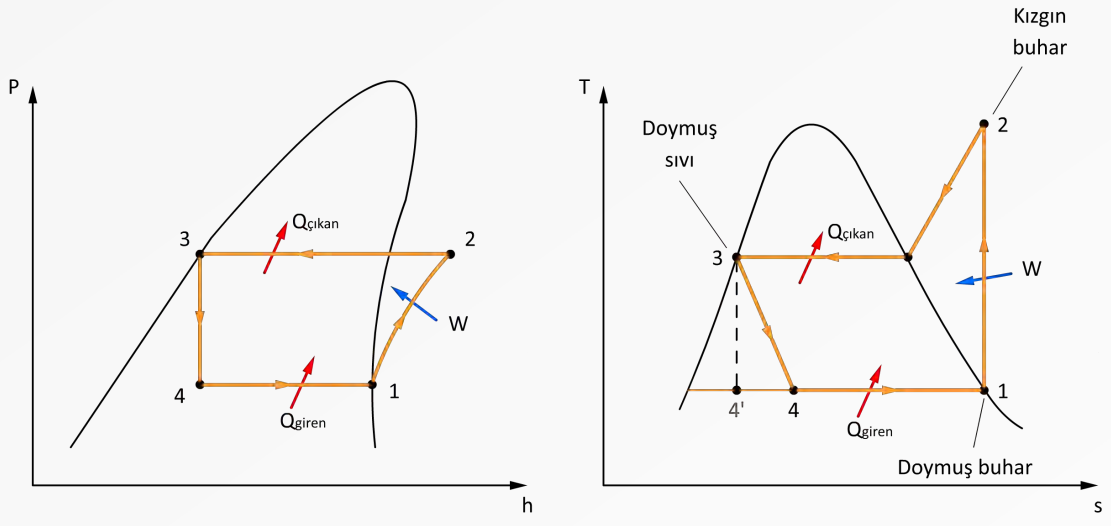
Şekil 5.21: Isı pompası temel elemanları

Amacı ortamdaki ısıyı çekmek olan ve güç makinelerinin tersi prensipte çalışan çevrime **buhar soğutma çevrimleri** denir. En yaygın kullanılan soğutma çevrimidir (Şekil 5.22). Gemilerde yiyeceklerin saklanması, kargo alanlarının ve yaşam mahallerinin soğutulması gibi uygulamalar için kullanılır. Buhar soğutma sisteminin temel elemanları kompresör, kondenser, genişleme valfi ve evaporatörden oluşur.



Şekil 5.22: Soğutma makinesi temel elemanları

Buhar soğutma çevriminin basınç-entalpi (P-h) ve sıcaklık entropi (T-s) diyagramı Şekil 5.23'te görülmektedir.



Şekil 5.23: İdeal buhar soğutma çevrimi P-h, T-s diyagramları

Kompresörde adyabatik sıkıştırma (1→2): Kompresöre doymuş buhar olarak giren soğutucu akışkan sıkıştırılarak kondensere gönderilir. Sıkıştırma sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz. Sıkıştırılan soğutucu akışkanın sıcaklığı yükselir ve ortam sıcaklığının üzerine çıkar. Kompresörler, yapılarına ve tahrik mekanizmalarına göre çeşitlere ayrılır. Soğutma makinesinin türüne ve kapasitesine uygun bir kompresör kullanılır. Kompresörün çalışması için dışardan enerji girişi olmalıdır.

Kondenserde ısı çıkışı (2→3): Kondenser bir çeşit ısı değiştiricidir ve işlevi ısının akışkandan atılmasını sağlamaktır. Kızgın buhar hâlinde kondensere giren soğutucu akışkan, çevreye ısı vererek yoğuşur ve doymuş sıvı hâline gelir. Kondenserden ısı çıkışı sabit basınçta gerçekleşir.

Genişleme valfinde basınç düşürme (3→4): Doymuş sıvı hâlinde kondenserden çıkan soğutucu akışkanın basıncı, evaporatör basıncına kadar düşürülür. Bunun sonucunda akışkanın sıcaklığı, ortam sıcaklığının altına düşer. Bu işlem sabit entalpide gerçekleşir. Küçük sistemlerde kılcal borular, büyük sistemlerde ise mekanik veya otomatik olarak basınç düşürme işlemlerini yapan genişleme valfleri kullanılır.

Evaporatörde ısı girişi (4→1): Evaporatör de bir çeşit ısı değiştiricidir ve amacı akışkana ısı verilmesidir. Genişleme valfinde basıncı düşürülen sıvı hâldeki soğutucu evaporatöre girer ve ortamdan ısı çekerek buharlaşır. Evaporatöre ısı girişi sabit basınçta gerçekleşir. Evaporatörden doymuş buhar hâlinde çıkan soğutucu akışkan tekrar kompresöre girer ve çevrim tamamlanır.

Soğutma makinelerinde çevrimin performansı etkinlik katsayısı [COP_{SM} (coefficient of performance)] ile aşağıdaki şekillerde ifade edilir.

Soğutma hesaplamaları için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

COP_{SM} : Soğutma etkinlik katsayısı
h : Entalpi
q_{giren} : Evaporatörde alınan ısı (birim kütle için)
w_{1-2} : Kompresörün harcadığı iş (birim kütle için)

$$COP_{SM} = \frac{q_{giren}}{w_{1-2}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Isıtma hesaplamaları için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

COP_{IP} : Isıtma etkinlik katsayısı
h : Entalpi
$q_{çıkan}$: Kondenserde atılan ısı (birim kütle için)
w_{1-2} : Kompresörün harcadığı iş (birim kütle için)

$$COP_{IP} = \frac{q_{çıkan}}{w_{1-2}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Örnek 19: Soğutucu akışkan olarak R-134a kullanan teorik buhar soğutma çevrimi 100 kPa evaporatör ile 600 kPa kondenser basıncı arasında çalışmaktadır (Şekil 5.24). Akışkanın debisi 0,07 kg/s olduğuna göre,

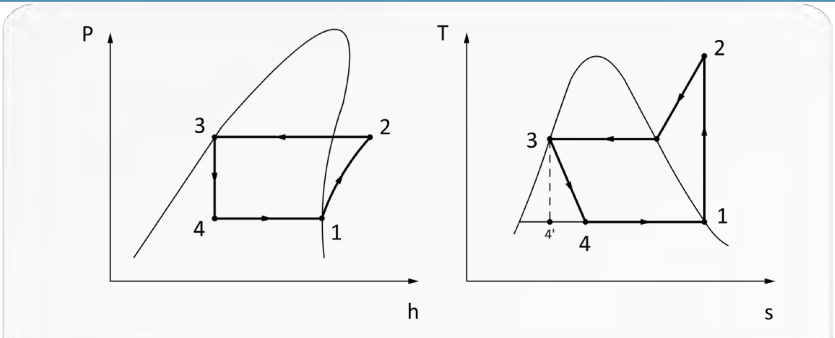
a) Soğutulan ortamdan çekilen ısıyı,
b) Çevreye atılan ısıyı,
c) Kompresörün çalışması için gerekli gücü,
d) Soğutma etkinlik katsayısını,
e) Isı pompası olarak kullanıldığı düşünüldüğünde ısıtma etkinlik katsayısını hesaplayınız.

Basınca göre R-134a değer tablosu aşağıdaki gibidir.

Basınç	h_1 Doymuş buhar (kJ/kg)	h_2 Buhar (kJ/kg)	$h_3 = h_4$ Doymuş sıvı (kJ/kg)
100 kPa	234,44	217,16	17,28
600 kPa	262,40	180,90	81,51

Verilenler:

P_1 = 100 kPa
P_2 = 600 kPa
m = 0,07 kg/s
Q_{giren} = ?
$Q_{çıkan}$ = ?
W_{1-2} = ?
COP_{SM} =?



Şekil 5.24: Teorik buhar soğutma çevrimi T-s diyagramı

Çözüm:

P_1 = 100 kPa için

h_1 = 234,44 kJ/kg

P_2 = 600 kPa için

h_2 = 180,90 kJ/kg

$P_2 = P_3$ = 600 kPa için

$h_3 = h_4$ = 81,51 kJ/kg

a)

$Q_{giren} = m \cdot (h_1 - h_4) = 0,07 \cdot (234,44 - 81,51) = 10,70$ kW

Q_{giren} = 10,70 kW

b)

$Q_{çıkan} = m \cdot (h_2 - h_3) = 0,07 \cdot (180,90 - 81,51) = 6,95$ kW

$Q_{çıkan}$ = 6,95 kW

c)

$W_{1-2} = m \cdot (h_2 - h_1) = 0,07 \cdot (180,90 - 234,44) = -3,75$ kW

W_{1-2} = 3,75 kW

d)

$$COP_{SM} = \frac{q_{giren}}{w_{1-2}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{234,44 - 81,51}{180,90 - 234,44} = -2,85$$

COP_{SM} = 2,85

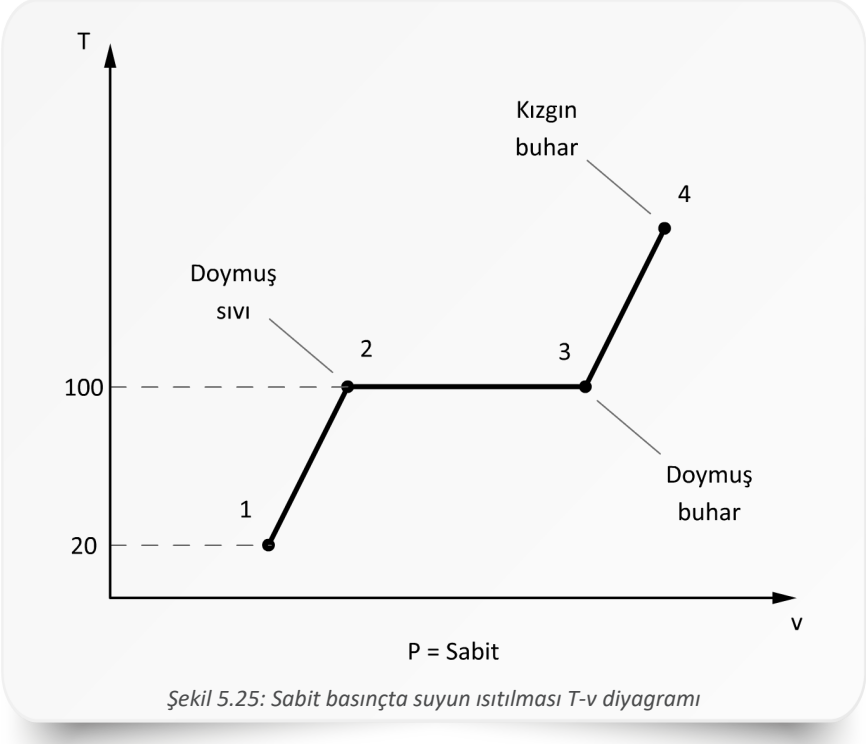
e)

$$COP_{IP} = \frac{q_{çıkan}}{w_{1-2}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} = \frac{180,90 - 81,51}{180,90 - 234,44} = -1,85$$

COP_{IP} = 1,85

3. BUHAR ÇEVRİMLERİ

Bu çevrimlerde çalışma akışkanı, buhar (gaz) ve sıvı hâllerde bulunur. Kolay bulunabilme, buharlaşabilme ve ucuzluk gibi özelliklerinden dolayı çalışma akışkanı olarak genelde saf madde olduğu varsayılan su kullanılır. Kullanılan tüm çalışma akışkanları genelde aynı özellikleri gösterir. Suyun sabit basınçta ısıtılmasıyla elde edilen hâl diyagramı (T-v) Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.25: Sabit basınçta suyun ısıtılması T-v diyagramı

1→2: Suyu doymuş hâle getirme evresidir ve bu evrede suya **sıkıştırılmış su** denir.

2→: Bu noktada su, buharlaşmanın sınırındadır ve **doymuş su** olarak adlandırılır.

2→3: Doymuş suyu doymuş buhar hâline getirme evresidir.

3→: Bu noktada buhar, yoğuşmanın sınırındadır ve **doymuş buhar** olarak adlandırılır.

3→4: Doymuş buharı kızgın buhar hâline getirme evresidir, kuruluk derecesine göre kızgın buhar olarak adlandırılabilir.

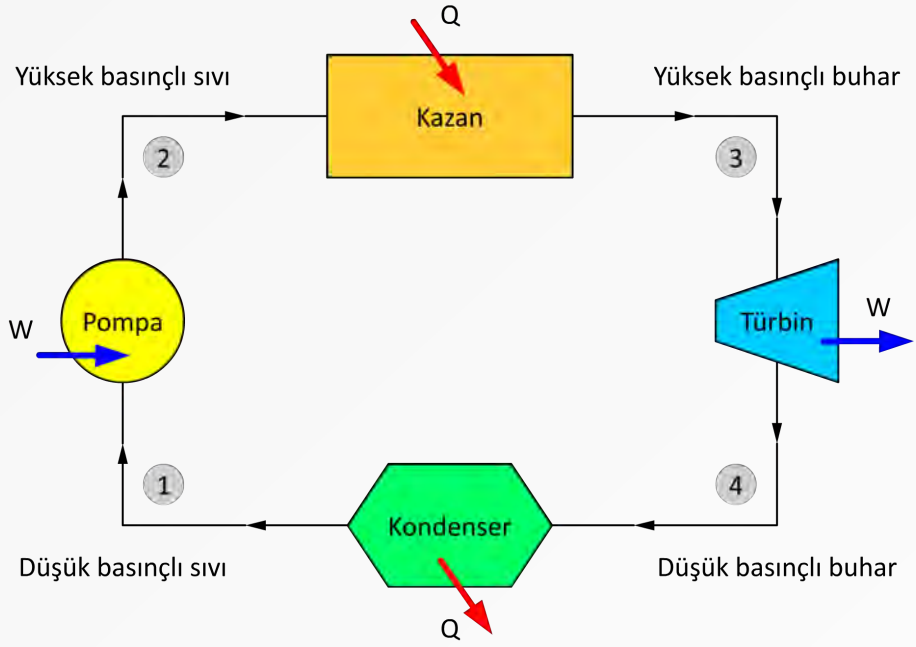
4→: Bu noktada buharın kuruluk derecesi yüksektir ve **kızgın buhar** olarak adlandırılır.

3.1. Carnot Buhar Çevrimi

Yüksek ve düşük sıcaklık kaynağı arasında çalışan en yüksek verimli çevrim, Carnot çevrimidir. Fakat buhar güç çevrimlerinde çalışma akışkanının sıvı ve buhar olmak üzere iki hâlde bulunması Carnot çevriminin uygulamasında birçok zorluk oluşturur. Bu durum da Carnot çevrimini buharlı güç çevrimleri için uygun teorik model olmaktan çıkarır.

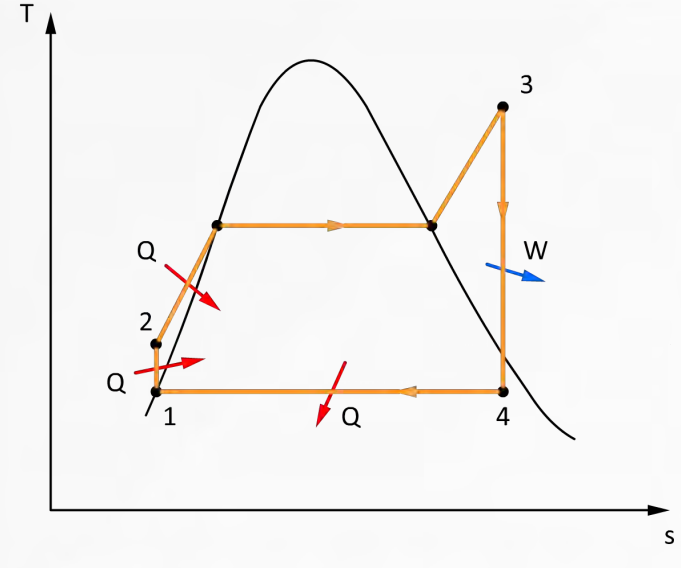
3.2. Rankine Çevrimi

Şekil 5.26'da şematik olarak gösterilen Rankine çevrimi, buharlı güç santrallerinin ideal çevrimidir. Gerçekte suyun buharlaştırılması için gereken ısı kömür, doğalgaz ve nükleer enerji gibi çeşitli yakıtlardan elde edilebilir.



Şekil 5.26: Rankine çevrimi temel elemanları

Rankine çevriminin T-s diyagramı Şekil 5.27'de görülmektedir.



Şekil 5.27: Rankine çevrimi T-s diyagramı

Pompada adyabatik sıkıştırma (1→2): Doymuş sıvı hâldeki çalışma akışkanı, kazana iletilmek üzere pompada kazan basıncına kadar sıkıştırılır. Sıkıştırma sırasında çok az da olsa özgül hacim azaldığından sıcaklık bir miktar yükselir. Sıkıştırma sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz. Çalışabilmesi için pompaya dışarıdan bir güç aktarımı gerekir. Pompaya verilen işle ilgili hesaplamalarda aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

w_{pompa} : Pompaya verilen iş (J) h : Entalpi P_1 : Pompa giriş basıncı P_2 : Pompa çıkış basıncı v : Özgül hacim	$q = 0$ $w_{pompa} = h_2 - h_1$ veya $w_{pompa} = v \cdot (P_2 - P_1)$

Kazanda ısı girişi (2→3): Kazanda suya sabit basınçta ısı girişi olur ve sıkıştırılmış sıvı yüksek basınçlı kızgın buhar hâline getirilerek türbine gönderilir. Kazan, buhar üreticisi olarak da adlandırılan bir ısı değiştiricidir. Isı girişi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

q_{giren} : Kazana ısı girişi h : Entalpi	$w = 0$ $q_{giren} = h_3 - h_2$

Türbinde adyabatik genişleme (3→4): Yüksek basınçlı kızgın buhar, türbinde genişlerken türbine hareket vererek iş elde edilmesini sağlar. Genişleme sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz. Buharın basıncı ve sıcaklığı azalır.

$w_{türbin}$: Türbinin yaptığı iş (J) h : Entalpi	$q = 0$ $w_{türbin} = h_3 - h_4$

Kondenserde ısının çıkışı (4→1): Isı, sabit basınçta kondenserde atılır; çalışma akışkanı tekrar düşük basınçlı sıvı hâline getirilir ve pompaya gönderilerek çevrim tamamlanır. Isı çıkışı aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$q_{çıkan}$: Kondenserde atılan ısı h : Entalpi	$w = 0$ $q_{çıkan} = h_4 - h_1$

Rankine çevrimi T-s diyagramında 2-3 eğrisi altındaki alan suya ısı girişini, 4-1 eğrisi altındaki alan da buhardan ısı çıkışını gösterir (Şekil 5.27). İki alan arasındaki fark yani çevrim eğrisinin alanı da yapılan net işi verir.

Rankine çevriminin ısıl verimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$\eta_{Rankine}$: Rankine çevrimi ısıl verimi W_{net} : Sistemin yaptığı iş (J) q_{giren} : Sisteme giren ısı (J) $q_{çıkan}$: Sistemden çıkan ısı (J)	$w_{net} = w_{türbin} - w_{pompa} = q_{giren} - q_{çıkan}$ $\eta_{Rankine} = \frac{w_{net}}{q_{giren}} = 1 - \frac{q_{çıkan}}{q_{giren}}$

Örnek 20: İdeal Rankine çevrimine göre çalışan buharlı bir güç santrali 500 kJ iş üretmektedir. Bu güç santrali %30 ısıl verimle çalıştığında sistemden kaç kJ ısı çıkışı olur?

Verilenler:	**Çözüm:**
$W_{net} = 500$ kJ	$\eta_{Rankine} = \frac{w_{net}}{q_{giren}}$
$\eta_{Rankine} = \%30$	$q_{giren} = \frac{500}{0,30} = 1666,6$ kJ
$Q_{çıkan} = ?$	$W_{net} = Q_{giren} - Q_{çıkan}$
	$Q_{çıkan} = Q_{giren} - W_{net} = 1666,6 - 500 = 1166,6$
	$Q_{çıkan} = 1166,6$ kJ

Örnek 21: İdeal Rankine çevrimine göre çalışan buharlı bir güç santralinde türbine 2000 kPa basınçta ve 350 °C sıcaklıkta giren çalışma akışkanı kondenserde 50 kPa basınçta yoğuşmaktadır (Şekil 5.28). Yapılan net işi ve çevrimin ısıl verimini hesaplayınız.

Soruda verilen şartlar için su ve su buharı tablolarından elde edilen aşağıdaki değerler kullanılacaktır.

v_1 = 0,001030 m^3/kg, **h_1** = 340,54 kJ/kg, **h_2** = 342,54 kJ/kg, **h_3** = 3137,7 kJ/kg, **h_4** = 2420,22 kJ/kg

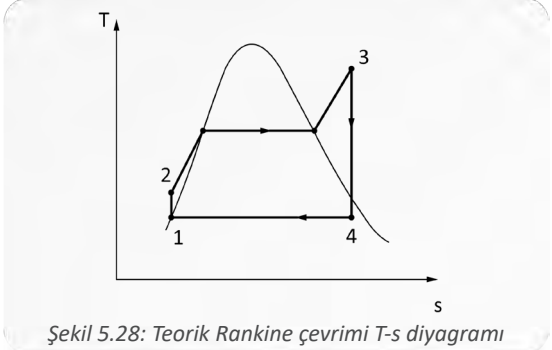
Verilenler:

$P_1 = 50$ kPa

$P_2 = 2000$ kPa

$P_2 = P_3 = 2000$ kPa

$T_3 = 350$ °C



Şekil 5.28: Teorik Rankine çevrimi T-s diyagramı

Çözüm:

$w_{pompa} = v \cdot (P_2 - P_1) = 0,001030 \cdot (2000 - 50) = 2,008$ kJ/kg

$w_{pompa} = 2,008$ kJ/kg

$w_{türbin} = h_3 - h_4 = 3137,7 - 2420,22 = 717,48$ kJ/kg

$w_{türbin} = 717,48$ kJ/kg

$w_{net} = w_{türbin} - w_{pompa} = 717,48 - 2,008 = 715,472$ kJ/kg

$w_{net} = 715,472$ kJ/kg

$q_{giren} = h_3 - h_2 = 3137,7 - 342,54 = 2795,16$ kJ/kg

$q_{giren} = 2795,16$ kJ/kg

$q_{çıkan} = h_4 - h_1 = 2420,22 - 340,54 = 2079,68$ kJ/kg

$q_{çıkan} = 2079,68$ kJ/kg

$\eta_{Rankine} = 1 - \frac{q_{çıkan}}{q_{giren}} = 1 - \frac{2079,68}{2795,16} = 0,25$

$\eta_{Rankine} = \%25$

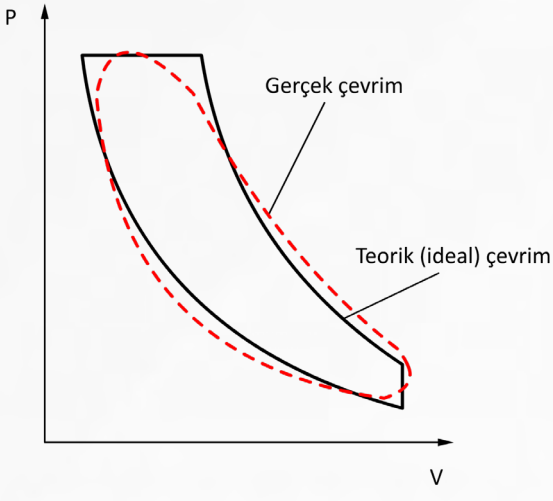
4. GAZ ÇEVRİMLERİ

Termodinamiğin önemli alanlarından biri olan güç üretimi, genellikle motor olarak adlandırılan ve bir çevrime göre çalışan sistemler tarafından gerçekleştirilir. Çalışma akışkanı gaz veya buhar olan ve sonunda güç elde edilen çevrimlere **güç çevrimi** denir.

4.1. Gaz Güç Çevrimleri

Çalışma akışkanı olarak çevrimin her evresinde gaz kullanan ve güç üreten ısı makinelerinin çalışma sistemini gösteren çevrimlerdir. Gaz güç çevrimleri içten yanmalı motorlarda, gaz türbinlerinde ve çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılır.

Silindir içinde çok fazla değişken ve olay olduğu için gerçek motor çevrimlerinin incelenmesi zordur. Bu nedenle termodinamik incelemelerin ve hesaplamaların daha kolay yapılabilmesi için teorik (ideal) çevrimlerden yararlanılır. Teorik çevrimler, gerçek çevrimlere göre daha az hassas olduğu için analiz ve hesaplamaları kolaylaştırır (Şekil 5.29).

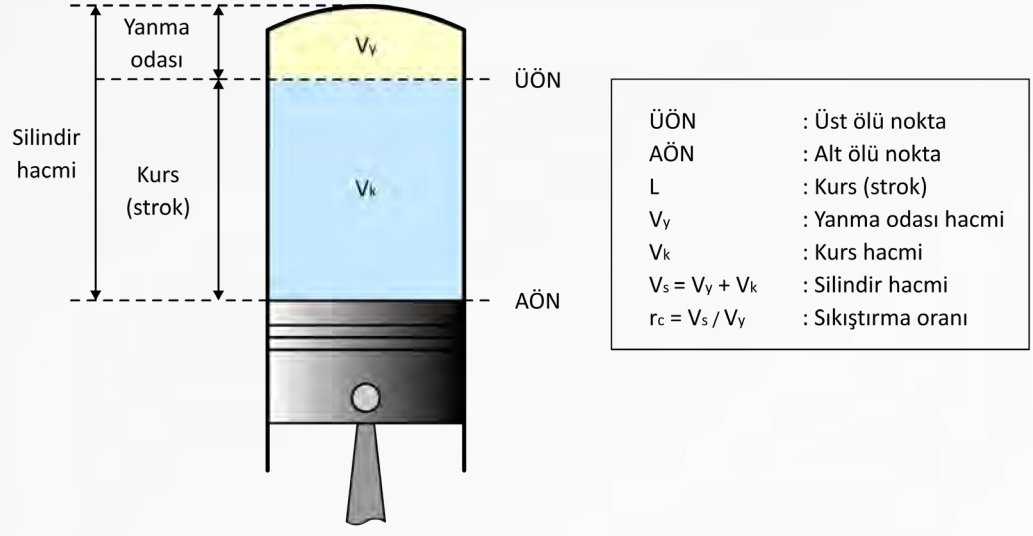


Şekil 5.29: Gerçek ve teorik çevrimin karşılaştırılması

Teorik gaz güç çevrimleri incelenirken aşağıda belirtilen kabullerin yapılması gerekir. Bu kabuller birçok karmaşık sistemi basitleştirip çözülebilir hâle getirir.

- Çalışma akışkanı olarak ideal gaz özelliklerine sahip hava kullanılır.
- Çalışma akışkanının kütlesi sabittir. Çevrim kapalı sistemde gerçekleşir, silindir içerisine giriş ve çıkış yoktur.
- Yanma işlemi yerine dış kaynaktan ısı girişi olduğu varsayılır.
- Egzoz işlemi yerine dış kaynağa ısı çıkışı olduğu varsayılır.
- Sürtünme ihmal edilir.
- Sıkıştırma ve genişleme işlemleri adyabatik olarak meydana gelir, çevreyle ısı alışverişi yoktur.
- Adyabatik hâl değişimlerinde k = 1,4 sabittir.

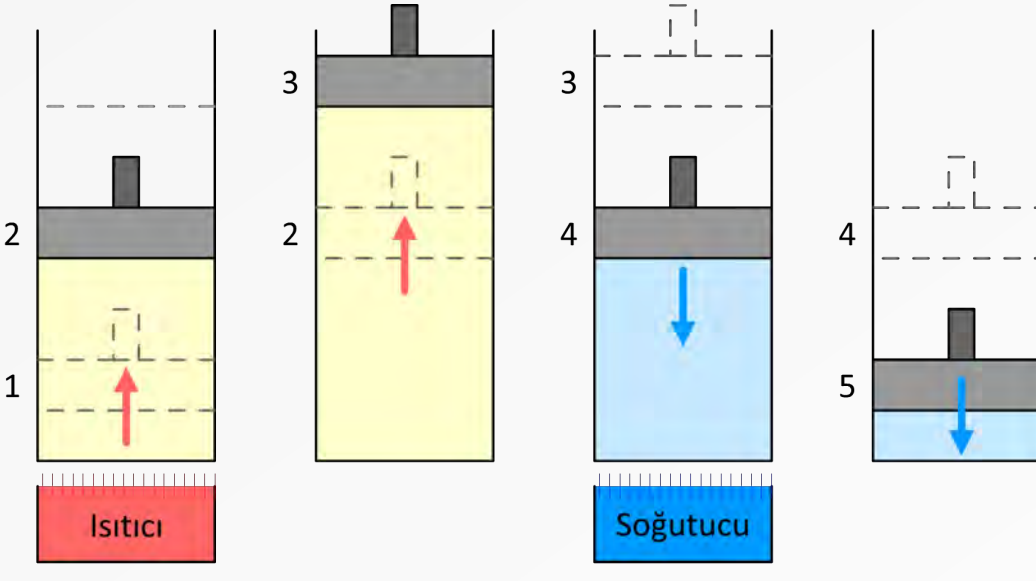
Gaz güç çevrimlerinin gerçekleştiği içten yanmalı motorlarda kullanılan temel kavramlar Şekil 5.30'da gösterilmiştir.



Şekil 5.30: İçten yanmalı motorlarda temel kavramlar

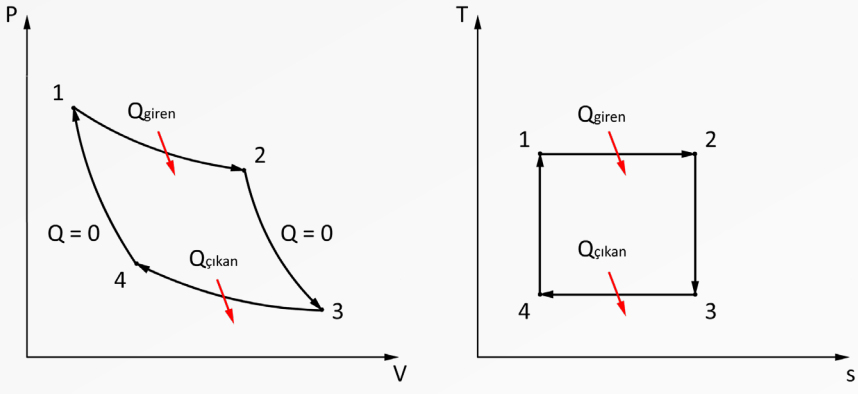
4.1.1. Carnot Güç Çevrimi

Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağı ile düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı arasında en yüksek verimle çalışan teorik ısı makinesi çevrimidir (Şekil 5.31). Carnot çevriminden daha yüksek verime sahip bir çevrim geliştirilemez.



Şekil 5.31: Carnot makinesi

Tersinir işlemler kullanan ideal bir ısı makinesinin çalışmasını açıklayan Carnot çevriminin gerçekte uygulaması yoktur. Çevrimin P-V ve T-s diyagramları Şekil 5.32'de görülmektedir.



Şekil 5.32: Carnot çevrimi P-V, T-s diyagramı

İzotermal genişleme (1→2): Isı, yüksek sıcaklık ısı kaynağından silindire aktarılır. Piston, sabit sıcaklıkta AÖN'ye doğru itilir ve hacim artar.

Adyabatik genişleme (2→3): Piston, hacim artışıyla AÖN'ye doğru ilerlemeye devam eder. Silindir tamamen yalıtılmıştır ve ısı alışverişi yoktur.

İzotermal sıkıştırma (3→4): Isı, düşük sıcaklık kaynağına aktarılır. Piston, sabit sıcaklıkta ÜÖN'ye doğru çıkar, gaz sıkıştırılır ve hacim azalır.

Adyabatik sıkıştırma (4→1): Silindir tamamen yalıtılmıştır ve ısı alışverişi yoktur. Piston, ÜÖN'ye doğru ilerleyerek sıkıştırmaya devam eder. İlk basınç, hacim ve sıcaklığa ulaştığında çevrim tamamlanır.

Carnot çevriminin ısıl verimi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

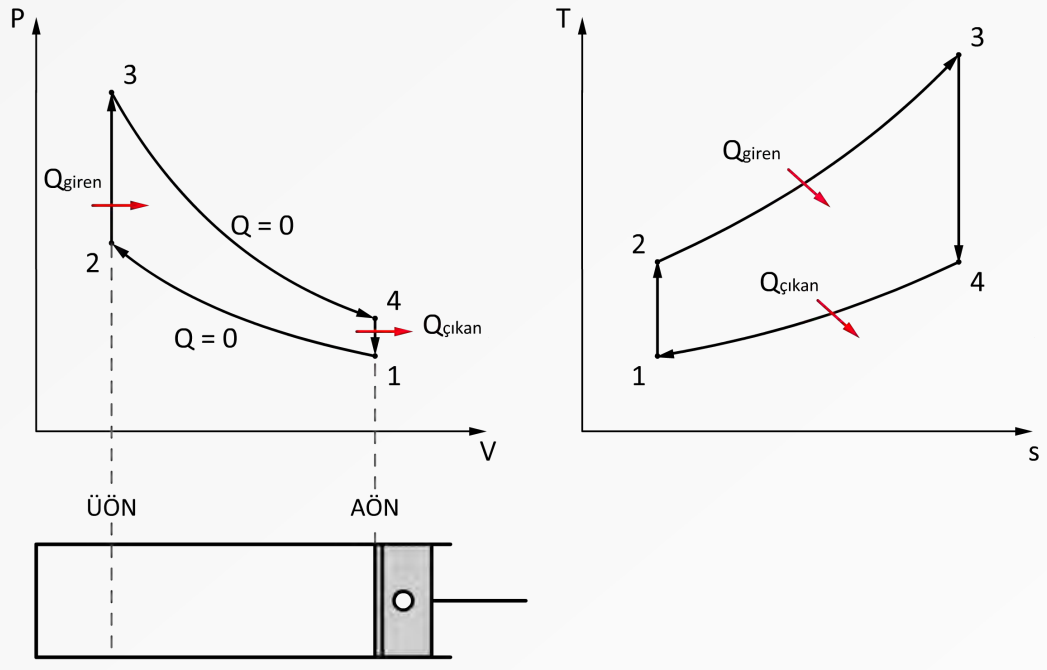
η_{Carnot} : Isıl verim T_H : Yüksek sıcaklık ısı kaynağının sıcaklığı (K) T_L : Düşük sıcaklık ısı kaynağının sıcaklığı (K)	$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

Örnek 22: Bir Carnot ısı makinesi, sıcaklıkları 500 K ve 200 K olan ısı kaynakları arasında çalışmaktadır. Isı makinesinin ürettiği iş 20 kJ ise ısı kaynaklarından alınan ve verilen ısı geçişlerini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**	
$T_H = 500$ K $T_L = 200$ K $W_{net} = 20$ kJ $Q_{giren} = ?$ $Q_{çıkan} = ?$	$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{200}{500}$ $\eta_{Carnot} = 0,60$ $\eta_t = \frac{W_{net}}{Q_{giren}}$	$Q_{giren} = \frac{W_{net}}{n_t} = \frac{20}{0,60} = 33,3$ kJ **$Q_{giren} = 33,3$ kJ** $W_{net} = Q_{giren} - Q_{çıkan}$ $Q_{çıkan} = Q_{giren} - W_{net} = 33,3 - 20 = 13,3$kJ **$Q_{çıkan} = 13,3$ kJ**

4.1.2. Otto Çevrimi

Otto çevrimi, buji ateşlemeli pistonlu motorların teorik çevrimidir. Teorik Otto çevrimi dört evreden meydana gelir. Isı giriş çıkışının olduğu hâl değişimleri, sabit hacimde gerçekleştiği için bu hâl değişimleri sırasında iş gerçekleşmez. Şekil 5.33'te teorik Otto çevriminin P-V, T-s diyagramı görülmektedir.



Şekil 5.33: Teorik Otto çevrimi P-V, T-s diyagramı

Adyabatik sıkıştırma (1→2): Piston AÖN'den ÜÖN'ye giderken silindir içindeki havayı sıkıştırır. Sıkışan havanın hacmi azalırken basıncı ve sıcaklığı artar. Çevreyle ısı alışverişi yoktur. Sıkıştırma sırasında hacim değişim oranına **sıkıştırma oranı** denir. Otto çevriminde sıkıştırma oranı aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

r_c : Sıkıştırma oranı V_1 : 1 noktasındaki hacim (silindir hacmi) V_2 : 2 noktasındaki hacim (yanma odası hacmi)	$r_c = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$

Sabit hacimde ısı girişi (2→3): Piston ÜÖN'deyken sisteme sabit hacimde ısı girişi gerçekleşir ve basınç ani olarak artar. Sabit hacimde ısı girişinde basınç artış oranı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

r_p : Basınç artış oranı P_3 : 3 noktasındaki basınç P_2 : 2 noktasındaki basınç	$r_p = \frac{P_3}{P_2}$

Adyabatik genişleme (3→4): Gücün ortaya çıktığı evredir ve piston ÜÖN'den AÖN'ye doğru hareket eder. Genişleme sırasında çevreyle ısı alışverişi yoktur.

Sabit hacimde ısı çıkışı (4→1): Piston AÖN'ye geldiğinde ısı sistemden sabit hacimde atılır ve çevrim tamamlanmış olur.

Otto çevriminde hâl değişimleri için aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

Adyabatik sıkıştırma	Sabit hacimde ısı girişi	Adyabatik genişleme	Sabit hacimde ısı çıkışı
1→2	**2→3**	**3→4**	**4→1**
$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = r_c^k$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r_c^{(k-1)}$	$V_2 = V_3$ $\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3}$	$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^k = r_c^k$ $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = \frac{1}{r_c^{(k-1)}}$	$V_4 = V_1$ $\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$

Otto çevriminin ısıl verimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_{otto} : Otto çevrimi ısıl verimi r_c : Sıkıştırma oranı k : Adyabatik üs	$\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}}$

Bağıntıdan da anlaşılacağı gibi Otto çevriminde ısıl verim, sıkıştırma oranına bağlıdır. Sıkıştırma oranı artarsa ısıl verim de artar.

Örnek 23: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 7/1'dir. Bu motorun ısıl verimini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$r_c = 7$ $k = 1,4$	$\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}}$ $\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{7^{(1,4-1)}} = 0,54$ **η_{otto} = %54**

Örnek 24: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 10/1'dir. Adyabatik sıkıştırma başlangıcında hava basıncı 140 kPa ve sıcaklığı 280 K'dir. Adyabatik sıkıştırma sonunda havanın basınç ve sıcaklık değerini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$r_c = 10$	$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$
$k = 1,4$	$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 140 \cdot 10^{1,4} = 3516$ kPa
$P_1 = 140$ kPa	$P_2 = 3516$ kPa
$T_1 = 280$ K	$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$
$P_2 = ?$	$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 280 \cdot 10^{(1,4-1)} = 703$ K
$T_2 = ?$	**$T_2 = 703$ K**

Örnek 25: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sabit hacimde ısı girişi başlangıcında havanın basıncı 3800 kPa, sabit hacimde ısı girişi sonunda 6500 kPa ve sıkıştırma sonu sıcaklığı 700 K'dir. Bu motorun basınç artış oranı ve sabit hacimde ısı girişi sonu sıcaklığını hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$P_2 = 3800$ kPa	$r_p = \frac{P_3}{P_2} = \frac{6500}{3800} = 1,71$
$P_3 = 6500$ kPa	**$r_p = 1,71$**
$T_2 = 700$ K	$r_p = \frac{T_3}{T_2}$
$r_p = ?$	$T_3 = r_p \cdot T_2 = 1,71 \cdot 700 = 1197$ K
$T_3 = ?$	**$T_3 = 1197$ K**

Örnek 26: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 8/1'dir. Adyabatik genişleme başlangıcında hava basıncı 4500 kPa ve sıcaklığı 1500 K'dir. Adyabatik genişleme sonunda havanın basınç ve sıcaklık değerini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$r_c = 8$	$\frac{P_3}{P_4} = r_c^k$
$k = 1,4$	$P_4 = \frac{P_3}{r_c^k} = \frac{4500}{8^{1,4}} = 245$ kPa
$P_3 = 4500$ kPa	**$P_4 = 245$ kPa**
$T_3 = 1500$ K	**$T_4 = \frac{T_3}{r_c^{(k-1)}} = \frac{1500}{8^{(1,4-1)}} = 653$ K**
$P_4 = ?$	**$T_4 = 653$ K**
$T_4 = ?$	

Örnek 27: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 8/1'dir (Şekil 5.34). Adyabatik sıkıştırma başlangıcında hava basıncı 100 kPa, sıcaklığı 290 K ve basınç artış oranı 3 olduğuna göre aşağıdaki basınç ve sıcaklık tablosunu doldurunuz.

	1	2	3	4
P (kPa)				
T (K)				

Verilenler:

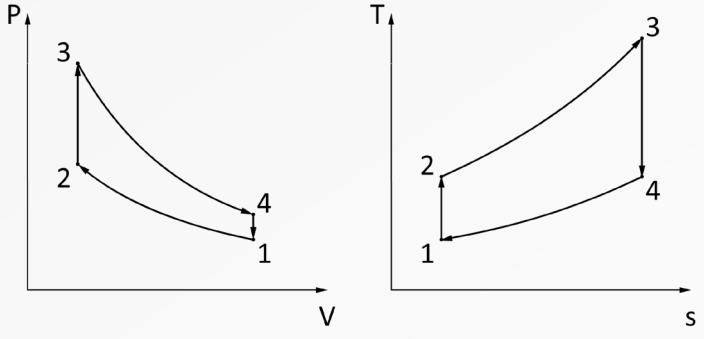
$r_c = 8$

$r_p = 3$

$k = 1,4$

$P_1 = 100$ kPa

$T_1 = 290$ K



Şekil 5.34: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun P-V, T-s diyagramı

Çözüm:

1-2 adyabatik sıkıştırma:

$$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$$

$$P_2 = P1 \cdot r_c^k = 100 \cdot 8^{1,4} = 1838 \text{ kPa}$$

P_2 = 1838 kPa

$$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$$

$$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 290 \cdot 8^{(1,4-1)} = 666 \text{ K}$$

$T_2 = 666$ K

2-3 sabit hacimde ısı girişi:

$$r_p = \frac{T_3}{T_2}$$

$$T_3 = r_p \cdot T_2 = 3 \cdot 666 = 1998 \text{ K}$$

T_3 = 1998 K

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3}$$

$$P_3 = \frac{T_3 \cdot P_2}{T_2} = \frac{1998 \cdot 1838}{666} = 5514 \text{ kPa}$$

P_3 = 5514 kPa

3-4 adyabatik genişleme:

$$\frac{P_3}{P_4} = r_c^k$$

$$P_4 = \frac{P_3}{r_c^k} = \frac{5514}{8^{1,4}} = 300 \text{ kPa}$$

P_4 = 300 kPa

4-1 sabit hacimde ısı çıkışı:

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$$

$$T_4 = \frac{P_4 \cdot T_1}{P_1} = \frac{300 \cdot 290}{100} = 870 \text{ K}$$

T_4 = 870 K

Örnek 28: Teorik Otto çevrimine göre çalışan 2 stroklu, 4 silindirli, silindir çapı 120 mm, kurs boyu 200 mm, sıkıştırma oranı 10/1, adyabatik sıkıştırma başlangıcında havanın basıncı 90 kPa ve sıcaklığı 15 °C olan bir motorun basınç artış oranı 1,7'dir.

a) Bu motorun hâl değişim noktalarındaki (Şekil 5.35) basınç, sıcaklık ve hacimlerini hesaplayarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

	1	2	3	4
P (kPa)				
T (K)				
V (m³)				

b) Çevrimin verimini hesaplayınız.

c) Çevrimin net işini hesaplayınız.

(c_p = 1,005 kJ/kg.K, c_v = 0,718 kJ/kg.K, k = 1,4, R = 0,287 kJ/kg.K)

Verilenler:

2 stroklu

Z = 4

D = 120 mm = 0,12 m

L = 200 mm = 0,2 m

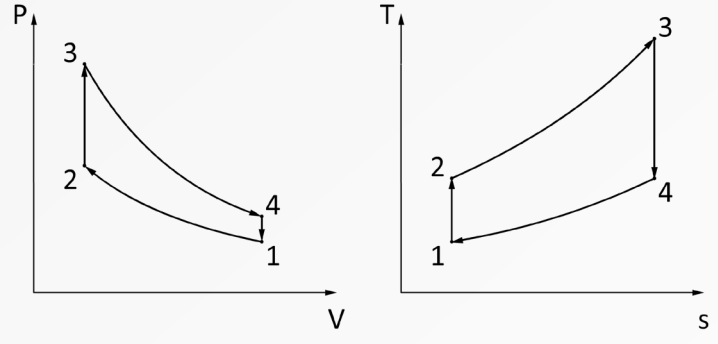
r_c = 10

r_p = 1,7

P_1 = 90 kPa

T_1 = 15 °C = 273 + 15 = 288 K

n = 2000 devir/dk.



Şekil 5.35: Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun P-V, T-s diyagramı

Çözüm:

a)

$V_2 = V_3 = V_y$ = Yanma odası hacmi

$V_1 = V_4 = V_s$ = Silindir hacmi

$V_s - V_y = V_k$ = Kurs hacmi

$$V_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}12^2}{4} \cdot 0{,}2$$

V_k = 0,0022 m³

$$r_c = \frac{V_s}{V_y} = \frac{V_y + V_k}{V_y} = 1 + \frac{V_k}{V_y}$$

$$V_y = \frac{V_k}{r_c - 1} = \frac{0{,}0022}{10 - 1} = 0{,}00025 \text{ m}^3$$

$V_y = V_2 = V_3$ = 0,00025 m³

$V_s = V_k + V_y$ = 0,0022 + 0,00025 = 0,00245 m³

$V_s = V_4 = V_1$ = 0,00245 m³

1-2 adyabatik sıkıştırma:

$$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$$

$$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 90 \cdot 10^{1,4} = 2260 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 2260 \text{ kPa}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$$

$$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 288 \cdot 10^{(1,4-1)} = 723 \text{ K}$$

T2 = 723 K

2-3 sabit hacimde ısı girişi:

$$r_p = \frac{T_3}{T_2}$$

$$T_3 = r_p \cdot T_2 = 1,7 \cdot 723 = 1229 \text{ K}$$

T_3 = 1229 K

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3}$$

$$P_3 = \frac{T_3 \cdot P_2}{T_2} = \frac{1229 \cdot 2260}{723} = 3841 \text{ kPa}$$

P_3 = 3841 kPa

3-4 adyabatik genişleme:

$$\frac{P_3}{P_4} = r_c^k$$

$$P_4 = \frac{P_3}{r_c^k} = \frac{3841}{10^{1,4}} = 152 \text{ kPa}$$

P_4 = 152 kPa

4-1 sabit hacimde ısı çıkışı:

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$$

$$T_4 = \frac{P_4 \cdot T_1}{P_1} = \frac{152 \cdot 288}{90} = 486 \text{ K}$$

T_4 = 486 K

b)

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}} = 1 - \frac{1}{10^{(1,4-1)}} = 0,60$$

η_{otto} = % 60

c)

$$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$$

$$m = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{90 \cdot 0,00245}{0,287 \cdot 288} = 0,0026 \text{ kg}$$

m = 0,0026 kg

$Q_{giren} = m \cdot c_v (T_3 - T_2) = 0,0026 \cdot 0,718 \cdot (1229 - 723) = 0,944$ kJ

Q_{giren} = 0,944 kJ

$Q_{çıkan} = m \cdot c_v (T_4 - T_1) = 0,0026 \cdot 0,718 \cdot (486 - 288) = 0,369$ kJ

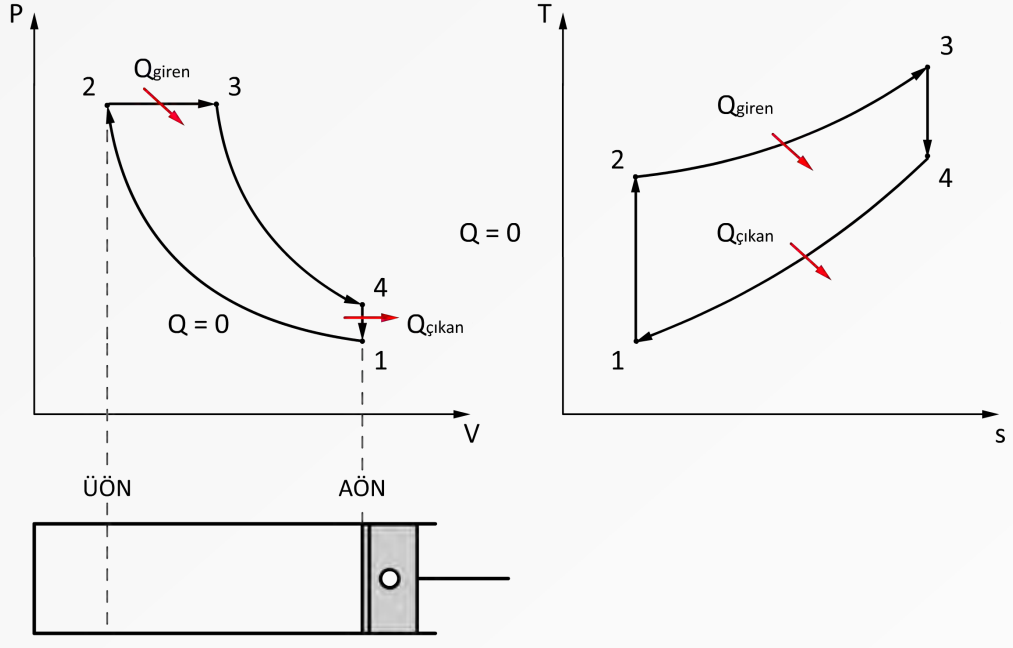
$Q_{çıkan}$ = 0,369 kJ

$W_i = Q_{giren} - Q_{çıkan} = 0,944 - 0,369 = 0,575$ kJ

W_i = 0,575 kJ

4.1.3. Dizel Çevrimi

Dizel çevrimi, ilk sıkıştırmayla ateşlemeli pistonlu motorlarda kullanılan çevrimdir. Günümüzde uygulaması kalmamasına rağmen dizel motorların temelini oluşturur. Teorik dizel çevrimi dört evreden meydana gelir (Şekil 5.36).



Şekil 5.36: Teorik Dizel çevrimi P-V, T-s diyagramı

Adyabatik sıkıştırma (1→2): Piston, AÖN'den ÜÖN'ye giderken silindir içindeki havayı sıkıştırır. Sıkışan havanın hacmi azalırken basıncı ve sıcaklığı artar. Sıkıştırma sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz. Dizel çevriminde sıkıştırma oranı aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

r_c : Sıkıştırma oranı

V_1 : 1 noktasındaki hacim (silindir hacmi)

V_2 : 2 noktasındaki hacim (yanma odası hacmi)

$$r_c = \frac{V_1}{V_2}$$

Sabit basınçta ısı girişi (2→3): Piston ÜÖN'den 3 noktasına giderken sisteme sabit basınçta ısı girişi gerçekleşir ve hacim artar. Dizel çevrimde sabit basınçta hacim değişimi oranına **kesme oranı** denir. Aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

r_v : Kesme oranı

V_3 : 3 noktasındaki hacim

V_2 : 2 noktasındaki hacim (yanma odası hacmi)

$$r_v = \frac{V_3}{V_2}$$

Adyabatik genişleme (3→4): 3 noktasında adyabatik genişleme başlar ve piston AÖN'ye doğru itilir. Genişleme sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz.

Sabit hacimde ısı çıkışı (4→1): Piston AÖN'ye geldiğinde sabit hacimde ısı sistemden atılır ve çevrim tamamlanmış olur.

Dizel çevriminde hâl değişimleri için aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

Adyabatik sıkıştırma	Sabit basınçta ısı girişi	Adyabatik genişleme	Sabit hacimde ısı çıkışı
1→2	**2→3**	**3→4**	**4→1**
$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = r_c^k$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r_c^{(k-1)}$	$P_2 = P_3$ $\frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} = r_v$	$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^k$ $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$	$V_4 = V_1$ $\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$

Dizel çevriminin ısıl verimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_{dizel} : Dizel çevrimi ısıl verimi r_v : Kesme oranı r_c : Sıkıştırma oranı	$\eta_{dizel} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}}\left[\frac{(r_v^k - 1)}{k \cdot (r_v - 1)}\right]$

Aynı değerde sıkıştırma oranı için Dizel çevriminin verimi Otto çevriminin veriminden daha düşüktür. Uygulamada ise daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabildiği için dizel motorların verimleri benzinli motorlara göre daha yüksektir.

Örnek 29: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 24/1 ve kesme oranı 2 olduğuna göre bu motorun ısıl verimini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$r_c = 24$ $r_v = 2$ $k = 1,4$ $\eta_{dizel} = ?$	$\eta_{dizel} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}}\left[\frac{(r_v^k - 1)}{k \cdot (r_v - 1)}\right] = 1 - \frac{1}{24^{(1,4-1)}}\left[\frac{(2^{1,4} - 1)}{1,4 \cdot (2-1)}\right] = 0,67$ **η_{dizel} = %67**

Örnek 30: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 18/1'dir. Adyabatik sıkıştırma başlangıcında hava basıncı 120 kPa ve sıcaklığı 270 K'dir. Havanın adyabatik sıkıştırma sonundaki basınç ve sıcaklık değerini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$r_c = 18$ $k = 1,4$ $P_1 = 120$ kPa $T_1 = 270$ K $P_2 = ?$ $T_2 = ?$	$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$ $P_2 = P_1 . r_c^k = 120 . 18^{1,4} = 6863$ kPa **$P_2 = 6863$ kPa** $\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$ $T_2 = T_1 . r_c^{(k-1)} = 270 . 18^{(1,4-1)} = 857$ K **$T_2 = 857$ K**

Örnek 31: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun kesme oranı 2,2'dir. Bu motorda sabit basınçta ısı girişi başlangıcında havanın sıcaklığı 790 K'dir. Buna göre sabit basınçta ısı girişi sonundaki havanın sıcaklığını ve birim kütle için ısı girişini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$r_v = 2,2$ $T_2 = 790$ K $T_3 = ?$ $c_p = 1,005$ kJ/kg.K	$r_v = \frac{T_3}{T_2}$ $T_3 = r_v . T_2 = 2,2 . 790 = 1738$ K **$T_3 = 1738$ K** $q_{giren} = c_p (T_3 - T_2) = 1,005 . (1738 - 790) = 952$ kJ **$q_{giren} = 952$ kJ**

Örnek 32: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun adyabatik genişleme sonunda hava basıncı 450 kPa ve sıcaklığı 900 K'dir. Havanın sabit hacimde ısı çıkışı sonundaki basıncı 150 kPa olduğuna göre aynı andaki sıcaklık değerini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$P_4 = 450$ kPa $T_4 = 900$ K $P_1 = 150$ kPa $T_1 = ?$	$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$ $T_1 = \frac{P_1 . T_4}{P_4} = \frac{150 . 900}{450}$ **$T_1 = 300$ k**

Örnek 33: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 24/1 ve yanma odası hacmi 0,03 m^3'tür (Şekil 5.37). Adyabatik sıkıştırma başlangıcında hava basıncı 140 kPa, sıcaklığı 300 K ve kesme oranı 2,4 olduğuna göre aşağıdaki basınç ve sıcaklık tablosunu doldurunuz.

	1	2	3	4
P (kPa)				
T (K)				

Verilenler:

$r_c = 24$

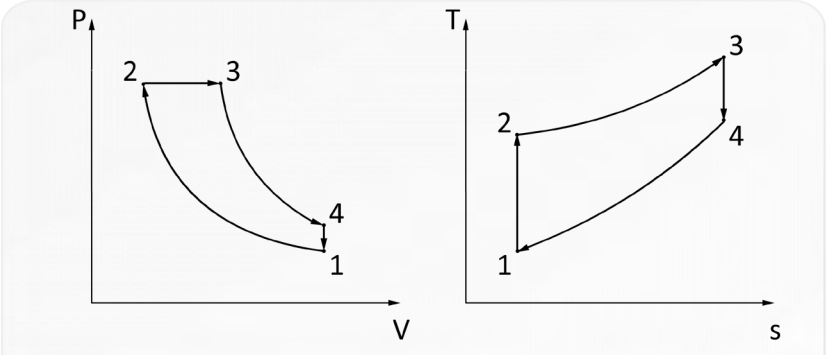
$r_v = 2,4$

$k = 1,4$

$P_1 = 140$ kPa

$T_1 = 300$ K

$V_2 = 0,03\ m^3$



Şekil 5.37: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun P-V, T-s diyagramı

Çözüm:

1-2 adyabatik sıkıştırma:

$$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$$

$P_2 = P_1 . r_c^k = 140 . 24^{1,4} = 11979$ kPa

$P_2 = 11979$ kPa

$$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$$

$T_2 = T_1 . r_c^{(k-1)} = 300 . 24^{(1,4-1)} = 1069$ K

$T_2 = 1069$ K

2-3 sabit basınçta ısı girişi:

$P_2 = P_3 = 11979$ kPa

$$r_v = \frac{T_3}{T_2}$$

$T_3 = r_v . T_2 = 2,4 . 1069 = 2565$ K

$T_3 = 2565$ K

3-4 adyabatik genişleme:

$$r_v = \frac{V_3}{V_2}$$

$V_3 = V_2 . r_v = 0,03 . 2,4 = 0,072\ m^3$

$V_3 = 0,072\ m^3$

$$r_c = \frac{V_1}{V_2}$$

$V_1 = V_2 . r_c = 0,03 . 24 = 0,72\ m^3$

$V_1 = V_4 = 0,72\ m^3$

$$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^k$$

$$P_4 = P_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k = 11979 . \left(\frac{0,072}{0,72}\right)^{(1,4-1)} = 476 \text{ kPa}$$

$P_4 = 476$ kPa

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$$

$$T_4 = T_3 . \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = 2565 . \left(\frac{0,072}{0,72}\right)^{(1,4-1)} = 1021 \text{ K}$$

$T_4 = 1021$ K

Örnek 34: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan 2 stroklu, 5 silindirli bir motorun sıkıştırma oranı 16/1, kesme oranı 1,5 ve yanma odası hacmi 0,04 m^3, adyabatik sıkıştırma başlangıcında hava basıncı 100 kPa ve sıcaklığı 270 K'dir.

a) Bu motorun hâl değişim noktalarındaki (Şekil 5.38) basınç, sıcaklık ve hacimlerini hesaplayarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

	1	2	3	4
P (kPa)				
T (K)				
V (m^3)				

b) Çevrimin verimini hesaplayınız.

c) Çevrimin net işini hesaplayınız.

(c_p = 1,005 kJ/kg.K, c_v = 0,718 kJ/kg.K, k = 1,4, R = 0,287 kJ/kg.K)

Verilenler:

2 stroklu

Z = 5

$V_y = V_2$ = 0,04 m^3

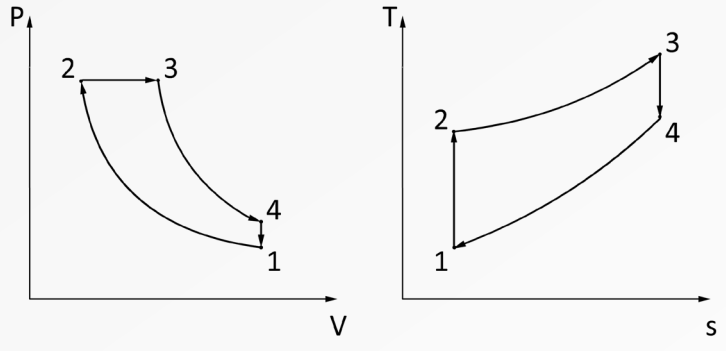
r_c = 16

r_v = 1,5

P_1 = 100 kPa

T_1 = 270 K

n = 800 devir/dk.



Şekil 5.38: Teorik Dizel çevrimine göre çalışan bir motorun P-V, T-s diyagramı

Çözüm:

a)

$$r_v = \frac{V_3}{V_2}$$

$V_3 = V_2 \cdot r_v = 0{,}04 \cdot 1{,}5 = 0{,}06\ m^3$

V_3 = 0,06 m^3

$$r_c = \frac{V_1}{V_2}$$

$V_1 = V_2 \cdot r_c = 0{,}04 \cdot 16 = 0{,}64\ m^3$

$V_1 = V_4$ = 0,64 m^3

1-2 adyabatik sıkıştırma:

$$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$$

$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 100 \cdot 16^{1,4} = 4850$ kPa

P_2 = 4850 kPa

$$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$$

$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 270 \cdot 16^{(1,4-1)} = 818$ K

T_2 = 818 K

2-3 sabit hacimde ısı girişi:

$$r_v = \frac{T_3}{T_2}$$

$T_3 = r_v \cdot T_2 = 1,5 \cdot 818 = 1227$ K

$T_3 = 1227$ K

$P_2 = P_3 = 4850$ kPa

3-4 adyabatik genişleme:

$$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^k$$

$$P_4 = P_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k = 4850 \cdot \left(\frac{0,06}{0,64}\right)^{1,4} = 176 \text{ kPa}$$

$P_4 = 176$ kPa

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = 1227 \cdot \left(\frac{0,06}{0,64}\right)^{(1,4-1)} = 476 \text{ K}$$

$T_4 = 476$ K

b)

$$\eta_{dizel} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}} \left[\frac{(r_v^k - 1)}{k \cdot (r_v - 1)}\right] = 1 - \frac{1}{16^{(1,4-1)}} \left[\frac{(1,5^{1,4} - 1)}{1,4 \cdot (1,5 - 1)}\right] = 0,64$$

$\eta_{dizel} = \%64$

c)

$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$

$$m = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{100 \cdot 0,64}{0,287 \cdot 270} = 0,82 \text{ kg}$$

m = 0,82 kg

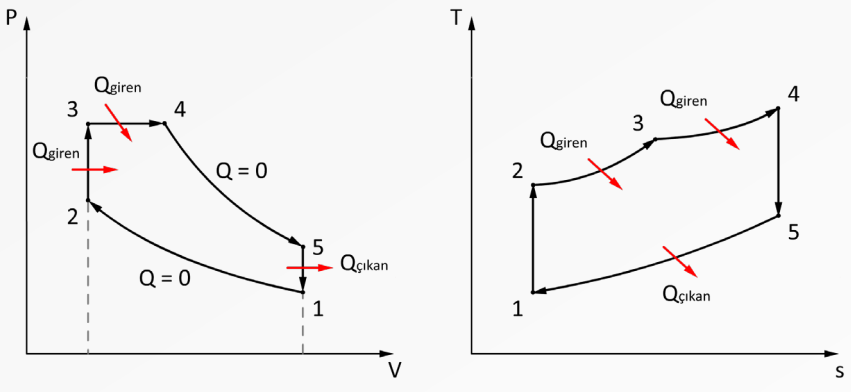
$Q_{giren} = m \cdot c_p (T_3 - T_2) = 0,82 \cdot 1,005 \cdot (1227 - 818) = 337$ kJ — **$Q_{giren} = 337$ kJ**

$Q_{çıkan} = m \cdot c_v (T_4 - T_1) = 0,82 \cdot 0,718 \cdot (476 - 270) = 121$ kJ — **$Q_{çıkan} = 121$ kJ**

$W_i = Q_{giren} - Q_{çıkan} = 337 - 121 = 216$ kJ — **$W_i = 216$ kJ**

4.1.4. Karma (İkili) Çevrim

Günümüz modern dizel motorlarının çalışmasına yakın bir çevrimdir. Isı girişinin sabit hacimde ve sabit basınçta olmak üzere iki aşamada gerçekleştiği güç makinesi çevrimidir (Şekil 5.39).



Şekil 5.39: Teorik ikili (karma) çevrim P-V, T-s diyagramı

Adyabatik sıkıştırma (1→2): Piston AÖN'den ÜÖN'ye giderken silindir içindeki havayı sıkıştırır. Sıkışan havanın hacmi azalırken basıncı ve sıcaklığı artar. Sıkıştırma sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz.

Sabit hacimde sisteme ısı girişi (2→3): Piston ÜÖN'deyken sisteme sabit hacimde ısı girişi gerçekleşir ve basınç ani olarak artar. Bu durum Otto çevrimi ile benzerlik gösterir.

Sabit basınçta sisteme ısı girişi (3→4): 3 noktasında ısı girişi sabit basınçta devam eder ve hacim artar. Bu durum Dizel çevrimi ile benzerlik gösterir.

Adyabatik genişleme (4→5): 4 noktasında adyabatik genişleme başlar ve piston AÖN'ye doğru hareket eder. Genişleme sırasında çevreyle ısı alışverişi olmaz.

Sabit hacimde ısı çıkışı (5→1): Piston AÖN'ye geldiğinde sabit hacimde ısı sistemden atılır ve çevrim tamamlanmış olur.

Sıkıştırma oranı, basınç artış oranı ve kesme oranı Dizel ve Otto çevrimlerindeki tanımlarla aynıdır. Karma çevrimin hâl değişimleri aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir.

Adyabatik sıkıştırma	Sabit hacimde ısı girişi	Sabit basınçta ısı girişi	Adyabatik genişleme	Sabit hacimde ısı çıkışı
1→2	2→3	3→4	4→5	5→1
$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = r_c^k$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r_c^{(k-1)}$	$V_2 = V_3$ $\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = r_p$	$P_3 = P_4$ $\frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3} = r_v$	$\frac{P_4}{P_5} = \left(\frac{V_5}{V_4}\right)^k$ $\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{k-1}$	$V_5 = V_1$ $\frac{P_5}{P_1} = \frac{T_5}{T_1}$

Karma çevrimin ısıl verimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir. Bağıntıda kesme oranı 1 alınırsa Otto ısıl verimi, basınç artış oranı 1 alınırsa dizel ısıl verimi elde edilir.

η_{karma} : Karma çevrimi ısıl verimi	$\eta_{karma} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}} \left[\frac{(r_p \cdot r_v^k - 1)}{k \cdot r_p (r_v - 1) + (r_p - 1)} \right]$
r_c : Sıkıştırma oranı	
r_v : Kesme oranı	
r_p : Basınç artış oranı	
k : Adyabatik üs	

Örnek 35: Teorik karma çevrimine göre çalışan 4 stroklu, 4 silindirli, silindir çapı 100 mm, kurs boyu 170 mm, sıkıştırma oranı 18/1, basınç artış oranı 1,9 olan bir motorun ısı verme işlemi kurs hacminin %10'unda sona ermektedir. Adyabatik sıkıştırma başlangıcında havanın basıncı 170 kPa, sıcaklığı 310 K'dir.

a) Bu motorun hâl değişim noktalarındaki (Şekil 5.40) basınç, sıcaklık ve hacimlerini hesaplayarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

	1	2	3	4	5
P (kPa)					
T (K)					
V (m^3)					

b) Çevrimin verimini hesaplayınız.

c) Çevrimin net işini hesaplayınız.

(c_p = 1,005 kJ/kg.K, c_v = 0,718 kJ/kg.K, k = 1,4, R = 0,287 kJ/kg.K)

Verilenler:

4 stroklu

Z = 4

D = 100 mm = 0,1 m

L = 170 mm = 0,17 m

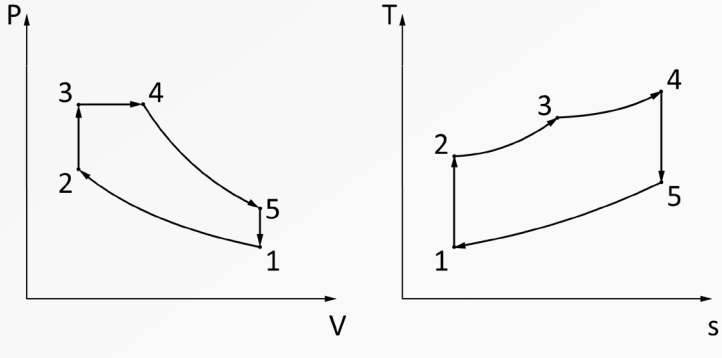
r_c = 18

r_p = 1,9

P_1 = 170 kPa

T_1 = 310 K

n = 1750 devir/dk.



Şekil 5.40: Teorik karma çevrimine göre çalışan bir motorun P-V, T-s diyagramı

Çözüm:

a)

$V_2 = V_3 = V_y$ = Yanma odası hacmi

$V_1 = V_5 = V_s$ = Silindir hacmi

$V_s - V_y = V_k$ = Kurs hacmi

$$V_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{3,14 \cdot 0,12}{4} 0,17 = 0,0078 \text{ m}^3$$

$V_k = 0,0078$ m³

$$r_c = \frac{V_s}{V_y} = \frac{V_y + V_k}{V_y} = 1 + \frac{V_k}{V_y}$$

$$V_y = \frac{V_k}{r_c - 1} = \frac{0,0078}{18 - 1} = 0,00045 \text{ m}^3$$

$V_y = V_2 = V_3 = 0,00045$ m³

$V_s = V_k + V_y = 0,0078 + 0,00045 = 0,00825$ m³

$V_s = V_5 = V_1 = 0,00825$ m³

$V_4 = V_k \cdot 0,10 = 0,0078 \cdot 0,10 = 0,00078$ m³

$V_4 = 0,00078$ m³

1-2 adyabatik sıkıştırma:

$$\frac{P_2}{P_1} = r_c^k$$

$P_2 = P_1 \cdot r_c^k = 170 \cdot 18^{1,4} = 9723$ kPa

$P_2 = 9723$ kPa

$$\frac{T_2}{T_1} = r_c^{(k-1)}$$

$T_2 = T_1 \cdot r_c^{(k-1)} = 310 \cdot 18^{(1,4-1)} = 985$ K

$T_2 = 985$ K

2-3 sabit hacimde ısı girişi:

$$r_p = \frac{T_3}{T_2}$$

$T_3 = r_p \cdot T_2 = 1,9 \cdot 985 = 1871$ K

$T_3 = 1871$ K

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3}$$

$$P_3 = \frac{T_3 \cdot P_2}{T_2} = \frac{1871 \cdot 9723}{985} = 18468 \text{ kPa}$$

$P_3 = 18468$ kPa

3-4 sabit basınçta ısı girişi:

$P_3 = P_4 = 18468$ kPa

$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3}$$

$$T_4 = \frac{V_4 \cdot T_3}{V_3} = \frac{0,00078 \cdot 1871}{0,00045} = 3243 \text{ K}$$

$T_4 = 3243$ K

4-5 adyabatik genişleme:

$$\frac{P_4}{P_5} = \left(\frac{V_5}{V_4}\right)^k$$

$$P_5 = \frac{P_4 \cdot V_4^k}{V_5^k} = \frac{18468 \cdot 0,00078^{1,4}}{0,00825^{1,4}} = 679 \text{ kPa}$$

$P_5 = 679$ kPa

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{k-1}$$

$$T_5 = T_4 \cdot \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{k-1} = 3243 \cdot \left(\frac{0,00078}{0,00825}\right)^{(1,4-1)} = 1262 \text{ K}$$

$T_5 = 1262$ K

b)

$$r_v = \frac{V_4}{V_3} = \frac{0{,}00078}{0{,}00045} = 1{,}7$$

$r_v = 1{,}7$

$$\eta_{karma} = 1 - \frac{1}{r_c^{(k-1)}} \cdot \left[\frac{(r_p \cdot r_v^k - 1)}{k \cdot r_p (r_v - 1) + (r_p - 1)} \right]$$

$$\eta_{karma} = 1 - \frac{1}{18^{(1{,}4-1)}} \cdot \left[\frac{(1{,}9 \cdot 1{,}7^{1{,}4} - 1)}{1{,}4 \cdot 1{,}9 \cdot (1{,}7-1) + (1{,}9-1)} \right] = 0{,}74$$

η_{karma} = %74

c)

$$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$$

$$m = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{170 \cdot 0{,}00825}{0{,}287 \cdot 310} = 0{,}015 \text{ kg}$$

m = 0,015 kg

$$Q_{giren2,3} = m \cdot c_v (T_3 - T_2) = 0{,}015 \cdot 0{,}718 \cdot (1871 - 985) = 9{,}54 \text{ kJ}$$

$Q_{giren2,3}$ = 9,54 kJ

$$Q_{giren3,4} = m \cdot c_p (T_4 - T_3) = 0{,}015 \cdot 1{,}005 \cdot (3243 - 1871) = 20{,}68 \text{ kJ}$$

$Q_{giren3,4}$ = 20,68 kJ

$$Q_{çıkan} = m \cdot c_v (T_5 - T_1) = 0{,}015 \cdot 0{,}718 \cdot (1262 - 310) = 10{,}25 \text{ kJ}$$

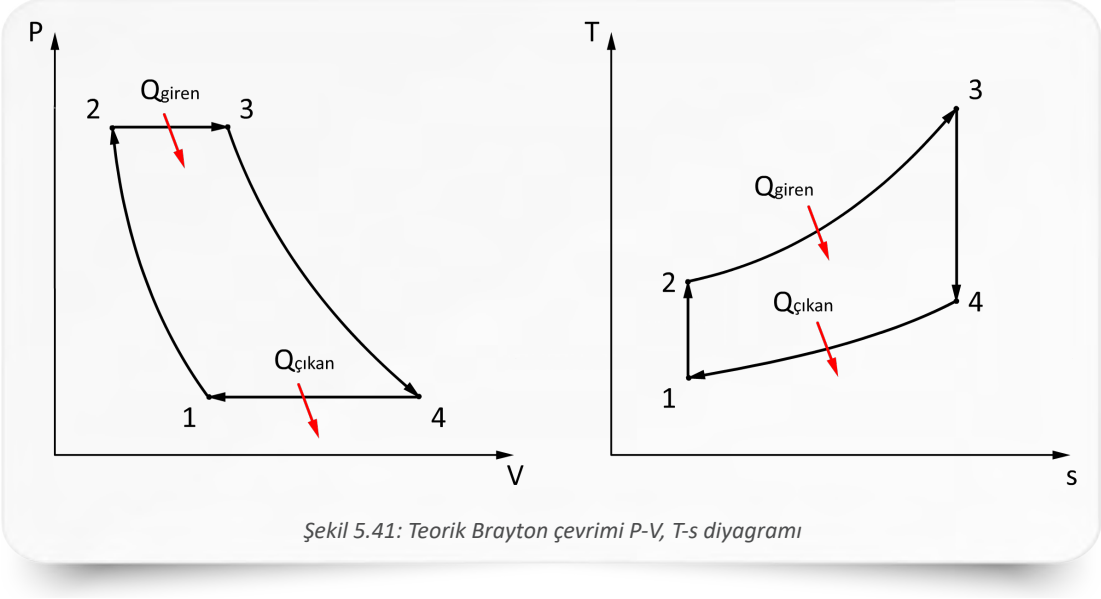
$Q_{çıkan}$ = 10,25 kJ

$$W_i = (Q_{giren2,3} + Q_{giren3,4}) - Q_{çıkan} = (9{,}54 + 20{,}68) - 10{,}25 = 19{,}97 \text{ kJ}$$

W_i = 19,97 kJ

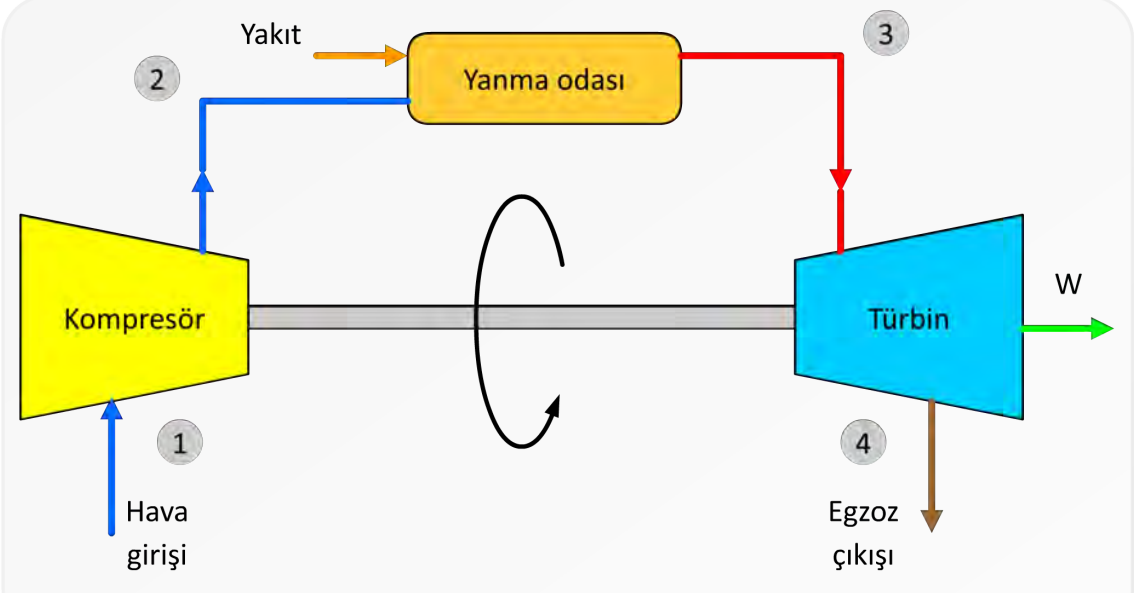
4.1.5. Brayton (Gaz Türbin Motorları) Çevrimi

Gaz türbin motorlarının çalışmasını gösteren çevrimdir. Yaygın olarak uçaklarda ve elektrik güç üretiminde kullanılır. Gerçekte açık veya kapalı sistem olarak çalışabilir. Şekil 5.41'de P-V ve T-s diyagramı görülen teorik Brayton çevrimi, kapalı sistem varsayılır ve dört evreden meydana gelir.



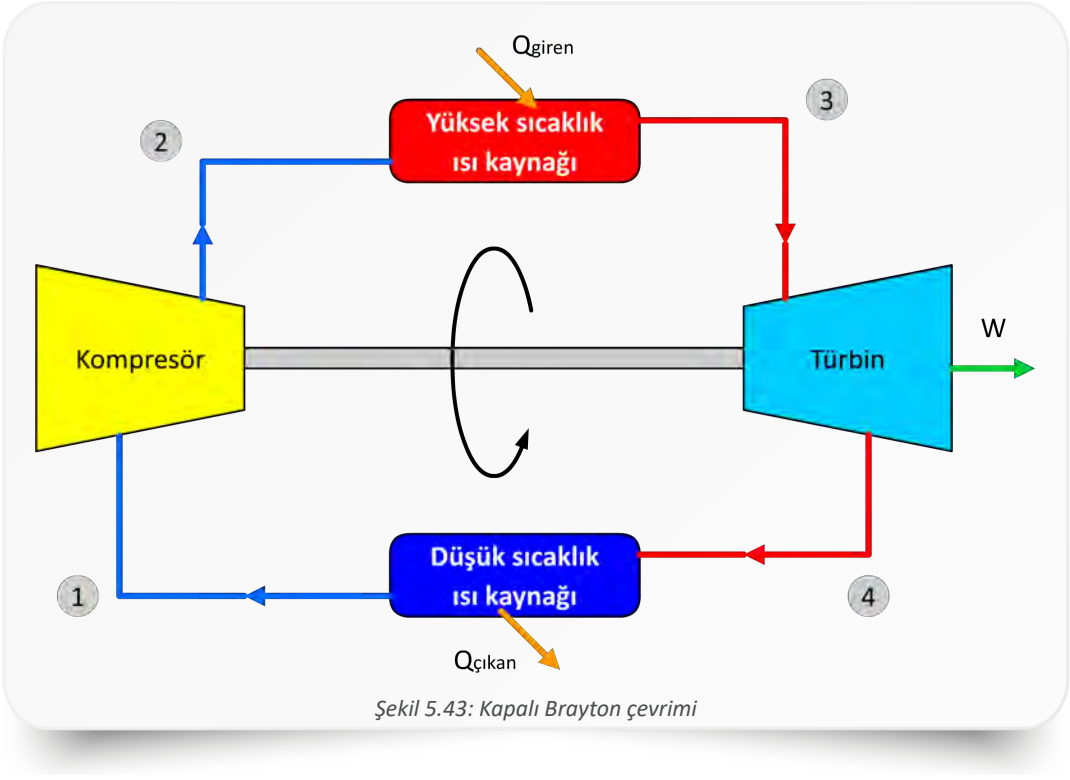
Şekil 5.41: Teorik Brayton çevrimi P-V, T-s diyagramı

Açık sistem Brayton çevriminde kompresöre dışardan alınan hava sıkıştırılır (1-2) ve yakıtın sabit basınçta yakıldığı bir yanma odasına gönderilir (2-3). Yanma odasında hava üzerine yakıt püskürtülür ve yanma olayı gerçekleşir. Yanma sonucunda yüksek basınç ve sıcaklığa sahip gazlar türbine girerek iş oluşturur (3-4), daha sonra egzoz gazı olarak türbinden dışarı atılır (4-1). Şekil 5.42'de açık Brayton çevriminin temel elemanları gösterilmiştir.



Şekil 5.42: Açık Brayton çevrimi

Kapalı sistem Brayton çevriminde ise türbinden çıkan gaz bir ısı değiştirici yardımıyla tekrar kompresöre girerek (4-1) çevrime devam eder. Yanma ve egzoz işlemlerinin yerini yüksek ve düşük ısı kaynakları alır. Şekil 5.43'te kapalı Brayton çevriminin temel elemanları gösterilmiştir. Gerçekte gaz türbinlerinde kompresör ve türbinde ısı kayıpları meydana geldiği için verim önemli ölçüde azalmış olur.



Şekil 5.43: Kapalı Brayton çevrimi

Brayton çevriminin ısıl verimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$\eta_{Brayton}$: Brayton çevrimi ısıl verimi r_p : Basınç oranı k : Adyabatik üs	$r_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4}$ $\eta_{Brayton} = 1 - \frac{1}{r_P^{(k-1)/k}}$

Örnek 36: İdeal Brayton çevrimine göre çalışan bir gaz türbini giriş basıncı 900 kPa ve çıkış basıncı 100 kPa'dır. Çevrimin ısıl verimini hesaplayınız. (k= 1,4)

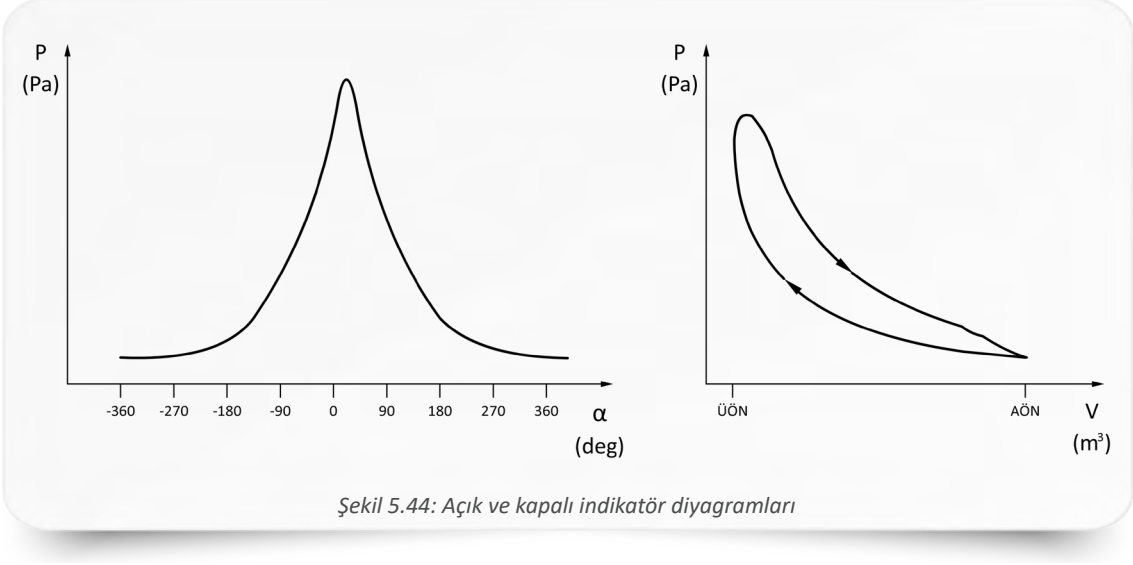
Verilenler:	**Çözüm:**
P_1 = 100 kPa P_2 = 900 kPa $\eta_{Brayton}$ = ?	$r_p = \frac{P_3}{P_4} = \frac{900}{100} = 9$ $\eta_{Brayton} = 1 - \frac{1}{r_P^{(k-1)/k}} = 1 - \frac{1}{9^{(1,4-1)/1,4}} = 0,42$ **$\eta_{Brayton}$ = %42**

4.2. Gerçek Dizel Motor Çevrimleri

Teorik çevrimler, gerçekte olmayan ve ideal motorda olduğu varsayılan çevrimlerdir. Uygulamada içten yanmalı motorlarda çalışma akışkanı, teorik termodinamik bir çevrim gerçekleştirmez. Silindir içinde meydana gelen istenen veya istenmeyen birçok olay teorik çevrimler için belirlenmiş kabullere uymaz. Gerçek çevrimlerin verimleri de ideal çevrimlere göre oldukça düşüktür.

Gerçek çevrimlerde içten yanmalı motorların çalışmasında emme zamanında silindir içerisine hava alınması, egzoz zamanında silindir dışına yanmış gazların atılması, silindir içindeki sürtünme, adyabatik olmayan ortam, ısı kayıpları, kompresyon kaçakları, yakıt kalitesi ve pompalama kayıpları gibi durumlar gerçekleşir.

Gerçek motor diyagramları silindirlere bağlanan indikatör cihazlarının yardımıyla çizilir. Günümüzde kullanılan indikatör cihazları, silindir içindeki basınç değişimini sensörler yardımıyla elektronik sinyallere dönüştürür, daha sonra bu sinyaller işlenerek bilgisayara aktarılır. Bu diyagramların analizi, motorun sağlıklı çalışması ve arıza tespiti için önemlidir. İndikatör diyagramları krankşaft açısına veya silindir hacmine göre silindir içindeki basınç değişimini gösterir. Krankşaft açısına göre silindir içindeki basıncı gösteren diyagrama **açık indikatör diyagramı**, silindir hacmine bağlı basınç değişimini gösteren diyagrama ise **kapalı indikatör diyagramı** denir (Şekil 5.44).



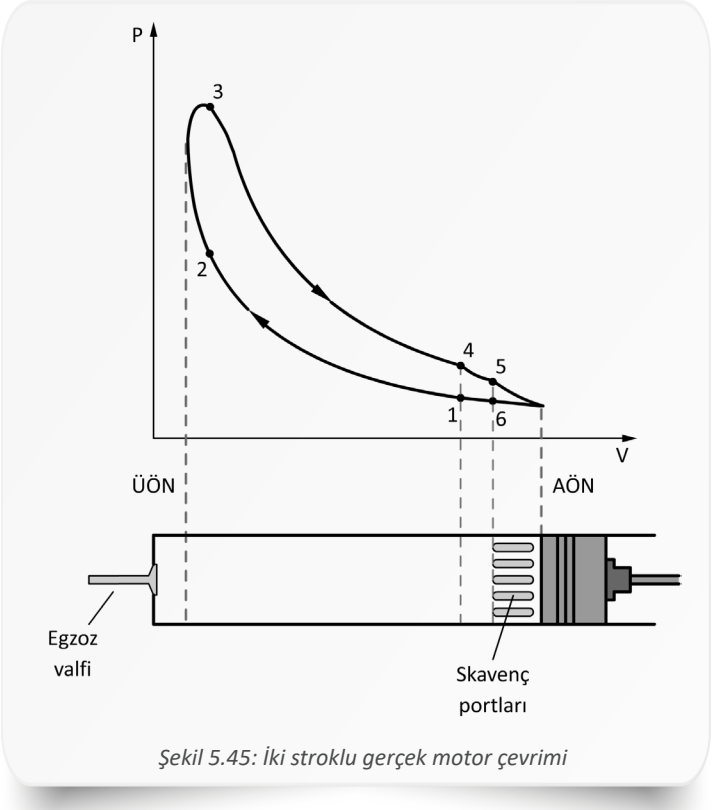
Şekil 5.44: Açık ve kapalı indikatör diyagramları

İki ve dört stroklu motorların diyagramları arasında çalışma yöntemlerinden kaynaklanan bazı yapısal farklar vardır.

4.2.1. İki Stroklu Gerçek Dizel Motor Çevrimi

Gemilerde, doğru akımlı süpürme yapan iki stroklu dizel motorlar ana makine olarak yaygın şekilde kullanılır. İki stroklu dizel motorlar, iş çevrimlerini pistonun iki stroku ve krank şaftın bir tam turunda (360°) tamamlar. Piston ÜÖN'ye her çıktığında bir iş gerçekleşir. Çevrim; sıkıştırma, iş, egzoz ve emme olmak üzere dört temel zamanda incelenir. Çevrimin indikatör diyagramı Şekil

5.45'te görülmektedir.



Şekil 5.45: İki stroklu gerçek motor çevrimi

İndikatör diyagramında sayılarla işaretlenen noktalar her motora göre değişiklik gösterebilir. Genel olarak silindir içinde meydana gelen evrelerin başlaması ve bitmesi aşağıda belirtildiği gibi gerçekleşir.

1→ Sıkıştırma zamanı başlar.

2→ Enjektör açılır, sıkıştırma zamanı biter ve yanma başlar.

3→ Enjektör kapanır, genişleme zamanı başlar.

4→ Egzoz valfi açılır, egzoz zamanı başlar.

5→ Skavenç portları açılır, emme zamanı başlar, süpürme başlar.

6→ Skavenç portları kapanır, emme zamanı biter.

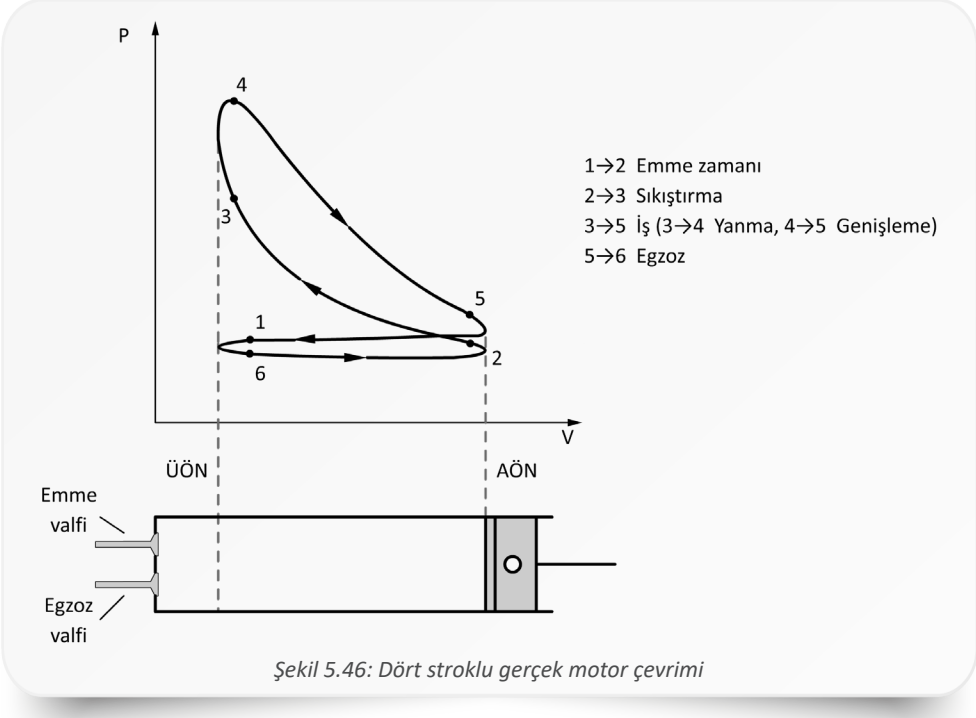
1→ Egzoz valfi kapanır, egzoz zamanı biter ve bir çevrim tamamlanır.

Piston AÖN'yi geçtikten sonra egzoz valfi ve skavenç portu kapalı durumdayken **(1)** sıkıştırma zamanı **(1)** başlar. Silindir içerisine alınmış havanın sıkıştırma işlemi ile birlikte basıncı ve sıcaklığı artar. Sıkıştırma sonunda enjektör açılarak **(2)** silindir içerisine yakıt püskürtür, tutuşma ve yanma başlar. Yanma sonunda oluşan yüksek basınç ve sıcaklık pistonu AÖN'ye doğru iter ve iş meydana gelir. İş zamanı yanma ve genişleme olmak üzere iki evreden oluşur. Yanma evresi bittiğinde **(3)** genişleme evresi başlar ve egzoz valfi açılıncaya kadar **(4)** devam eder. Egzoz zamanı, serbest egzoz ve kuvvetlendirilmiş egzoz olmak üzere iki ayrı evreden oluşur. Egzoz valfi açıldığında

yanmış gazlar dışarı atılmaya başlar. Piston AÖN'ye doğru inmeye devam ederken skavenç portları açılarak **(5)** silindir içerisine hava alınmaya başlar. Skavenç portlarının açılmasına kadar geçen egzoz süresine **serbest egzoz zamanı** denir. Egzoz valfi ve skavenç portlarının aynı anda açık olması, süpürme işleminin gerçekleşmesini sağlar. Silindir içerisine giren skavenç havasının egzoz gazlarını iterek dışarı atmasına **süpürme** denir. Süpürme işlemi boyunca geçen egzoz zamanına da **kuvvetlendirilmiş egzoz** denir. Piston tekrar AÖN'den ÜÖN'ye doğru hareket ederken önce skavenç portlarını kapatır **(6)**. Daha sonra egzoz valfi kapanır **(1)** ve sıkıştırma başlar. Çevrim tamamlanmış olur.

4.2.2. Dört Stroklu Gerçek Dizel Motor Çevrimi

Dört stroklu dizel motorlar, iş çevrimlerini pistonun dört stroku ve krank şaftın iki tam turunda (720°) tamamlar. Pistonun ÜÖN'ye her iki çıkışından birinde iş gerçekleşir. Çevrim, iki stroklu motorlarda olduğu gibi; sıkıştırma, iş, egzoz ve emme olmak üzere 4 temel zamanda incelenir. Çevrimin indikatör diyagramı Şekil 5.46'da görülmektedir.



Şekil 5.46: Dört stroklu gerçek motor çevrimi

Piston ÜÖN'ye gelmeden **(1)** emme valfi açılır ve hava silindir içerisine alınmaya başlar. Piston AÖN'ye doğru hareket ederken hava silindire alınmaya devam edilir. Piston AÖN'yi geçtikten sonra emme valfi tam kapalı duruma gelir **(2)** ve sıkıştırma başlar. Sıkıştırma ve iş evreleri iki stroklu motorlarla benzer şekilde gerçekleşir. Sıkıştırma sonunda havanın basıncı ve sıcaklığı artar. Sıkıştırma, enjektörün açılmasına kadar **(3)** devam eder. Enjektör açılıp silindir içerisine yakıt püskürtülmeye başlandığında tutuşma ve yanma başlar. Yanma sonunda oluşan yüksek basınç ve sıcaklık, pistonu AÖN'ye doğru iter ve iş meydana gelir. İş zamanı, yanma ve genişleme olmak üzere iki evreden oluşur. Yanma evresi bittiğinde **(4)** genişleme evresi başlar ve egzoz valfi açılıncaya kadar **(5)** devam eder. Piston AÖN'ye gelmeden egzoz valfi açılır ve yanmış gazlar piston ÜÖN'ye doğru çıkarken silindir dışına atılır. Egzoz valfi piston ÜÖN'yi geçtiğinde **(6)** kapanır. Diyagramda her iki valfin de aynı anda açık olduğu zaman, net bir şekilde görülmektedir **(1-6)**. Bu

5. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE GÜÇ

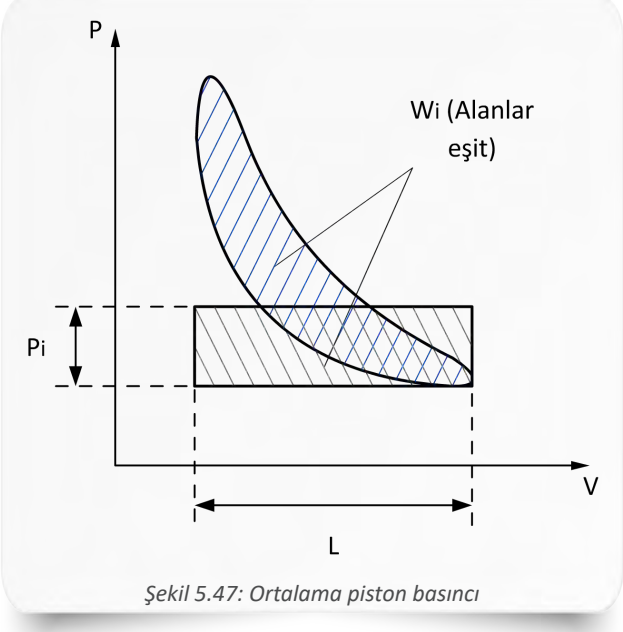
Birim zamanda gerçekleşen işe **güç** denir. Denizcilikte yaygın olarak kullanılan güç birimi Watt'tır. Bunun yanında beygir gücü de (hp) kullanılan güç birimlerindendir. Dizel gemi makineleri için önemli bir özellik olan güç, genel anlamda aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

N : Güç (W) W : İş (J) t : Zaman (s) 1 hp = 0,7457 kW	$N = \frac{W}{t}$

İçten yanmalı motorlarda güç; motorun devri, silindir sayısı, yakıt ve silindir hacmi gibi çeşitli koşullara bağlıdır. Güç, elde edildiği yere ve koşula göre birçok şekilde adlandırılır. Çeşitli deney düzenekleri ve ölçme cihazları kullanılarak bir makineden alınabilecek en yüksek ve en düşük güç, en ekonomik güç, en dengeli güç, silindir içinde oluşan güç, volandan alınan güç ve şafttan alınan güç gibi ayrı ayrı koşullara bağlı güç hesapları yapılabilir.

5.1. İndike (İç) Güç

Dizel gemi makinelerinde silindir içinde yanma sonucu ortaya çıkan güce **indike (iç) güç** denir. Üretilen bu güç, piston tarafından motor parçalarına aktarılır. İndike gücün hesaplanabilmesi için silindir içinde yanma sonucu oluşan ortalama basıncın bilinmesi gerekir. Bu basınca **ortalama piston basıncı** denir. Ortalama piston basıncı, indikatör diyagramlarından faydalanılarak bulunur. İndikatör diyagramının alanı, bir silindir tarafından yapılan işe eşittir. Bu alan, eşdeğer bir dikdörtgene dönüştürülürse bu dikdörtgene ait yükseklik, ortalama indike basıncı verir (Şekil 5.47). Ortalama piston basıncı aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.



Şekil 5.47: Ortalama piston basıncı

P_i : Ortalama piston basıncı (Pa) W_i : 1 çevrimin net işi (J) V_k : Kurs hacmi (m^3) A : Piston tepesi alanı (m^2) L : Kurs (m)	$V_k = A \cdot L$ $P_i = \frac{W_i}{V_k}$

İndike güç aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

N_i : İndike güç (W) P_i : Ortalama piston basıncı (Pa) V_k : Kurs hacmi (m^3) n : Motor devri (devir/dk.) Z : Silindir sayısı	İki stroklu motorlarda her devirde güç üretildiği için, $N_i = \frac{P_i \cdot V_k \cdot n \cdot Z}{60}$ Dört stroklu motorlarda her iki devirde bir güç üretildiği için, $N_i = \frac{P_i \cdot V_k \cdot n \cdot Z}{2 \cdot 60}$

Örnek 37: Dakikada 750 devir ile çalışan 2 stroklu, 4 silindirli dizel bir motorun kurs hacmi 0,0055 m^3'tür. Ortalama piston basıncı 1200 kPa olduğuna göre motorun indike gücünü hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
P_i = 1200 kPa V_k = 0,0055 m^3 n = 750 devir/dk. Z = 4 N_i = ?	$N_i = \frac{P_i \cdot V_k \cdot n \cdot Z}{60}$ $N_i = \frac{1200 \cdot 0{,}0055 \cdot 750 \cdot 4}{60} = 330$ kW **N_i = 330 kW**

Örnek 38: Dakikada 400 devir ile çalışan 4 stroklu, 6 silindirli, ortalama piston basıncı 2000 kPa olan bir dizel motorun piston çapı 0,2 m ve kursu 1,2 m'dir. Bu motorun indike gücünü hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
P_i = 2000 kPa L = 1,2 m D = 0,2 m n = 400 devir/dk. Z = 6 N_i = ?	$A = \pi \cdot D^2/4 = 3{,}14 \cdot (0{,}2)^2 / 4 = 0{,}314\ m^2$ $V_k = A \cdot L = 0{,}314 \cdot 1{,}2 = 0{,}3768\ m^3$ $N_i = \frac{P_i \cdot V_k \cdot n \cdot Z}{2 \cdot 60} = \frac{2000 \cdot 0{,}3768 \cdot 400 \cdot 6}{2 \cdot 60} = 15072$ kW **N_i = 15072 kW**

5.2. Efektif (Yararlı) Güç

Motor volanından alınan güce **efektif (yararlı) güç** denir. Bu güce fren gücü de denilir. Silindir içinde oluşan iç güç, volana iletilene kadar çeşitli kayıplara uğrar. Makine parçalarındaki sürtünmeleri yenmek, emme zamanında havayı silindire çekmek, egzoz zamanında yanmış gazları dışarı atmak veya çeşitli motor parçalarına hareket vermek için kullanılan güçler bu kayıplara neden olur.

N_i : İndike güç (W) N_e : Efektif güç (W) N_K : Toplam kayıp güçler (W)	$N_e = N_i - N_K$

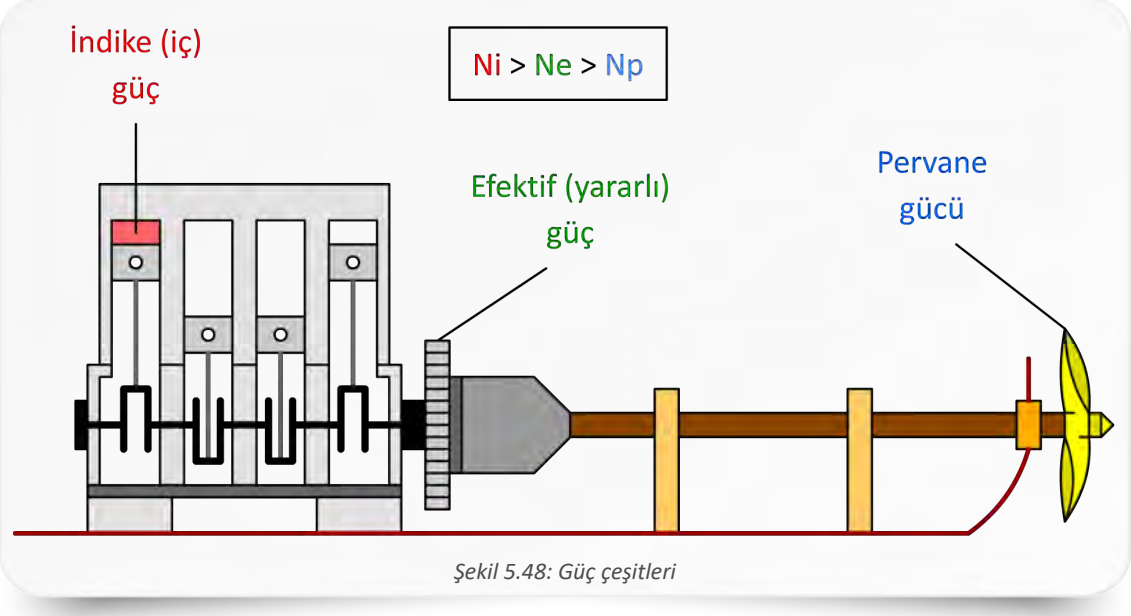
Efektif gücün ölçülmesinde çeşitli yöntemler ve deney düzenekleri kullanılır. Efektif gücün ölçülmesi için kullanılan cihazlara genel olarak **dinamometre** denir. Bu yöntemlerin ortak özelliği, motor belirli bir devirde çalışırken volana bağlanan bir frenleme düzeneği ile motora kademe kademe yük bindirmek ve devri düşmeden motorun çıkabileceği en fazla yük kapasitesini ölçmektir. Frenleme düzeneklerinde mekanik sürtünme, hidrolik (su basıncı) ve manyetik fren gibi sistemler kullanılmaktadır.

Örnek 39: Ortalama piston basıncı 1200 kPa, kurs hacmi 0,02 m^3 olan 2 stroklu ve 7 silindirli dizel bir motorun dakikada 1300 devir ile çalışırken toplam kayıp gücü 550 kW olduğuna göre, bu motorun indike ve efektif gücünü hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
P_i = 1200 kPa V_k = 0,02 m^3 n = 1300 devir/dk. Z = 7 N_K = 550 kW N_i = ? N_e = ?	$N_i = \frac{P_i \cdot V_k \cdot n \cdot Z}{60} = \frac{1200 \cdot 0{,}02 \cdot 1300 \cdot 7}{60} = 3640$ kW **N_i = 3640 kW** $N_e = N_i - N_K = 3640 - 550 = 3090$ kW **N_e = 3090 kW**

5.3. Pervane Gücü

Silindir içinde üretilen indike güç, bir miktar kayba uğrayarak efektif güce dönüşür. Ardından efektif güç de reduction gear (ridakşın giyır), şaft yatakları ve stern tube (störn tüb) gibi birçok noktada kayıplara uğrayarak pervaneye aktarılır (Şekil 5.48). Üretimi silindir içinde başlayan, şaft boyunca pervaneye iletilen ve pervaneden alınan bu güce **pervane gücü** denir.



Şekil 5.48: Güç çeşitleri

6. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE VERİM

Verim, yakıtın kimyasal enerjisinin mekanik enerjiye dönüşme oranıdır. Bir motorun performansı değerlendirilirken en sık göz önünde bulundurulan verim çeşitleri; mekanik, ısıl, efektif ve hacimsel verimdir.

6.1. Mekanik Verim

Mekanik verim, efektif gücün indike güce oranıdır. Aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_m : Mekanik verim N_i : İndike güç (W) N_e : Efektif güç (W)	$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$

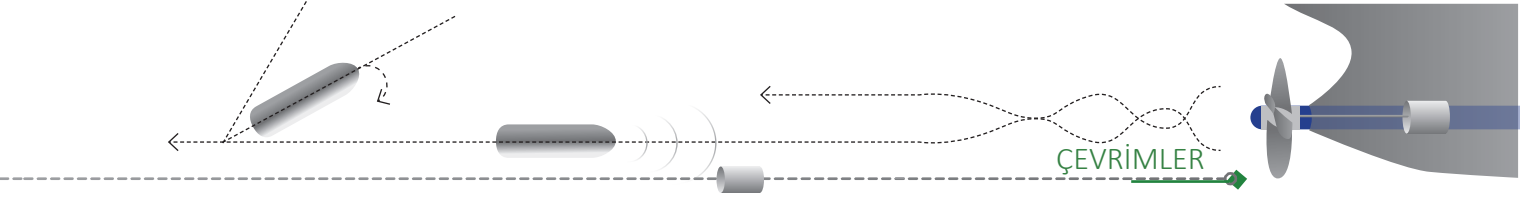
Örnek 40: Dakikada 600 devir hızla dönen bir gemi makinesinin volanından 450 kW güç alınmaktadır. Aynı makinenin torna çark sırasında döndürülebilmesi için 150 kW güç gerekmektedir. Bu makinenin mekanik verimini yaklaşık olarak hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$N_e = 450$ kW	$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$
$N_k = 150$ kW	$N_i = N_e + N_K$
$\eta_m = ?$	$N_i = 450 + 150 = 600$ kW
	$\eta_m = \frac{450}{600} = 0,75$
	η_m = % 75

6.2. Isıl (Termik) Verim

Gemi dizel makinelerinde silindir içinde yanma sonucu oluşan ısı enerjisinin tamamı yararlı işe dönüştürülemez. Isıl verim, yanma sonucu oluşan ısının yararlı işe dönüştürülme oranıdır. Aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_t : Isıl verim W_{net} : Sistemin yaptığı iş (J) Q_{giren} : Sisteme giren ısı (J) $Q_{çıkan}$: Sistemden çıkan ısı (J)	$\eta_t = \frac{W_{net}}{Q_{giren}} = \frac{Q_{giren} - Q_{çıkan}}{Q_{giren}} = 1 - \frac{Q_{çıkan}}{Q_{giren}}$



6.3. Efektif (Yakıt) Verim

Motordan elde edilen efektif gücün tüketilen yakıtın gücüne oranıdır.

η_e : Efektif verim N_e : Efektif güç (kW) B : Motorun tükettiği yakıt miktarı (kg/s) H_u : Yakıtın ısıl değeri (kJ/kg)	$\eta_e = \frac{N_e}{B \cdot H_u}$

Örnek 41: Dizel bir motor, 40 kW güç üretecek şekilde çalıştığında saatte 12 kg motorin tüketmektedir. Motorinin yanma ısısı 42300 kJ/kg olduğuna göre motorun efektif verimini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$N_e = 40$ kW $B = 12$ kg/h = 0,0033 kg/s $H_u = 42300$ kJ/kg $\eta_e = ?$	$\eta_e = \frac{N_e}{B \cdot H_u} = \frac{40}{0{,}0033 \cdot 42300} = 0{,}28$ **η_e = %28**

6.4. Hacimsel (Volumetrik) Verim

Hacimsel verim, doğal emişli (aşırı doldurması olmayan) bir motorda silindir içerisine alınan havanın hacminin silindir hacmine oranıdır. Aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

η_v : Hacimsel verim V_g : Silindir içerisine alınan gerçek havanın hacmi (m^3) V_s : Silindir hacmi (m^3)	$\eta_v = \frac{V_g}{V_s}$

Örnek 42: Doğal emişli 2 stroklu bir dizel motorun silindir hacmi 0,3 m^3tür. Hava filtresi tıkanmış bu motor emme zamanında silindir içerisine 0,06 m^3 hava alabiliyorsa bu motorun hacimsel verimini hesaplayınız.

Verilenler:	**Çözüm:**
$V_s = 0{,}3\ m^3$ $V_g = 0{,}06\ m^3$ $\eta_v = ?$	$\eta_v = \frac{V_g}{V_s}$ $\eta_v = \frac{0{,}06}{0{,}3} = 0{,}2$ **η_v = %20**

7. GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE YAKIT TÜKETİMİ

Gemi dizel makineleri, yanma sonucu yakıttaki kimyasal enerjiyi ısı enerjisine çevirir. Yanma, yakıtın oksijen ile kimyasal reaksiyona girmesidir. Dizel motorlarda sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış havanın üzerine enjektör tarafından atomize şekilde püskürtülen yakıt, kendiliğinden yanar.

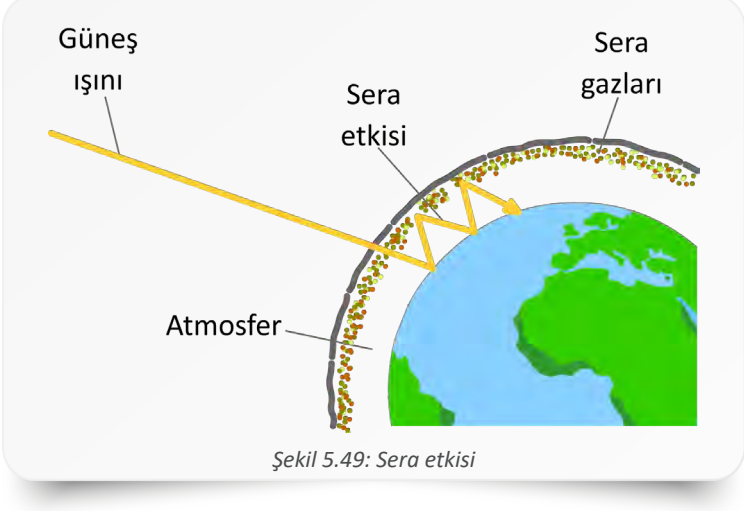
Eğer silindir içerisine püskürtülen yakıtın tamamı oksijenle reaksiyona girerse bu duruma **tam yanma** denir. Tam yanma ve yanma ürünleri temel olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

Yakıt + Oksijen → Karbondioksit + Su

Eğer silindir içerisine püskürtülen yakıtın bir kısmı oksijen yetersizliği nedeniyle yanamadan silindiri terk ederse bu duruma **eksik yanma** denir. Eksik yanma sonucu istenmeyen bazı yanma ürünleri ortaya çıkar. Bunların en önemlisi karbonmonoksittir. Eksik yanma ve yanma ürünleri temel olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

Yakıt + Oksijen → Karbondioksit + Su + Karbonmonoksit + Kirletici Partiküller

Özellikle eksik yanma sonucu ortaya çıkan istenmeyen gazlar (yanma ürünleri) başta hava kirliliği olmak üzere çeşitli çevre kirliliklerine yol açar. Ayrıca bu gazlar atmosferde birikerek bir tabaka oluşturur. Oluşan bu tabaka dünyamızdan yansıması gereken güneş ışınlarını tutarak sera etkisi oluşturur ve küresel ısınmaya neden olur (Şekil 5.49).



Şekil 5.49: Sera etkisi

Yakıtların tam olarak yanmadan motordan atılması nedeniyle atmosfere karışan bu kirletici gazlara **egzoz emisyonu** denir. Altı eki bulunan Denizlerin Gemilerden Kaynaklı Kirletilmesinin Önlenmesine Dair Uluslararası Sözleşme'siyle (MARPOL) denizlerin korunmasına ilişkin kurallar belirlenmiştir. MARPOL 73/78 Ek-VI'da gemilerden kaynaklı hava kirliliğinin önlenmesi ile ilgili gerekli kurallar yer almaktadır.

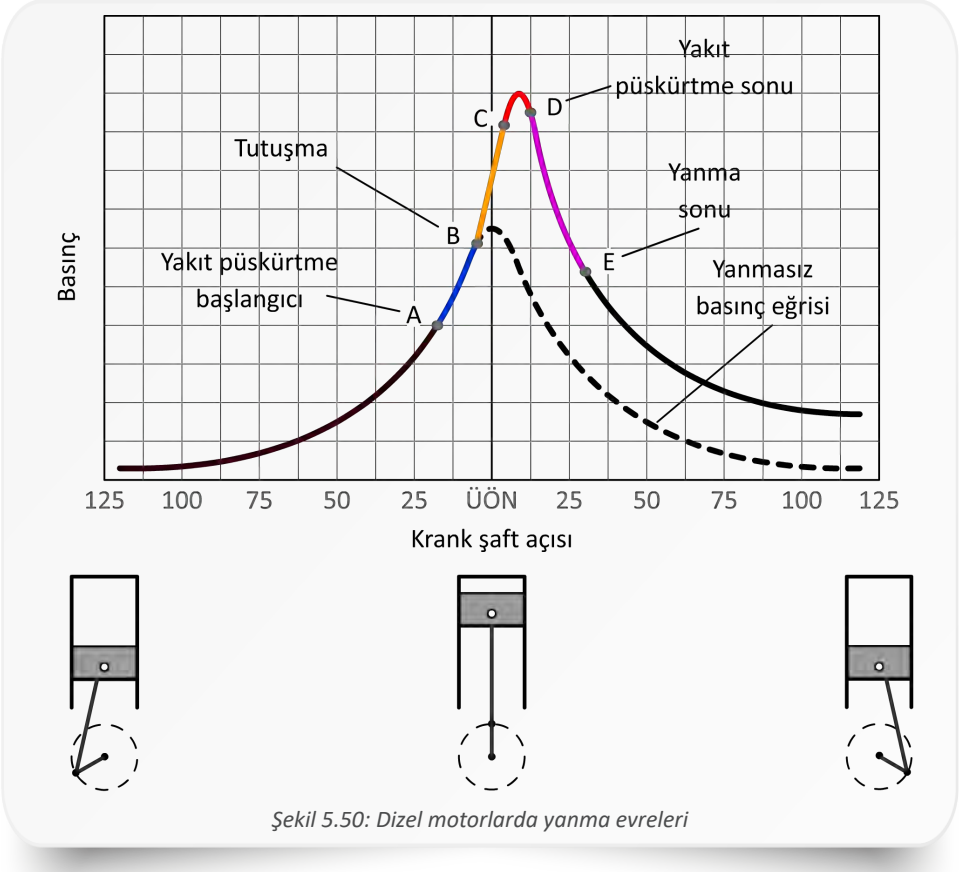
Yanmanın çeşitli evreleri vardır ve bu evreler yakıt tüketimini doğrudan etkiler. Yanma evreleri çeşitli değişkenlerin etkisiyle şekillenir ve dört aşamada gelişir (Şekil 5.50).

Yakıtın enjektör tarafından püskürtülmeye başlandığı andan ilk alevin ortaya çıkmasına kadar geçen süreye **tutuşma gecikmesi** (Şekil 5.50: A-B arası) denir. Bu gecikme, yakıtın hava ile karışması için ihtiyaç duyulan zaman yüzünden oluşur. Termodinamik olarak gecikme süresini etkileyen faktörler ise silindire giren hava sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, enjektörün püskürtme zamanı (avansı), makinenin yükü, sıkıştırma oranı, sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncı olarak sıralanabilir.

Tutuşma gecikmesi süresi boyunca silindir içinde yakıt birikir. Bu yakıtın yanması için uygun ortam oluştuğunda, ilk alev çekirdeği ortaya çıkar ve ani bir şekilde hızlıca yanma gerçekleşir. Bu duruma **kontrolsüz yanma** denir (Şekil 5.50: B-C arası).

Kontrolsüz yanma sonunda enjektörden püskürtülen yakıt, püskürtme bitene kadar enjektörden çıkar çıkmaz sürekli yanar. Bu duruma **kontrollü yanma** denir (Şekil 5.50: C-D arası).

Yakıtın püskürtülmesi bittiği hâlde silindir içindeki yanmamış yakıtların oksijen buldukça yanmaya devam etmesine **gecikmiş yanma** denir (Şekil 5.50: D-E arası).



Şekil 5.50: Dizel motorlarda yanma evreleri

Bakımlı ve düzgün çalışan bir gemi makinesinde yakıt, olması gerektiği gibi yakılır. Yakıtın düzgün yanması yakıt tüketimi açısından önemlidir. Dizel gemi makinelerinde yakıt tüketiminin hesaplanabilmesi için makineye giren yakıt miktarı ile makinenin volanından çıkan gücün bilinmesi gerekir. Birim zamanda makineye giren yakıt miktarı debimetreden, makinenin ürettiği güç ise dinamometreden okunur. Birim güç (efektif güç) elde edilebilmesi için birim zamanda kullanılan yakıt miktarına **özgül yakıt tüketimi** denir. Aşağıdaki bağıntılar kullanılarak makinenin yakıt tüketimi belirli bir zaman dilimi için hesaplanabilir.

b_e : Özgül yakıt tüketimi (kg/kW.s) B : Motorun saatte tükettiği yakıt miktarı (kg/s) N_e : Efektif güç (kW) H_u : Yakıtın ısıl değeri (kJ/kg)	$b_e = \frac{B}{N_e}$ veya $b_e = \frac{1}{\eta_e \cdot H_u}$

Yakıtlar birçok özelliğe göre sınıflandırılır. Yanma için önemli özelliklerden biri de ısıl değerdir ve yakıtın yanma sonrası vereceği enerjiyi belirtir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1: Bazı Yakıtların Yaklaşık Isıl Değerleri

Yakıt	Isıl Değer (H_u = kj/kg)
Ham petrol	38900
Motorin	42300
Marine dizel	42000
Fuel-oil	40500
Benzin	43150
Doğal gaz	34500

Örnek 43: Hesaplamalara göre %20 efektif verim ve marine dizel yakıtla çalışan bir makinenin özgül yakıt tüketiminin kaç g/kW.h olduğunu hesaplayınız. (Marine dizel için H_u = 42000 kj/kg)

Verilenler:	**Çözüm:**
$\eta_e = 0,20$ 3600 kj = 1 kW.h ise H_u = 42000 kj/kg = 11,66 kW.h/kg b_e = ? g/kW.h	$b_e = \frac{1}{\eta_e \cdot H_u}$ $b_e = \frac{1}{0,20 \cdot 11,66}$ b_e = 0,43 kg/kW.h = **430 g/ kW.h**

Örnek 44: Bir motorun belirli bir devirde, 1 saatte tükettiği benzin miktarı debimetreden 9 kg, ürettiği efektif güç miktarı ise dinamometreden 40 kW olarak okunmuştur. Bu motorun özgül yakıt tüketiminin kaç kg/kW.h olduğunu ve efektif verimini hesaplayınız. (Benzin için H_u = 43150 kj/kg)

Verilenler:	**Çözüm:**
B = 9 kg/h N_e = 40 kW b_e = ? kg/kW.h η_e = ?	$b_e = \frac{B}{N_e}$ **be = 0,225 kg/kW.h** H_u = 43150 kj/kg = 11,99 kW . h/kg $\eta_e = \frac{N_e}{B \cdot H_U} = \frac{40}{9 \cdot 11,99} = 0,37$ **η_e = %37**

duruma **valf overlap** (supa

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan yerlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise (D), yanlış ise (Y) yazınız.

1. ( ) Her yerinde aynı özelliğe sahip homojen maddelere karışım denir.

2. ( ) Sabit sıcaklıkta, kapalı kaptaki bir gazın basıncı ile hacminin çarpımı daima sabittir.

3. ( ) P-V diyagramı eğrisi altında kalan alan, sistem tarafından yapılan işe eşittir.

4. ( ) Motor volanından alınan güce pervane gücü denir.

5. ( ) Mekanik verim, efektif gücün indike güce oranıdır.

B) Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Dizel gemi makinelerinde silindir içinde yanma sonucu ortaya çıkan güce ..... denir.

2. Silindir içerisine püskürtülen yakıtın tamamı oksijenle reaksiyona girerse bu duruma ..... yanma denir.

3. Yakıtın enjektör tarafından püskürtülmeye başlandığı andan ilk alevin ortaya çıkmasına kadar geçen süreye ..... denir.

4. Birim güç (efektif güç) elde etmek için birim zamanda kullanılan yakıt miktarına ..... denir.

5. Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağı ile düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı arasında en yüksek verimle çalışan teorik ısı makinesi çevrimine ..... denir.

C) Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. SI birim sisteminde Avogadro sayısı kadar aynı tür tanecik içeren sisteme ne denir?

A) 1 derece **B)** 1 kilogram **C)** 1 metre **D)** 1 mol **E)** 1 saniye

2. 0,5 mol Fe atomu kaç gramdır? (Fe = 56)

B) 24 **B)** 26 **C)** 28 **D)** 30 **E)** 32

3. Sabit sıcaklıkta, hacmi değişebilen kapalı bir silindirin içinde 20 kPa basınçtaki gaz 5 m^3 hacim yer kaplamaktadır. **Silindirin hacmi 5 m^3 arttırıldığında gazın basıncı kaç kPa olur?**

A) 5 **B)** 10 **C)** 15 **D)** 20 **E)** 25

4. Sabit basınçta, kapalı bir silindirin içinde 50 °C sıcaklıktaki gaz 5 L hacim yer kaplamaktadır. **Kabın sıcaklığı 200 °C'ye çıkarıldığında gazın hacmi kaç litre olur?**

A) 10 **B)** 20 **C)** 30 **D)** 40 **E)** 50

5. Sabit hacimli bir silindirde bulunan gazın sıcaklığı 300 K basıncı 15 kPa'dır. **Bu gazın basıncı 5 kPa artırıldığında son sıcaklık kaç Kelvin olur?**

A) 400 **B)** 410 **C)** 420 **D)** 430 **E)** 440

6. İdeal bir gaz için çeşitli koşullarda basınç, hacim ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi inceler. **İdeal gaz kanunu aşağıdaki hangi bağıntı ile ifade edilir?**

A) P . n = R . T **B)** P . v . R = m **C)** P . T = V . R
D) P . T = m . R **E)** P . v = R . T

7. Kapalı silindirik bir kapta sıcaklığı 100 K, basıncı 287 Pa olan 2 mol hava bulunmaktadır. **Havanın hacmi kaç m^3'tür? (R_{hava} = 0,287 kj/kg.K)**

A) 0,01 **B)** 0,05 **C)** 0,1 **D)** 0,15 **E)** 0,2

8. Termodinamik bir sisteme ait T-s diyagramı eğrisi altında kalan alan aşağıdakilerden hangisine eşittir?

A) Buharlaşma **B)** Güç alışverişi **C)** Isı alışverişi
D) İş alışverişi **E)** Yoğuşma bölgesi

9. Bir silindirin içinde 500 kPa basıncındaki hava, 0,01 m^3 hacimden 0,02 m^3 hacme kadar sabit sıcaklıkta genişletilmektedir. **Havanın son basıncı kaç kPa'dır?**

A) 210 **B)** 220 **C)** 230 **D)** 240 **E)** 250

10. Serbest hâldeki termodinamik bir sistemde düzensizliğin ölçüsüne ne ad verilir?

A) Adyabatik **B)** Entalpi **C)** Entropi **D)** Hacim **E)** Basınç

11. Bir ısı makinesi çevrimi sırasında çevreye atılan ısı 50 kJ ve makineden elde edilen iş 150 kJ'dür. **Bu makinenin ısıl verimi aşağıdakilerden hangisidir?**

A) %55 **B)** %60 **C)** %65 **D)** %70 **E)** %75

12. Dört stroklu, 3 silindirli dizel bir motorun kurs hacmi 0,001 m^3'tür. **Dakikada 1200 devir ile çalışan ve ortalama piston basıncı 1000 kPa olan bu motorun indike gücü kaç kW'dır?**

A) 20 **B)** 30 **C)** 40 **D)** 50 **E)** 60

13. Yanma sonucu oluşan ısının yararlı işe dönüştürülme oranına ne denir?

A) Kayıp verim **B)** Mekanik verim **C)** Pervane verimi
D) Termik verim **E)** Volümetrik verim

14. Doğal emişli (aşırı doldurması olmayan) bir motorda silindir içerisine alınan havanın hacminin silindir hacmine oranına ne denir?

A) Hacimsel verim
B) Isıl verim
C) Mekanik verim
D) Pervane verimi
E) Termik verim

15. Aşağıdakilerden hangisi dizel motorlarda yanmanın oluşumu açısından doğrudur?

A) Egzoz zamanı başlangıcında yakıt kendiliğinden yanar.
B) Emme zamanı başlangıcında yakıt buji tarafından ateşlenerek yanar.
C) Emme zamanı sonunda yakıt buji tarafından ateşlenerek yanar.
D) Genleşme zamanı sonunda yakıt buji tarafından ateşlenerek yanar.
E) Sıkıştırma zamanı sonunda yakıt kendiliğinden yanar.

16. Aşağıdakilerden hangisinde yanma aşamaları doğru sıralamayla verilmiştir?

A) Gecikmiş yanma- Tutuşma gecikmesi- Kontrollü yanma- Kontrolsüz yanma
B) Kontrollü yanma- Tutuşma gecikmesi- Kontrolsüz yanma- Gecikmiş yanma
C) Kontrolsüz yanma- Kontrollü yanma- Tutuşma gecikmesi - Gecikmiş yanma
D) Tutuşma gecikmesi- Kontrollü yanma- Gecikmiş yanma- Kontrolsüz yanma
E) Tutuşma gecikmesi- Kontrolsüz yanma- Kontrollü yanma- Gecikmiş yanma

17. Aşağıdaki teorik çevrimlerden hangisi günümüz modern dizel motorların çalışmasına yakın bir çevrimdir?

A) Carnot çevrimi
B) Isı pompası çevrimi
C) Karma çevrim
D) Otto çevrimi
E) Rankine çevrimi

18. Termodinamikte yoğuşmanın sınırında olan buhar nasıl adlandırılır?

A) Doymuş buhar **B)** Kızgın buhar **C)** Kuru buhar
D) Sıkıştırılmış buhar **E)** Sıvı buhar

19. Yüksek sıcaklıktaki ortamı ısıtma amacıyla kullanılan cihazlara ne denir?

A) Buzluk **B)** Evaporatör **C)** Genleşme valfi
D) Isı pompası **E)** Kondenser

20. Aşağıdakilerden hangisi gemilerde yiyeceklerin saklanması, kargo alanlarının ve yaşam mahallerinin soğutulması gibi uygulamalar için kullanılan teorik çevrimlerdir?

A) Buhar güç çevrimleri
B) Buhar soğutma çevrimleri
C) Dizel çevrimi
D) Gaz güç çevrimleri
E) Isı pompası çevrimi

21. Aşağıdakilerden hangisi soğutucu akışkanın ortama ısı vererek yoğuşmasını sağlar?

A) Evaporatör
B) Genleşme valfi
C) Kondenser
D) Pompa
E) Türbin

22. Aşağıdakilerden hangisi soğutucu akışkanın ortamdan ısı çekerek buharlaşmasını sağlar?

A) Evaporatör
B) Genleşme valfi
C) Kondenser
D) Pompa
E) Türbin

23. Aşağıdakilerden hangisi teorik Otto çevriminin özelliklerindendir?

A) Teorik Otto çevriminde ısı girişi sabit hacimde gerçekleşir.
B) Teorik Otto çevrimi üç evreden meydana gelir.
C) Teorik Otto çevrimi sıkıştırmayla ateşlemeli pistonlu motorlarda kullanılan çevrimdir.
D) Teorik Otto çevrimi soğutma amaçlı kullanılan bir çevrimdir.
E) Teorik Otto çevriminde ısı çıkışı sabit basınçta gerçekleşir.

24. Aşağıdakilerden hangisi Dizel çevriminin özelliklerindendir?

A) Teorik Dizel çevrimi beş evreden meydana gelir.
B) Teorik Dizel çevriminde sıkıştırma sabit hacimde gerçekleşir.
C) Teorik Dizel çevrimi buji ateşlemeli pistonlu motorlarda kullanılan çevrimdir.
D) Teorik Dizel çevriminde adyabatik genişleme sırasında ısı alışverişi olmaz.
E) Teorik Dizel çevrimi buharlı güç santrallerinde kullanılan çevrimdir.

25. İki stroklu gerçek dizel motorlarda bir çevrim krankşaftın kaç turunda gerçekleşir?

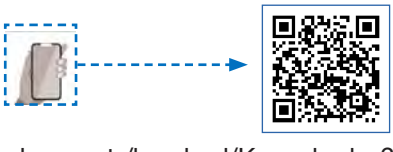
A) 1 **B)** 2 **C)** 3 **D)** 4 **E)** 5

- Aksel ÖZTÜRK, Abdurrahman KILIÇ, Hasbi YAVUZ, *Termodinamik Isı Geçiş Tabloları*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 2014.
- Ali SÜRMEN, M.İhsan KARAMANGİL, Rıdvan ARSLAN, *Motor Termodinamiği*, Aktüel 16, Bursa, 2019.
- Fahrettin KÜÇÜKŞAHİN, *Ansiklopedik Bilimsel ve Teknik Denizcilik Sözlüğü*, Akademi Denizcilik, İstanbul, 2006.
- Fahrettin KÜÇÜKŞAHİN, *Uygulamalı Termodinamik*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2012.
- Ferhat SARI, *Termodinamik Tarihine Kısa Bir Bakış*, Ginko Bilim, İstanbul, 2019.
- Fevzi KÖKSAL, Rahmi KÖSEOĞLU, *Isı Termodinamik ve İstatistik Fizik*, Nobel Yayınları, Ankara, 2013.
- Francis W. SEARS, Gerhard L. SALINGER, *Termodinamik Kinetik Kuram ve İstatistik Termodinamik*, (Çev. Nuri Ünal), Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2002.
- J.L. MERIAM, L.G. KRAIGE, *Mühendislik Mekaniği Dinamik* (Çev. Paşa Yayla), Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2016.
- James E. McCLELLAN III, Harold DORN, *Dünya Tarihinde Bilim ve Teknoloji*, (Çev. Haydar Yalçın), Akılçelen Kitaplar, 3. Baskı, Ankara, 2018.
- Karl F. KUHN, *Temel Fizik Herkes İçin Fizik*, (Çev. A. Güneş Tanır, Kemal Koç), Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2016.
- Mesleki ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, *Denizcilik Alanı Çerçeve Öğretim Programı*, Ankara, 2020.
- Mesleki ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, *Mekanik ve Termodinamik-11 Ders Bilgi Formu*, Ankara, 2020.
- Onkar SINGH, *Applied Thermodynamics*, New Age International Publishers, Third Editon, New Delhi, 2009.
- R. C. HIBBELER, S.C. FAN, *Mühendislik Mekaniği Statik*, (Çev. Ayşe Soyuçok, Özgün Soyuçok), Literatür Yayınları, İstanbul, 2005.
- R.C. HIBBELER, *Mukavemet*, (Çev. Ed. Alaeddin Arpacı, Çev. Adil Yücel, Çağrı Mollamahmutoğlu, Murat Tosun, Osman Bulut, Şenol Ataoğlu), Palme Yayınevi, Ankara, 2019.
- R.C. HIBBELER, *Mühendislik Mekaniği Dinamik*, (Çev. Ayşe Soyuçok, Özgün Soyuçok), Literatür Yayınları, İstanbul, 2004.

GENEL AĞ KAYNAKÇASI

- http://www.tubaterim.gov.tr/ (Erişim tarihi: 25.03.2021)
- https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/32672/mod_resource/content/0/6.%20HAFTA-HAREKET.pdf (Erişim tarihi: 22.04.2021 22.15).
- https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/32673/mod_resource/content/0/7.%20HAFTA-HAREKET.pdf (Erişim tarihi: 14.04.2021 17.39).
- https://sozluk.gov.tr/ (Erişim tarihi: 20.08.2021).
- https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Mukavemet.pdf (Erişim tarihi: 19.05.2021 19.25).
- https://www.tdk.gov.tr/tdk/kurumsal/yazim-kilavuzu/ (Erişim tarihi: 20.08.2021).
- https://www.ume.tubitak.gov.tr/tr/si-birimleri (Erişim Tarihi: 09.03.2021 19.03).

GÖRSEL KAYNAKÇASI



http://kitap.eba.gov.tr/karekod/Kaynak.php?KOD=2707

1. Öğrenme Birimi Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı

A.

1. D **2.** Y **3.** D **4.** D

B.

1. statik **2.** kuvvet çifti **3.** mesnet **4.** ağırlık merkezi **5.** moment

C.

1. M = 450 N . m

2. H_B = - 250 N V_B = 1021,25 N V_A = 1128,75 N

3. V_B = 1414 N

4. a) 100 cm

b) 87,5 cm

5. X_0 = 6,396 cm Y_0 = 5,031 cm

6. X_0 = 4,782 cm Y_0 = 4,543 cm

2. Öğrenme Birimi Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı

A.

1. Y **2.** D **3.** Y **4.** D

B.

1. periyodik (dinamik) yükler **2.** emniyet katsayısının **3.** akma sınırı

C.

1. E **2.** D **3.** E **4.** D

Ç.

1. 500 daN/cm^2

2. 40 daN/cm^2

3. 250 daN/cm^2

4. 217,78 cm

5. 2034,72 daN

6. A = 1,277 cm^2 ve τ = 2868,441 N/cm^2

7. σ_b = 50 daN/cm^2 ve F = 150 N

8. 90 daN/cm^2

9. d = 5,514 cm

10. F = 23680 N

3. Öğrenme Birimi Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı

A.

1. D **2.** Y **3.** Y **4.** D **5.** Y **6.** D

B.

1. merkezkaç kuvvet

2. hız

3. iş

4. güç

5. kütle ve hız

6. yerden yüksekliğe

7. sürtünme kuvvetleri

C.

1. B **2.** B **3.** E **4.** D **5.** B **6.**A **7.** E **8.** C **9.** E

10. B **11.** D **12.** E **13.** B **14.** D **15.** E **16.** D **17.** E **18.** C

4. Öğrenme Birimi Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı

A.

1. D **2.** Y **3.** D **4.** D **5.** Y

B.

1. kapalı **2.** iş **3.** basınç **4.** yoğunluk **5.** ısı transferi

C.

1. E **2.** A **3.** D **4.** D **5.** E **6.** C **7.** A **8.** B **9.** A **10.** A

5. Öğrenme Birimi Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı

A.

1. Y **2.** D **3.** D **4.** Y **5.** D

B.

1. indike (iç) güç **2.** tam **3.** tutuşma gecikmesi **4.** özgül yakıt tüketimi **5.** Carnot çevrimi

C.

1. D **2.** C **3.** B **4.** B **5.** A **6.** E **7.** E **8.** C **9.** E **10.** C **11.** E **12.**B **13.** D

14. A **15.** E **16.** E **17.** C **18.** A **19.** D **20.** B **21.** C **22.** A **23.** A **24.** D **25.** A

TEK NUMARADA BİRLEŞTİ!



Ülkemizde farklı acil yardım çağrıları için kullanılan 7 kuruma ait acil çağrı numaralarının (İtfaiye: 110, Jandarma: 156, Polis: 155, Sağlık: 112, Orman: 177, Sahil Güvenlik: 158, AFAD: 122) tek numara (112) altında toplanması amacıyla geliştirilmiştir.