

YANGIN DİNAMIĞI VE GÜVENLİĞİ

Doç. Dr. Gökhan COŞKUN

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ

YANGIN VE YANGIN GÜVENLİĞİ BÖLÜMÜ

Yangın Nedir ?

Yangın (Fire): Tutuşmanın veya yanmanın bir hali

Yanma (Combustion): Yakma işleminin prosesi veya eylemi.

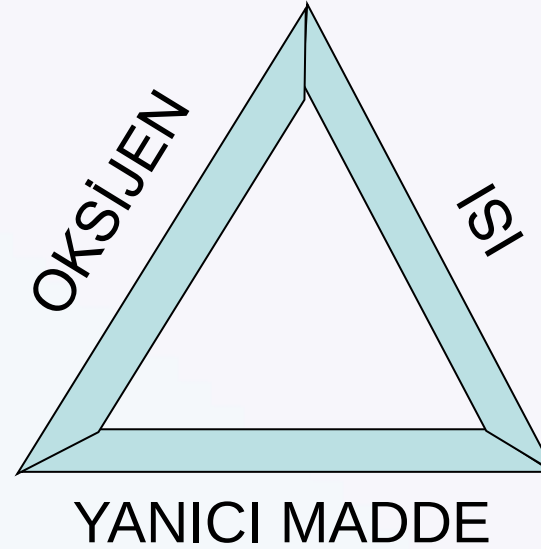
Oksidasyon (oxidation) : Yanıcı maddenin oksijen ile kimyasal kombinasyonu

Tüm bu açıklamaları pratikteki yangın anlayışımız ile birleştirdiğimizde şu şekilde genel bir açıklama ortaya çıkmaktadır:

Yangın yakıt ve atmosferik oksijenin kimyasal reaksiyon içerir. Bir kere başladığında kendi kendini beslemeye (yangının başlaması için gerektiren ısı enerjisini sürekli ortaya çıkaran) devam eden, yüksek sıcaklık ve ısı ve ışık yayan kontrolsüz yanma olayına denir.

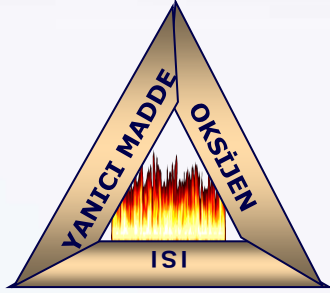
Yangın üçgeni

Yanma olayının oluşabilmesi için aşağıdaki yanıcı madde, ısı ve oksijenin bir arada bulunması gerekir. Bu olaya “Yangın Üçgeni” adı verilir.

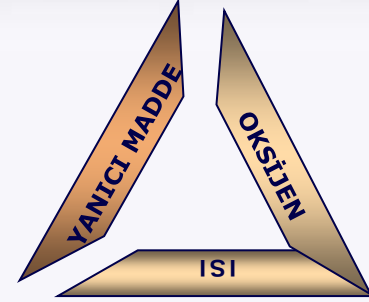


(Yanıcı Madde + Oksijen + Isı)

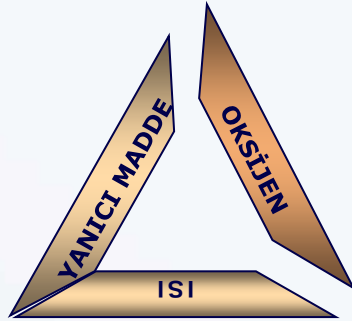
YANMA KOŞULLARI



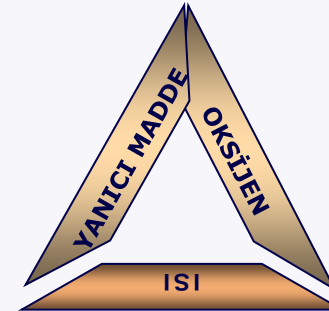
Her üç şart bir arada ve yeter miktardadır. O halde yanma olayı vardır.



Yanıcı madde yoktur. Yanma yoktur.



Oksijen yoktur veya yeterli miktarda değildir. Yanma da yoktur.



Isı yoktur veya yeterli değildir. Yanma yine yoktur.

Yangın Tetrahedronu

- Yangın üçgeninin yanında günümüzde daha fazla kullanılmaya başlayan bir kavramdır.
- Yakıt, ısı ve oksijene ek olarak kimyasal zincirleme reaksiyon da yangın için gerekmektedir.



(Yanıcı Madde + Oksijen + Isı + Zincirleme Reaksiyon)

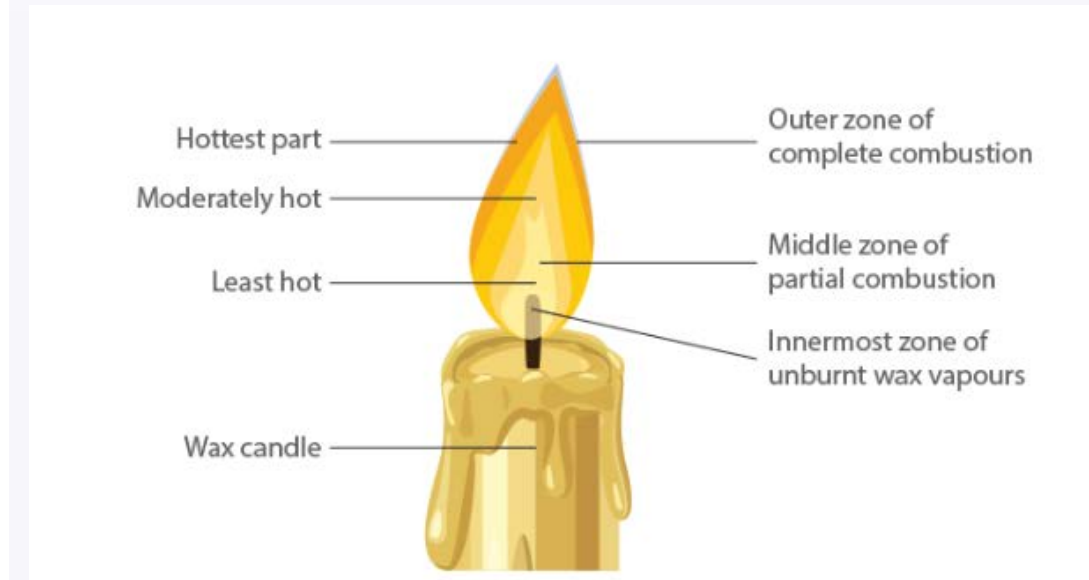
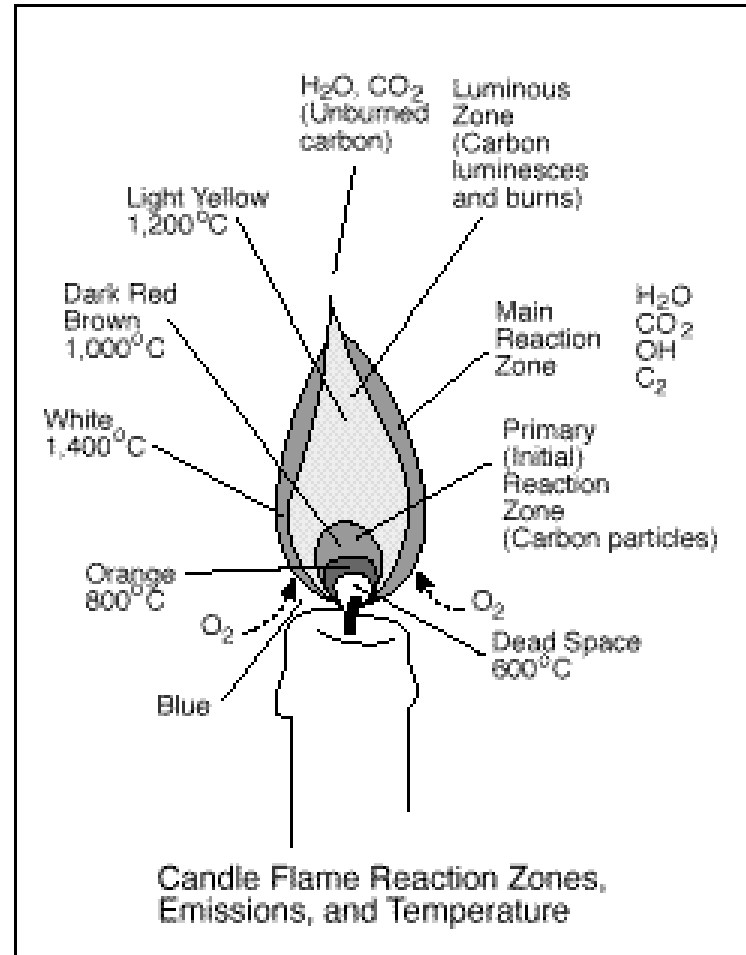
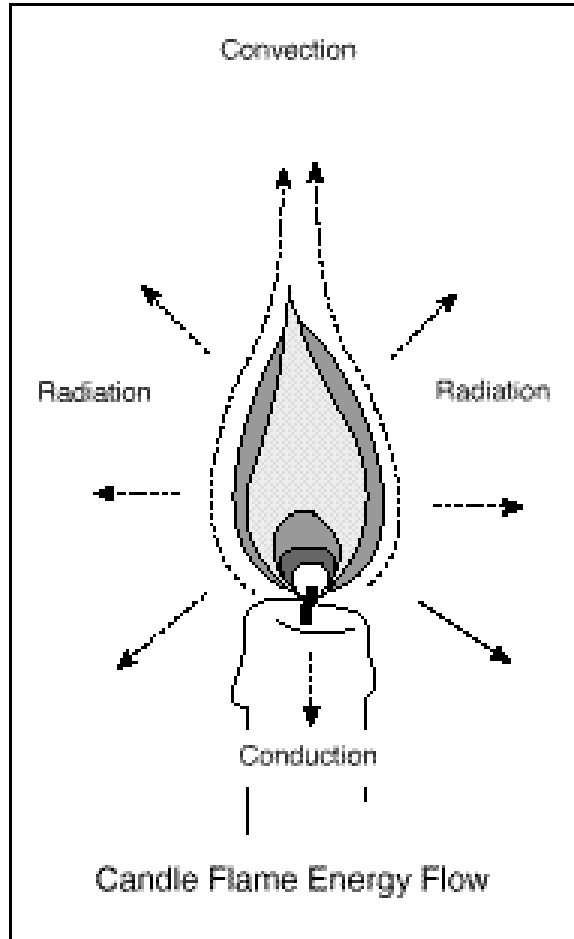
Oksitleyici

Kuru hava % 20.95 O₂ ve % 78.9 N₂ den oluşmaktadır.

- Odalarda veya mekanlarda bulunan mobilya yangınlarından çıkan egzoz gazları oksijenin yanıcı madde ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır.
- Bu durumlarda kapılar, pencereler gibi havalandırma yapılabilen bölgeler kritik öneme sahiptirler.
- Oksijenin yokluğu yangının büyümesini baskılamakta ve yanmanın doğal prosesini değiştirebilmektedir. Bu yangınlar **HAVALANDIRMA KONTROLLÜ** olarak isimlendirilirler.
- Yangı bazen görünürde alevsiz de olabilmektedir.
- Bazen Sıcaklık yüksek iken ve yakıt yanmamış katı yakıt ve gaz fazında yanıcı ürünlerden oluşabilmektedir.
- Bu durumda yangın üçgeninin 3. bileşeni olan oksijen odaya girdiğinde, oda aniden alev ile kaplanabilir. Bu durum **YANGIN PATLAMASI** olarak bilinmektedir.

Yakıt

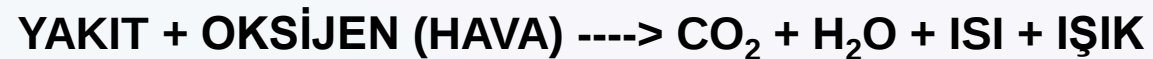
- Tipik bir ev odası yakıt ile doludur, örneğin; mobilyalar, halılar, kitaplar, duvar kaplamaları (boya ve duvar kağıtları), perdeler, dekoratif mobilyalar, duvarlar, zemin ve zemin kaplamaları, çatı ve son olarak bina sakinleri !!!
- Bir döşemeli koltuk, koltuğu oluşturan ahşap iskelet ve poliüretan sünger dolgunun toplam 52 kg geldiğini varsayarsak bir yangın esnasında (300 saniye içerisinde) 3.2 MW ısı açığa çıkarabilmekte ve yangının en alevli anında 4.5 kg/s CO üretimi olabilmektedir.
- Yakıtlar fiziksel olarak üç fazda olabilmektedirler, **GAZ, SIVI VE KATI**
- **Havada bulunan** O_2 ile reaksiyon sonucu oluşan alev, yanma ürünleri ve ısı açığa çıkarmaktadır. Görünmez alev bölgesinde kimyasal reaksiyonların ortaya çıkmaktadır yani alevin bir **GAS FAZINDAKİ BİR FENOMEN** olduğu bilinmektedir.



Candle flame diagrams adapted from "The Science of Flames" poster, National Energy Foundation, Salt Lake City, UT.

Yakıt

- Parlamalı yangınlarda katı ve sıvı yakıtlar gaz fazında geçmek zorundadırlar.
- Sıvı yakıtlar bu duruma buharlaşmalı kaymana ile ulaşırlar.
- Katı yakıtlar için, katı yakıt kimyasal olarak **ISILKIRIM (PYROLSIS)** yolu ile ayrışarak uçucu gazları oluştururlar.
- Tüm yakıtlar yanma esnasında ısı ve ışığa dönüşecek kimyasal enerjiyi içermektedirler.
- Birçok yakıt C ve H içerir ve verimli bir şekilde yandıklarında başlangıç hava yakıt karışımından daha az enerjiye sahip olan CO₂ ve H₂O'yu oluştururlar. Yakıtın yanması aşağıdaki temel kimyasal denklem ile tanımlanabilir:



Yakıt

Table 1 Gaz ve sıvı yakıtların özellikleri

İsim	Formül	Erime noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (liq) (kg/m ³)	Molecular weight
Hydrogen	H ₂	−259.3	−252.8	70	2
Carbon monoxide	CO	−199	−191.5	422	28
Methane	CH ₄	−182.5	−164	466	16
Ethane	C ₂ H ₆	−183.3	−88.6	572	30
Propane	C ₃ H ₈	−189.7	−42.1	585	44
<i>n</i> -Butane	<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	−138.4	−0.5	601	58
<i>n</i> -Pentane	<i>n</i> -C ₅ H ₁₂	−130	36.1	626	72
<i>n</i> -Hexane	<i>n</i> -C ₆ H ₁₄	−95	69.0	660	86
<i>n</i> -Heptane	<i>n</i> -C ₇ H ₁₆	−90.6	98.4	684	100
<i>n</i> -Octane	<i>n</i> -C ₈ H ₁₈	−56.8	125.7	703	114
iso-Octane ^c	iso-C ₈ H ₁₈	−107.4	99.2	692	114
<i>n</i> -Nonane	<i>n</i> -C ₉ H ₂₀	−51	150.8	718	128
<i>n</i> -Decane	<i>n</i> -C ₁₀ H ₂₂	−29.7	174.1	730	142
Ethylene (ethene)	C ₂ H ₄	−169.1	−103.7	(384)	28
Propylene (propene)	C ₃ H ₆	−185.2	−47.4	519	42
Acetylene (ethyne)	C ₂ H ₂	−80.4	−84	621	26
Methanol	CH ₃ OH	−93.9	65.0	791	32
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	−117.3	78.5	789	46
Acetone	(CH ₃) ₂ CO	−95.3	56.2	790	58
Benzene	C ₆ H ₆	5.5	80.1	874	78

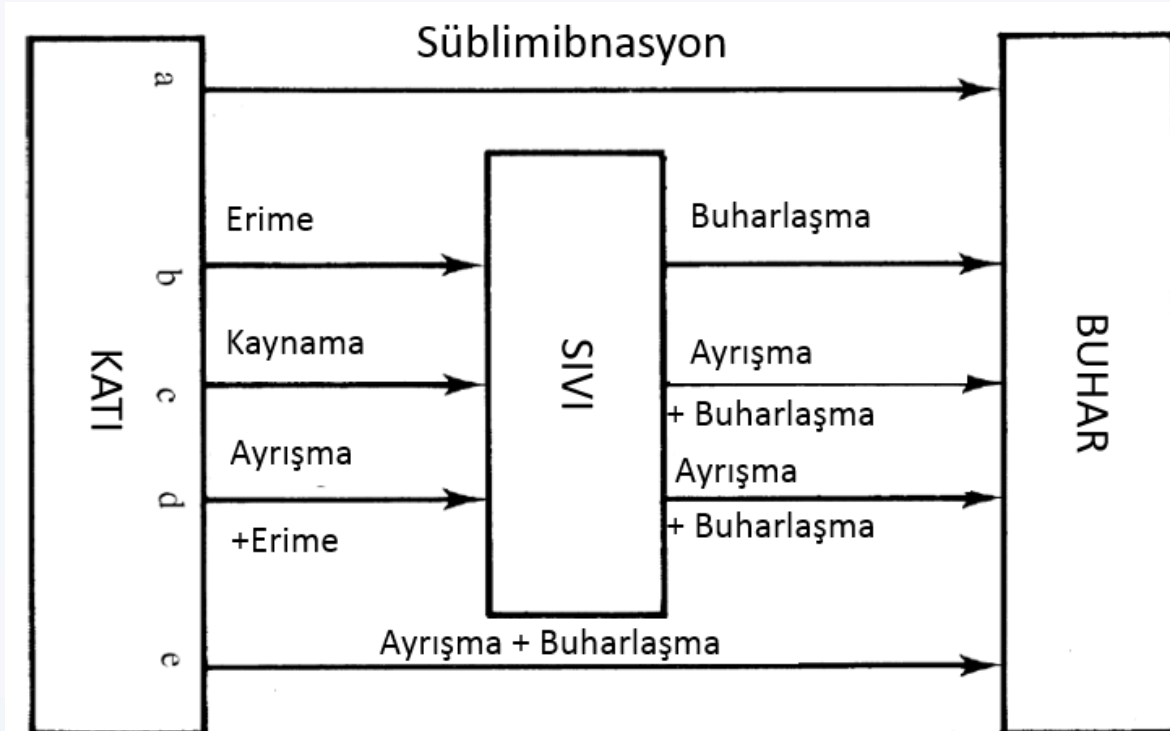
Yakıt

Tablo 2 Bazı katı yakıtların özellikleri

	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı kapasitesi (kJ/kg·K)	Isı İletim katsayısı (W/m·K)	Yanma enerjisi (kJ/g)	Erime noktası (°C)
Doğal Polimerler					
Selüloz	V ^b	~1.3	V	16.1	chars
Termoplastik Polimerler					
Polyethylene					
Düşük yoğunluklu	940	1.9	0.35	46.5	
Yüksek Yoğun.	970	2.3	0.44	46.5	130–135
Polypropylene					
Isotactic	940	1.9	0.24	46.0	186
Syndiotactic				46.0	138
Polymethylmethacrylate	1190	1.42	0.19	26.2	~ 160
Polystyrene	1100	1.2	0.11	41.6	240
Polyoxymethylene	1430	1.4	0.29	15.5	181
Polyvinylchloride	1400	1.05	0.16	19.9	–
Polyacrylonitrile	1160–1180	–	–	–	317
Nylon 66	~ 1200	1.4	0.4	31.9	250–260
Thermosetting polymers					
Polyurethane foams	V	~ 1.4	V	24.4	–
Phenolic foams	V	–	V	17.9	chars
Polyisocyanurate foams	V	–	V	24.4	chars

Polimerlerin Termal Ayrışması ve Kararlılığı

Yanıcı katılardan gaz halindeki yakıtın (uçucu maddeler) oluşumu, neredeyse değişmez bir şekilde, yüzeyde var olan yüksek sıcaklıklarda polimer moleküllerinin **termal ayrışmasını** veya **ısılkırım** (piroliz) ile gerçekleştirir.



Polimerlerin Termal Ayrışması ve Kararlılığı

Açıklama	Mekanizma	Örnekler
a	Süblimasyon	Metenamin
b	Erime ve buharlaşma olmadan kimyasal değişim	Düşük moleküler ağırlıklı parafin mumları, mekanizma (b) ve (c) içermesi muhtemel
c	Erime, ardından ayrışma (piroliz) ve ardından düşük moleküler ağırlıklı ürünlerin buharlaşması	Termoplastikler; yüksek moleküler ağırlıklı mumlar, vb.
d	Uçucu türler vermek üzere daha fazla ayrışan (piroliz) erimiş ürünler üretmek için ayrıştırma	poliüretanlar
e	Doğrudan uçucu türler ve (genellikle) bir katı kalıntı (char) vermek için ayrışma (piroliz)	Selüloz; çoğu ısıyla sertleşen reçineler (standart poliüretanlar değil)

Polimerlerin Termal Ayrışması ve Kararlılığı

Termal kararlılık, bozunma hızının sıcaklıkla nasıl değiştiğini belirleyerek ölçülebilir. Bu sonuçlar çeşitli şekillerde ifade edilebilir, en yaygını pirolizin aşağıdaki gibi basit bir kinetik şemaya göre ilerlediği varsayımından kaynaklanmaktadır:

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = -k' \cdot m$$

Burada m polimerin kütlesini (veya daha doğrusu konsantrasyonu) temsil eder. Bu büyük bir basitleştirme olsa da, oran katsayısının belirlenmesine sağlar. Bununla birlikte, prosesin sıcaklığa bağımlılığının standart bir formda ifade edilmesini de sağlamaktadır.

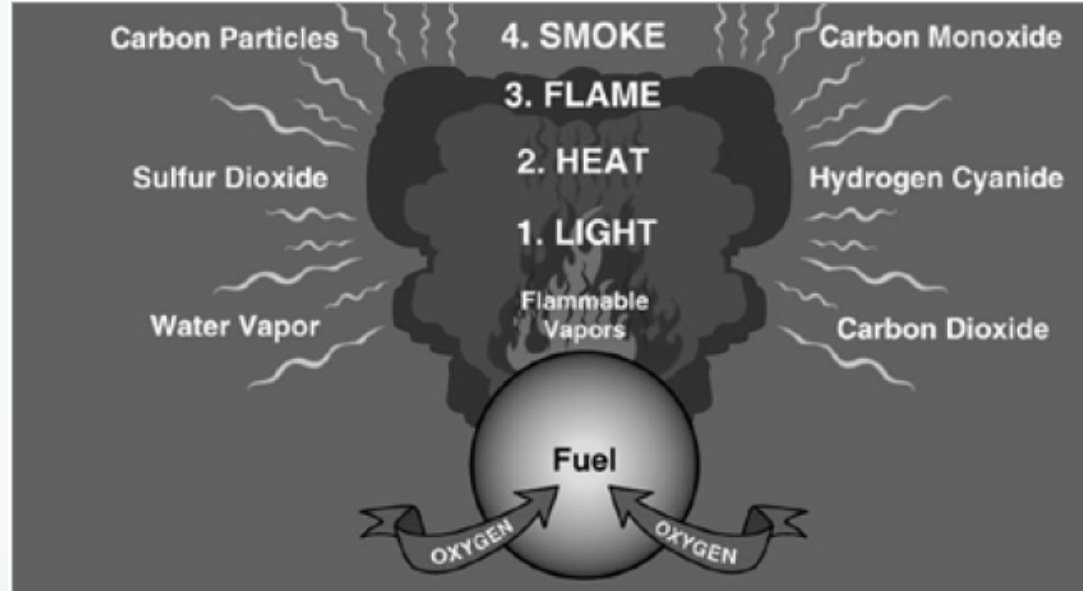
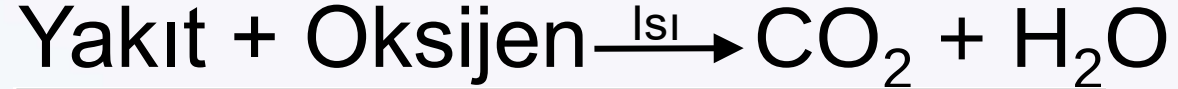
Hız katsayısı için Arrhenius ifadesi;

$$k' = A \exp(-E_A/RT)$$

burada E_A aktivasyon enerjisidir (J/mol), R evrensel gaz sabitidir (8.314 J/K.mol) ve T sıcaklıktır (K). A sabiti üstel faktör olarak bilinir ve bu durumda s^{-1} birimlerine sahip olacaktır.

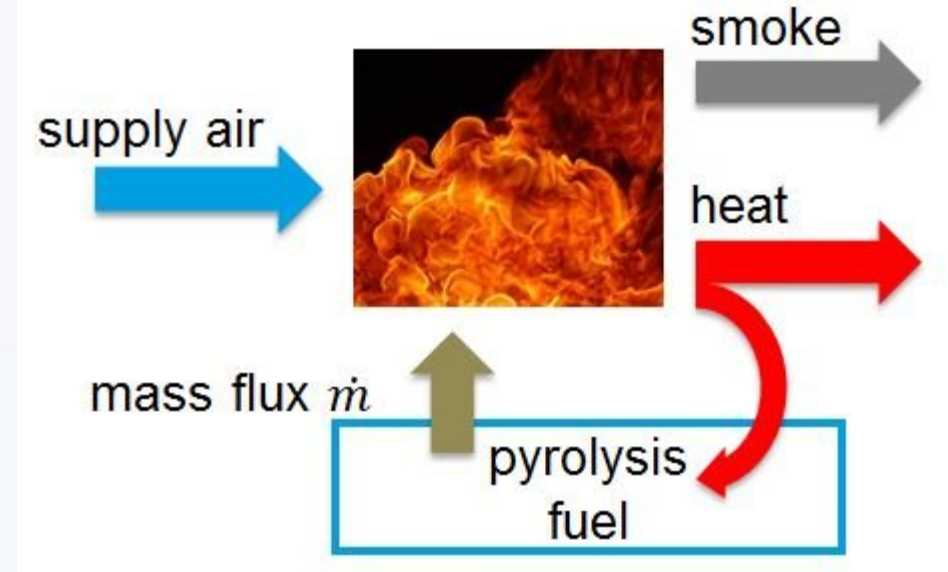
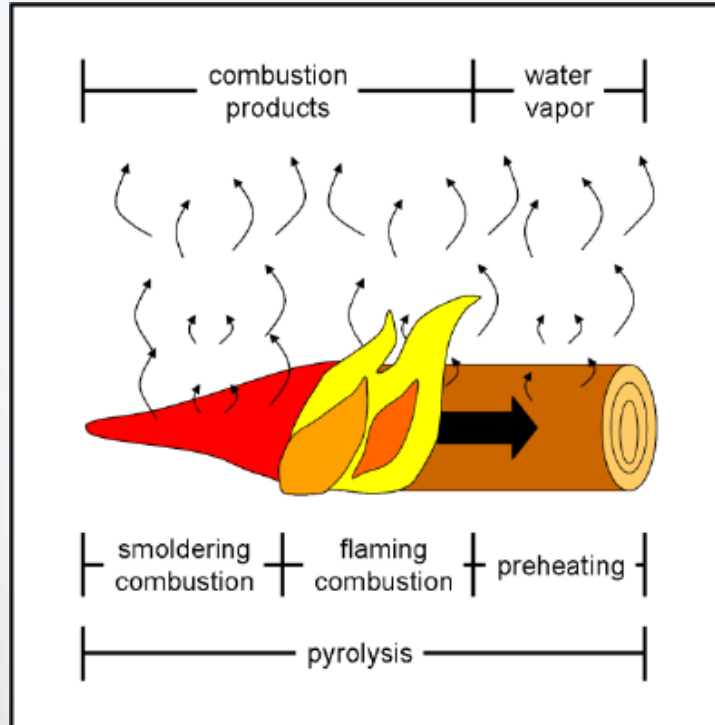
Yangın Kimyası

- **Stokiyometrik (Tam) Yanma:** Yanma reaksiyonları sonucu oluşan gazlarda hiçbir yanıcı madde bulunmuyorsa yanma tamdır. Tam yanmada, yakıt bileşimindeki karbon, hidrojen ve hidrokarbonlar CO_2 ve H_2O 'na dönüşür. Eğer oksijen fazlaysa fakir yanma, oksijen azsa zengin yanma gerçekleşir.



Piroliz (Pyrolysis)

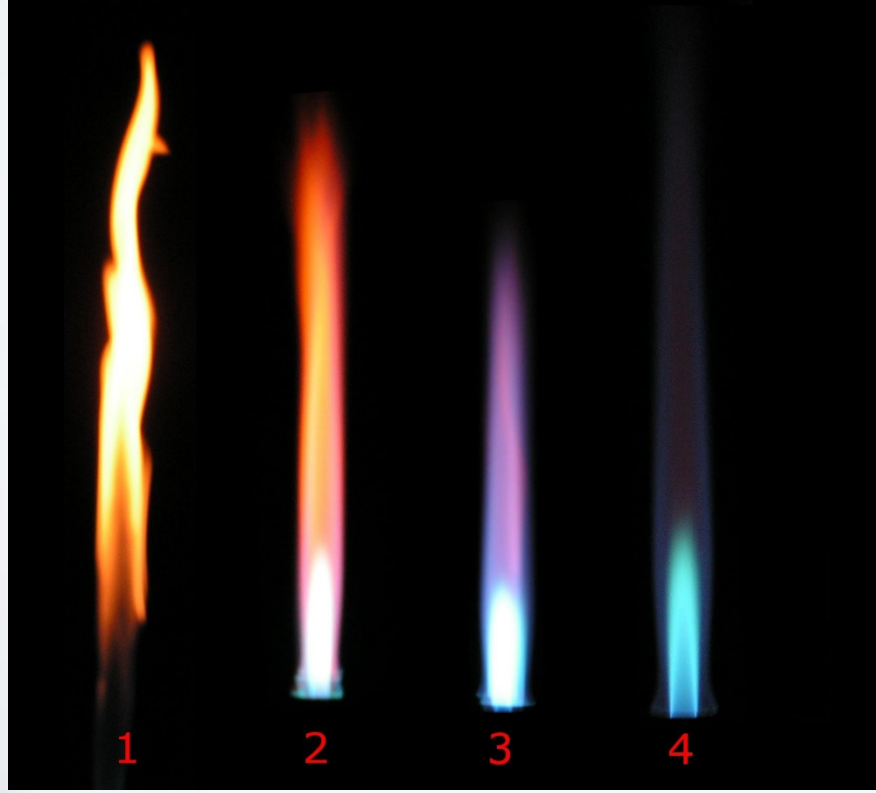
- **Piroliz:** Bir bileşiğin tek başına ısı ile kimyasal olarak bir veya daha fazla başka maddeye ayrışması olayıdır. Malzemelerin yüksek sıcaklıklarda termal ayrışmasıdır. Kimyasal bileşimin değişmesini içerir. Kelime Yunan kökenli elemanlar pyro "ateş" ve lizis "ayırma" dan üretilmiştir.





Alevin Anatomisi

Difüzyon → Ön karışım



Difüzyon alevi ve ön karışım alev karşılaştırması

1. Ön karışım alev, yakıt ve oksitleyici yanmadan önce karıştırıldığında oluşur.
2. Difüzyon alevi, oksijen yanma bölgesinde yakıtla karıştığında ortaya çıkar.

Her iki alev tipi için örnek vermek gerekirse;

- Gazlı ocaklar, doğalgaz sobası, bazı brülörler ön karışım alev ile yanarlar.
- Mum, benzinli tava ateşi, çakmak veya bir ev yangını difüzyon alevi ile yanar.

Alevin Anatomisi

Ön Karışıklı



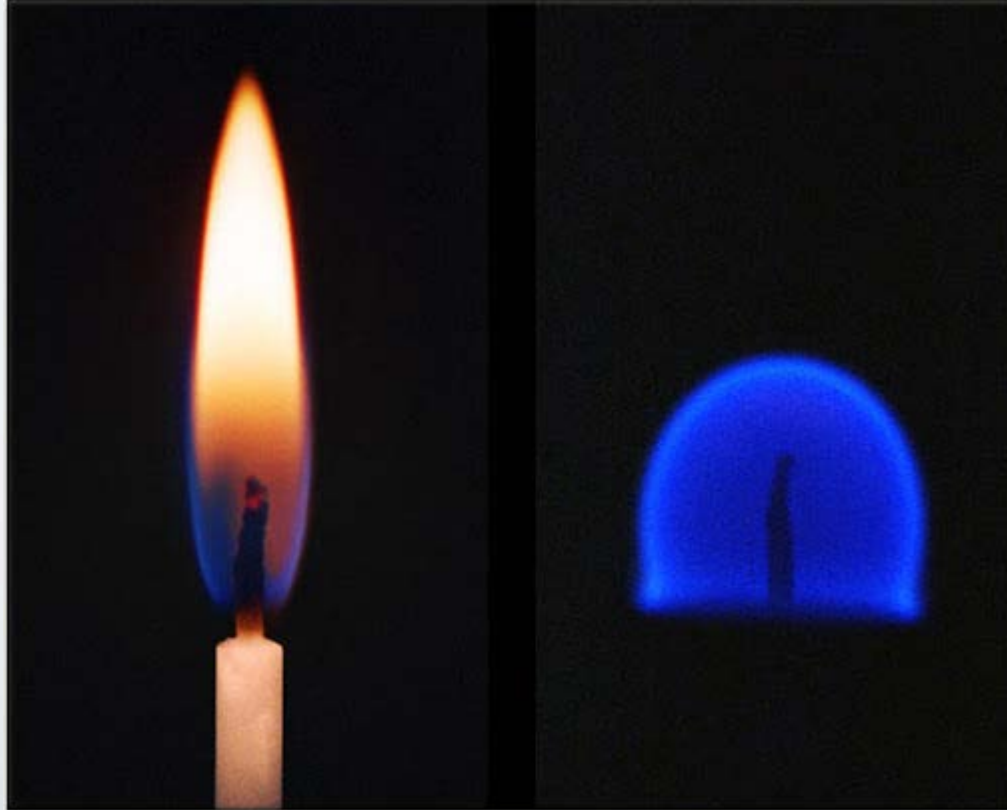
Difüzyon



- Ön karışıklı yanma koşulu bir cihazdan sızan gaz gibi ateşleme altında bir patlamaya neden olabilir.
- Ön karışıklı alevler, daha yüksek yanma verimliliği nedeniyle difüzyon alevlerinden daha yüksek sıcaklıklara ulaşabilir.

Alevin Anatomisi

Normal Yer Çekimi - Mikro yerçekimi



Yerçekimi, piroliz olmuş gazların yukarı akmasına ve alev cephesinin takip etmesine neden olan kaldırma kuvvetleri nedeniyle bir alevin şeklini belirler.

Laminer ve Türbölanslı Alevler

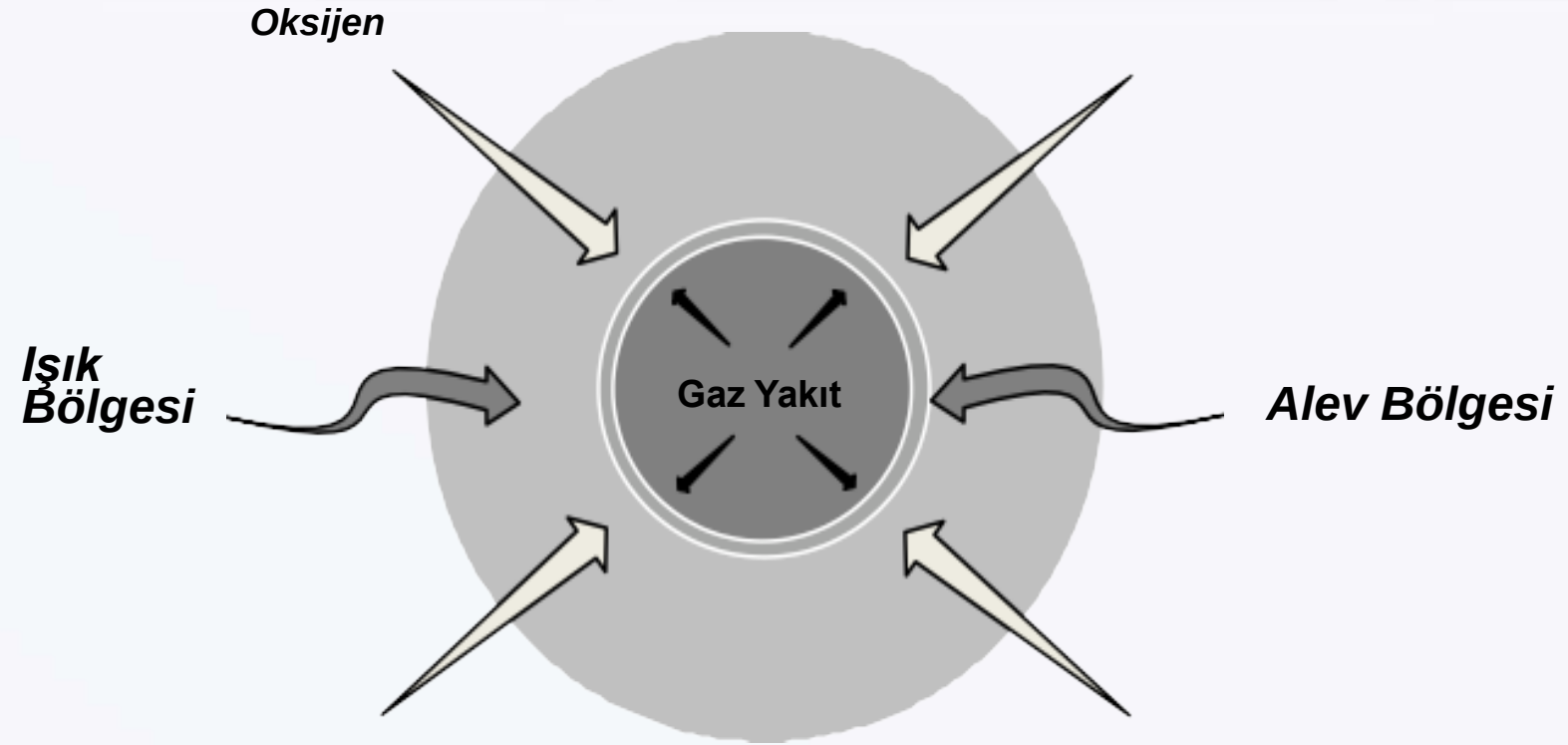


- Alev türleri laminer ve türbölanslıdır. Örneğin Bir mum alevi laminerdir (pürüzsüz). Fakat mum alevinin 15 ila 25 cm üzerindeki alan türbölanslıdır
- Reynolds (Re) sayısı türbölansın boyutsuz bir sayısal ifadesidir.
- Re sayısının artması türbölansın arttığı anlamına gelir



Yangın Kimyası ve Alev Anatomisi

ALEVİN KESİT GÖRÜNTÜSÜ

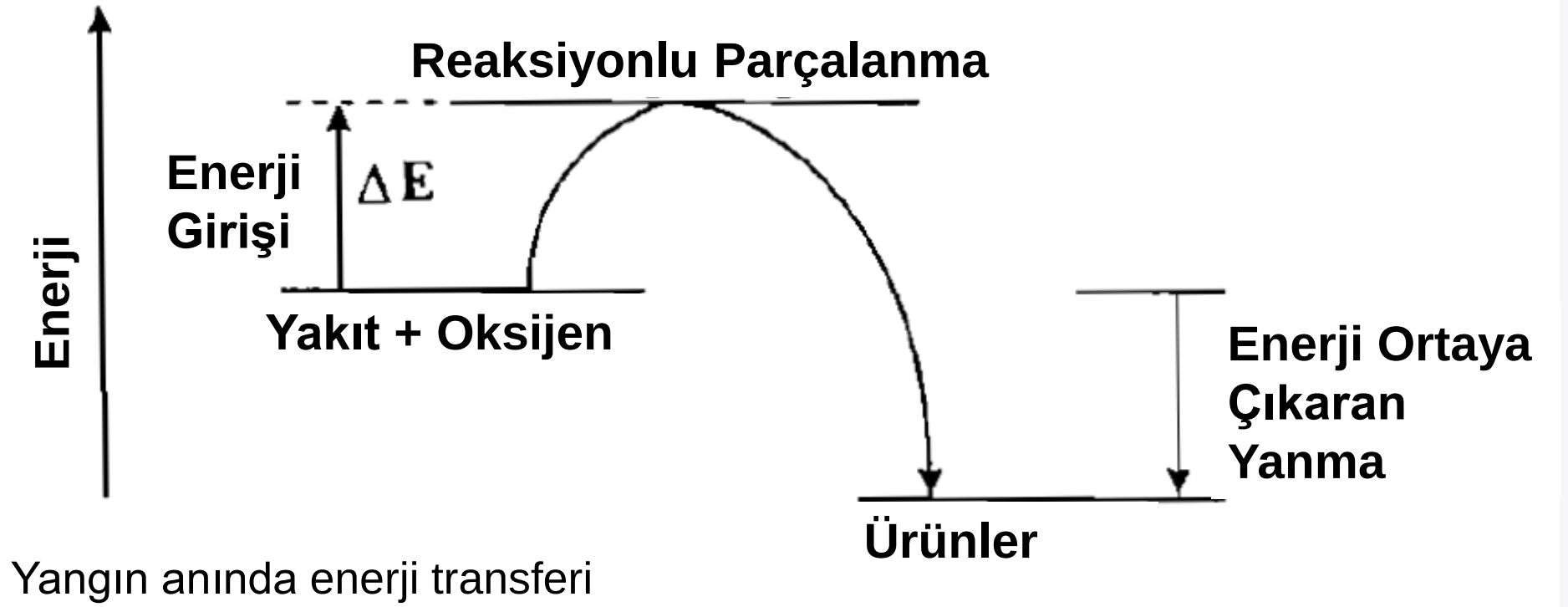


- Alev katı fazda değildir değil; alev çekirdeği çekirdeği yakıttan oluşur
- Alev, yalnızca yakıt ve oksijenin karışmasının meydana geldiği sınırdan oluşur.

Isı

- Bir araç tepeden aşağı toplam enerjisini azaltarak inecektir ve böylece daha stabil bir duruma erişecektir.
- Kimyasal karışımlar eğer enerjilerini düşürecek bir değişim gösterirlerse bu olay onları daha stabil bir duruma getirecektir.
- Bir odun yığını kendiliğinden yanamaz onu yakacak, yanma başlangıcını verecek bir ısı kaynağı (aktivasyon enerjisine) ihtiyaç duyar.
- Yanmayı başlatmak için tutuşmaya ihtiyaç vardır. Bina yangınlarında bu kaynak elektrik kaçaklarından oluşabilecek ark, dikkatsizce atılmış sigara izmariti gibi kaynaklardan başlayabilir. Bir kere yanma başladı mı geri kalan tüm yakıtı yakmak için gereken aktivasyon enerjisini kendiliğinden sağlamış olur. Yanma yakıt ve oksijen kaynağı olduğu müddetçe kendi kendine devam eden bir olaydır.

Isı



Isı

- Yangın yakıtın ve oksidantın ideal bir şekilde hazırlanmadığı veya kurgulanmadığı kontrolsüz yanmaya bir örnektir.
- Yangınlarda genellikle tamamlanmayan ve verimsiz bir şekilde ısı üreten, karakteristik olarak sarı alevli ve çok miktarda ürün oluşturan yanma olaylarını içermektedir..

Ölçü Birimleri

Boyut	Birim
Sıcaklık	Celsius (C), Fahrenheit (F), Kelvin (K)
Enerji	Joules (J), Calories (cal) 1 Cal = 4,184 J
Basınç	1 Pa = 1 N/m ² 1 atm = 101.325 kPa = 1.01325 bar
Isı Salınım Oranı (HRR)	Watt (W), Kilowatts (kW), Megawatts (MW), British thermal unit per pound (Btu)
Isı Akısı	Santimetre kare başına Watt (W/cm ²), Metrekare başına kilovat (kW/m ²)

Yangın dinamiğinde karşılaştırmalı veya kantitatif durumlar için en çok kullanılan dört yaygın ölçüm birimi sıcaklık, enerji, ısı salınım oranı (HRR) ve ısı akısıdır

Temel Kavramlar

- SI biriminde yoğunluk [**kg/m³**]

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Burada ρ = yoğunluk, m= kütle (kg) ve V= hacimdir (m³).

- Gazların ve sıvıların hacmi sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişmektedir. Örneğin suyun yoğunluğu 4 °C'de ve 1 atm'de 1000 kg/m³ 'tür

Temel Kavramlar

MOLE kavramı maddelerin miktarını tanımlamak için kullanılan bir diğer büyüklüktür.

12 gr karbon izotopu 6.02252×10^{23} adet atom içermektedir. Bu sayı **AVAGADRO SABİTİ** olarak bilinmektedir.

Mole Kütlesi

Bir elementin 1 mol atomunun gram olarak kütlesine o elementin mol kütlesi (ya da 1 atom-gramı) denir. Mol kütlesi M_i ile gösterilir, birimi g/mol dır. Bir elementin mol kütlesi, sayıca o elementin atom kütlesine eşittir

Örnek: M_c (karbon) = 12 g/mol,
 M_{O_2} = 32 g/mol

Temel Kavramlar

BASINÇ bir yüzey üzerine etkide bulunan dik kuvvetin, birim alana düşen miktarı. Katı, sıvı ve gazlar ağırlıkları nedeniyle bulundukları yüzeye bir kuvvet uygularlar. Kuvvetin kaynağı ne olursa olsun birim yüzeye dik olarak etki eden kuvvete basınç (P), bütün yüzeye dik olarak etki eden kuvvete de basınç kuvveti (F) denir.

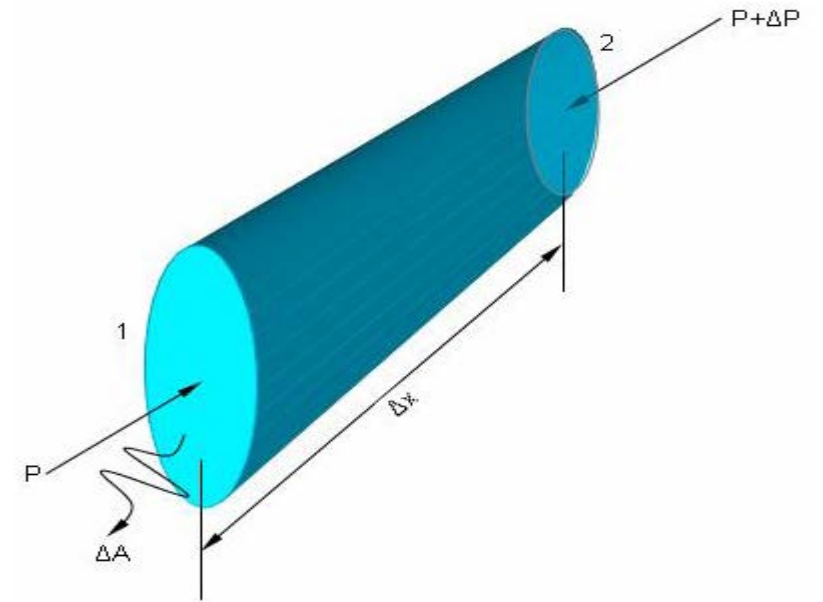
$$P = \frac{F}{A}$$

P : Basınç

F : Kuvvet [Newton (N)]

A : Alan [m²]

SI biriminde basıncın birimi **PASCAL (Pa)** 'dır.



Temel Kavramlar

BASINÇ ve GERİLME

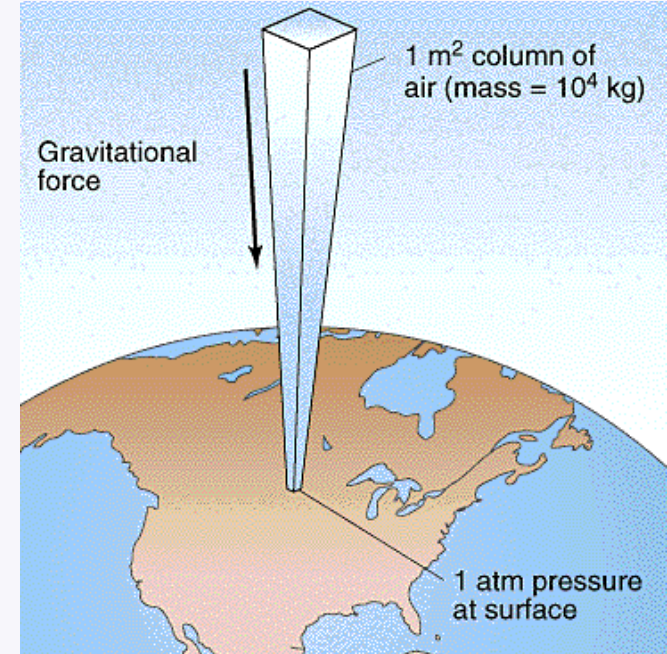
1 n/m² (veya 1 Pa) küçük bir basınç değeridir. Atmosferdeki gazların yaptığı toplam basınç deniz seviyesinde yaklaşık olarak 1.01325×10^5 N/m² dir. Bu değer 1 atmosfer (atm) olarak bilinir.

KESME KUVVETİ (F_t) cisme dik olarak ve ters yönde etki eden ağırlık ve diğer kuvvetlerin cismindeki etkisi olarak da tanımlanabilir.

KAYMA GERİLMESİ (τ) kesme kuvvetinin yüzey alanına oranıdır

$$\tau = \frac{F_t}{A}$$

A : Yüzey Alanı [m²]



Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Sıcaklık

Sıcaklık bir objenin sıcak ve soğuk olduğunu göreceli olarak ifade eden bir tanımlamadır.

Sıcaklık molekül ve atomların titreşim enerjisinin bir göstergesidir. Bir cismin atomları ne kadar güçlü bir şekilde titreşiyorsa sıcaklığı o kadar yüksek olarak tanımlarız.

Kelvin ölçeğinde 0 K (-273.16 °C) **MUTLAK SIFIR** noktası olarak tanımlanır ve bu sıcaklık değerince tüm atomik titreşimler tamamen durur.

$$\text{Sıcaklık (K)} = \text{Sıcaklık (°C)} + 273.16$$

- Buzun erime noktası (1atm) = 0 °C veya 273.16 K veya 32 F
- Suyun kaynama noktası (1atm) = 100 °C veya 373.16 K veya 212 F
- Flashover > 600 °C 1 veya 100 F

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Enerji

İç Enerji, bir maddenin; taneciklerinin öteleme, dönme, titreşim gibi hareketlerinden kaynaklanan kinetik enerji ile fiziksel ya da kimyasal bağları veya nükleonları bir arada tutan kuvvet gibi etkileşimlerinin enerjilerinin toplamını ifade eden kavram. **U** harfi ile sembolize edilir. İç enerji ısıнын bir halidir ve **JOULE (J)** birimi ile ölçülür.

Joule, enerji ve iş birimidir. Kuvvet x Mesafe ile tanımlanır, böylece, **1 J = 1 N.m** 'dir

Eğer bir sisteme enerji girdi olarak eklenirse (oda içerisindeki yangını başlatma gibi) iç enerjideki değişim **du**; sistem içerisine giren enerji (yangından dolayı) **dQ** ve sistem tarafından yapılan iş (hacmin ve basıncın artması) **dW**, arasındaki fark olarak tanımlanır.

Eşitlik olarak tanımlanırsa ; **dU = dQ – dW**

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Enerji

- Termodinamiğin birinci yasası basitçe enerjinin korunduğunu belirtir.
- Sistem tarafından yapılan iş ve iç enerji, sistemin toplam enerjisini temsil eder. Toplam enerji ise **ENTALPİ (H)** olarak tanımlanmaktadır ve birimi **JOULE (J)** dür.

$$H = U + W$$

- Sistem İçerisindeki cismin kütesinin büyüklüğü benzer şekilde iç enerjinin büyüklüğü anlamına gelmektedir, yani ne kadar kütle o kadar büyük entalpi anlamına gelir.
- Birim kütle için entalpi ifadesi ise;

$$h = u + w \quad \text{ile ifade edilir.}$$

Burada h,u ve w sırası ile entalpi, iç enerji ve birim kütle için yapılan işi (J/kg) ifade eder ($W = P.V$)

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Isı Salınım Oranı (HRR)

Yanma sırasında birim zamanda açığa çıkan enerji. Tipik olarak kilovat (kW veya kJ / s) cinsinden verilir.

$\dot{Q}$

Birim
Zaman

- h_c , yanma ısısı veya tüketilen kütle birimi başına salınan enerji miktarıdır (kJ / kg).
- $\dot{m}$, kütle kaybı oranı veya birim zaman başına tüketilen kütledir (kg / s).

$$\dot{Q} = \Delta h_c \times \dot{m} = \Delta h_c \times \dot{m}'' \times A$$

HRR, belirli bir süre boyunca salınan enerjiyi temsil etmenin bir yoludur. HRR'yi etkileyen iki değişken, yanma ısısı ve kütle kaybı oranıdır.

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Isı Salınım Oranı (HRR)

Yanma sırasında birim zamanda açığa çıkan enerji. Tipik olarak kilovat (kW veya kJ / s) cinsinden verilir.

$$\dot{Q} = \Delta h_c \times \dot{m} = \Delta h_c \times \dot{m}'' \times A$$

$\dot{Q}$ = Isı salınım oranı – zamanla değişir

Δh_c = Yanma ısısı (kJ/kg-yakıt) - sabit

$\dot{m}$ = Kütle kaybı oranı (kg/s) – zamanla değişir

$\dot{m}''$ = Birim alan için kütle kaybı (kg/s.m²) sabit

A = Yanan alan - zamanla değişir

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Bazı yakıtlar için yanma ısı

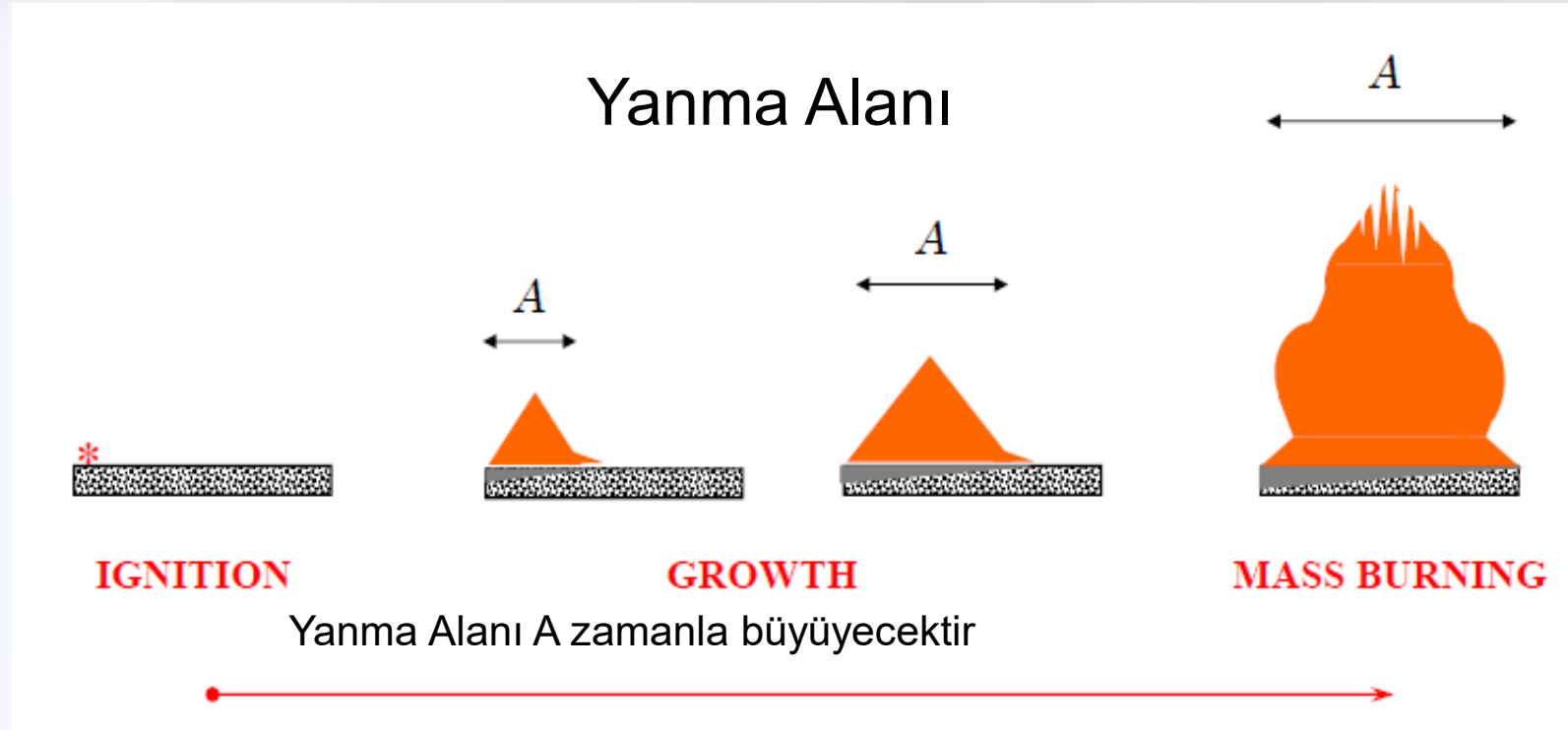
Table 1.13 Heats of combustion^a of selected fuels at 25°C (298 K)

		$-\Delta H_c$ (kJ/mol)	$-\Delta H_c$ (kJ/g)	$-\Delta H_{c,air}$ (kJ/g(air))	$-\Delta H_{c,ox}$ (kJ/g(O ₂))
Carbon monoxide	CO	283	10.10	4.10	17.69
Methane	CH ₄	800	50.00	2.91	12.54
Ethane	C ₂ H ₆	1423	47.45	2.96	11.21
Ethene	C ₂ H ₄	1411	50.35	3.42	14.74
Ethyne	C ₂ H ₂	1253	48.20	3.65	15.73
Propane	C ₃ H ₈	2044	46.45	2.97	12.80
<i>n</i> -Butane	<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	2650	45.69	2.97	12.80
<i>n</i> -Pentane	<i>n</i> -C ₅ H ₁₂	3259	45.27	2.97	12.80
<i>n</i> -Octane	<i>n</i> -C ₈ H ₁₈	5104	44.77	2.97	12.80
<i>c</i> -Hexane	<i>c</i> -C ₆ H ₁₂	3680	43.81	2.97	12.80
Benzene	C ₆ H ₆	3120	40.00	3.03	13.06
Methanol	CH ₃ OH	635	19.83	3.07	13.22
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	1232	26.78	2.99	12.88
Acetone	(CH ₃) ₂ CO	1786	30.79	3.25	14.00
D-Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	2772	15.4	3.08	13.27
Cellulose	—	—	16.09	3.15	13.59
Polyethylene	—	—	43.28	2.93	12.65
Polypropylene	—	—	43.31	2.94	12.66
Polystyrene	—	—	39.85	3.01	12.97
Polyvinylchloride	—	—	16.43	2.98	12.84
Polymethylmethacrylate	—	—	24.89	3.01	12.98
Polyacrylonitrile	—	—	30.80	3.16	13.61
Polyoxymethylene	—	—	15.46	3.36	14.50
Polyethyleneterephthalate	—	—	22.00	3.06	13.21
Polycarbonate	—	—	29.72	3.04	13.12
Nylon 6,6	—	—	29.58	2.94	12.67

^a The initial states of the fuels correspond to their natural states at normal temperature and pressure (298°C and 1 atm pressure). All products are taken to be in their gaseous state—thus these are the net heats of combustion.

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ



$$\dot{Q} = \Delta h_c \dot{m}'' A$$

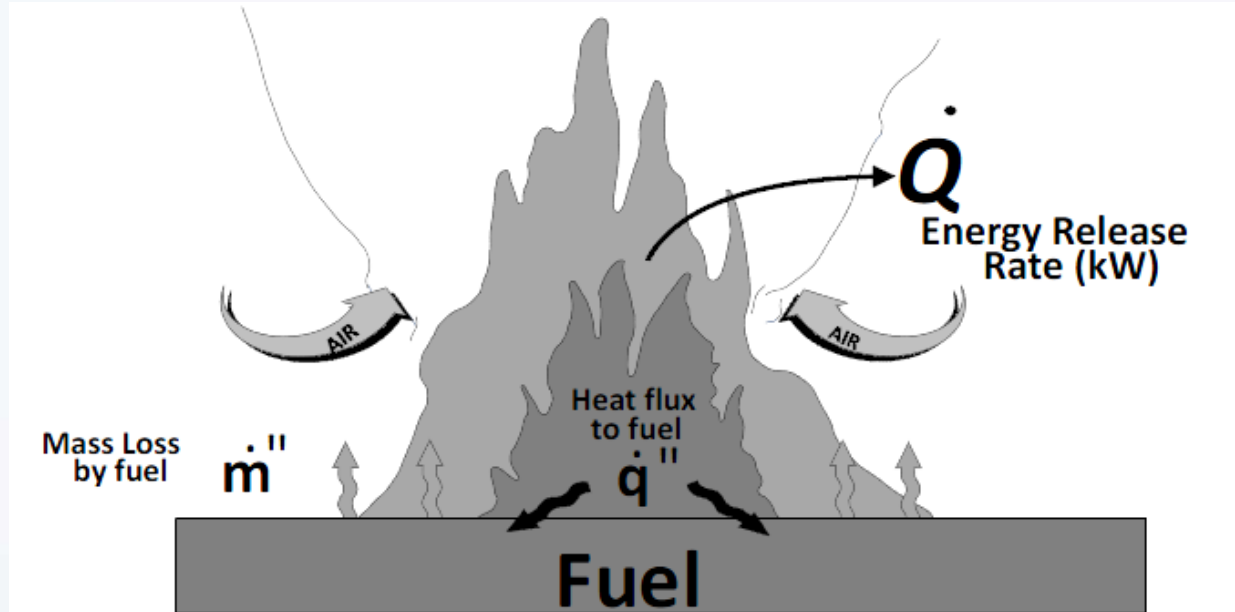
Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Isı Salınım Oranı (HRR)

Yangın, birbiriyle ilişkili olaylardan oluşan karmaşık bir sistemdir.

1. Alevden gelen ısı alevden yakıtı radyasyon ve konveksiyon yoluyla aktarılır.
2. Katı veya sıvı yakıt, katıların pirolizi veya sıvıların buharlaşması yoluyla gaz halinde yakıt molekülleri verir.



Temel Kavramlar

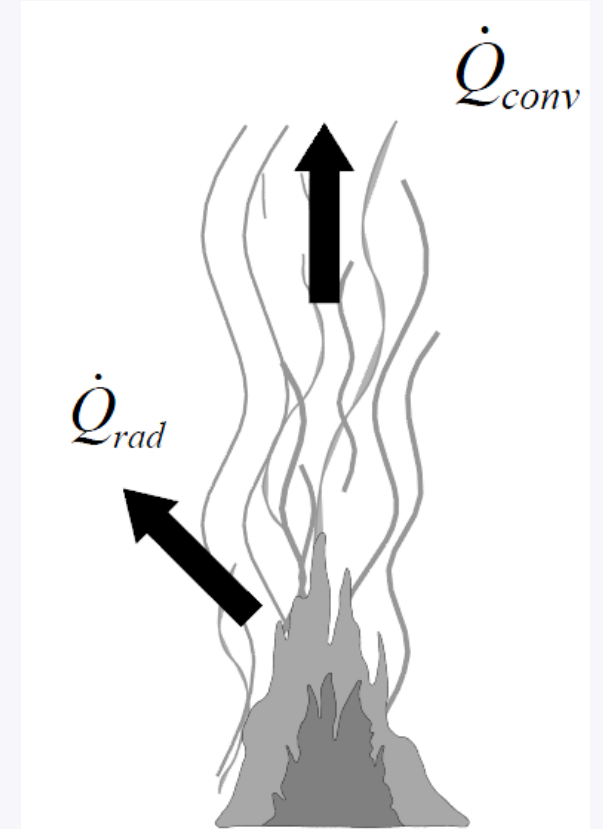
SICAKLIK VE ENERJİ

YANGINLARDAN RADYANT ISI AKISI

Yangından salınan toplam ısı enerjisi (HRR).

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

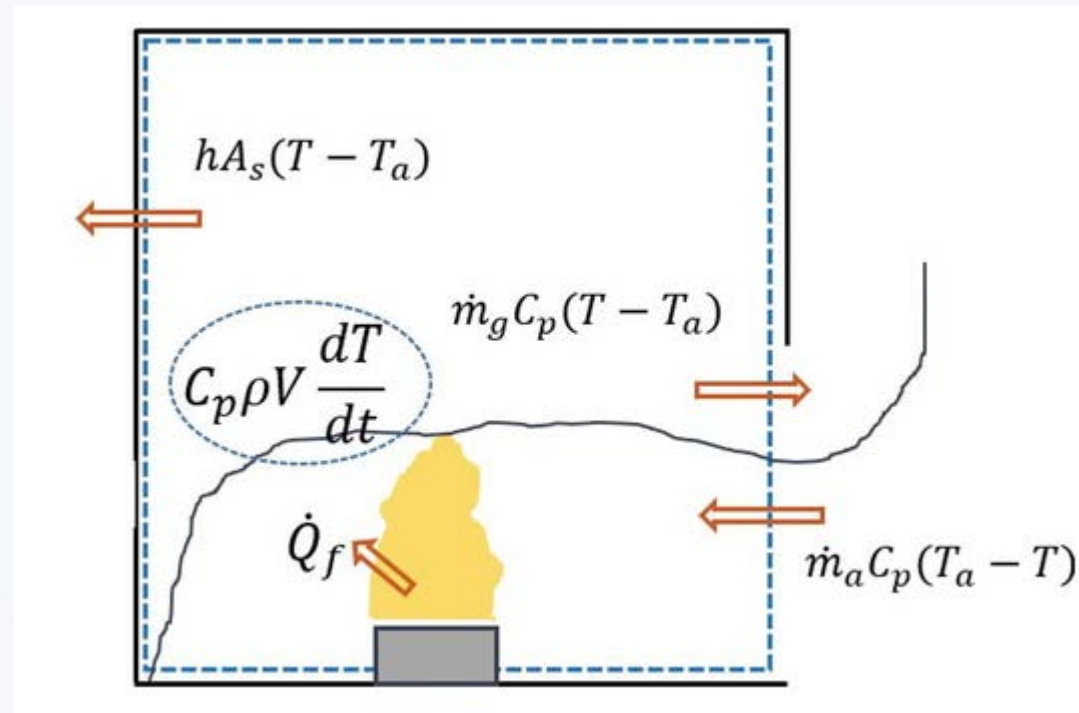
Yayılan yakıt gazları daha sonra $\dot{Q}$ ile gösterilen ısıyı serbest bırakan sürüklenmiş hava ile birleşir (yanmaya izin vermek için yükselen gazlara çekilen ve bunlarla karıştırılan hava).



Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Oda yangınlarında enerji dengesi



$$\dot{Q}_f - hA_s (T - T_a) - \dot{m}_g C_p (T - T_a) = 0$$

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Alev Yayılması

$$\frac{dR}{dt} = S = \text{alev yayılma hızı}$$

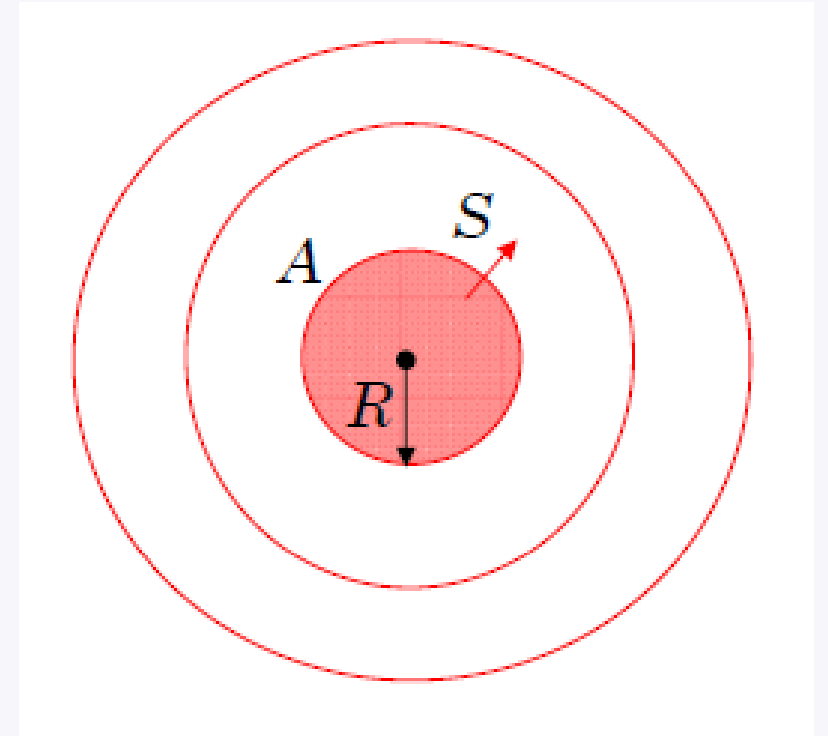
$$\text{eğer } S = \text{sabit} \Rightarrow R = St$$

$$A = \pi R^2 = \pi(St)^2$$

$$\dot{Q} = \Delta h_c \dot{m}'' A = \pi \Delta h_c S^2 t^2$$

Malzemenin özelliği

$$\dot{Q} = \boxed{\pi \Delta h_c S^2} t^2 = \alpha t^2$$



Eğer alev yayılımı sabit ise alev t^2 ifadesi ile büyür

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

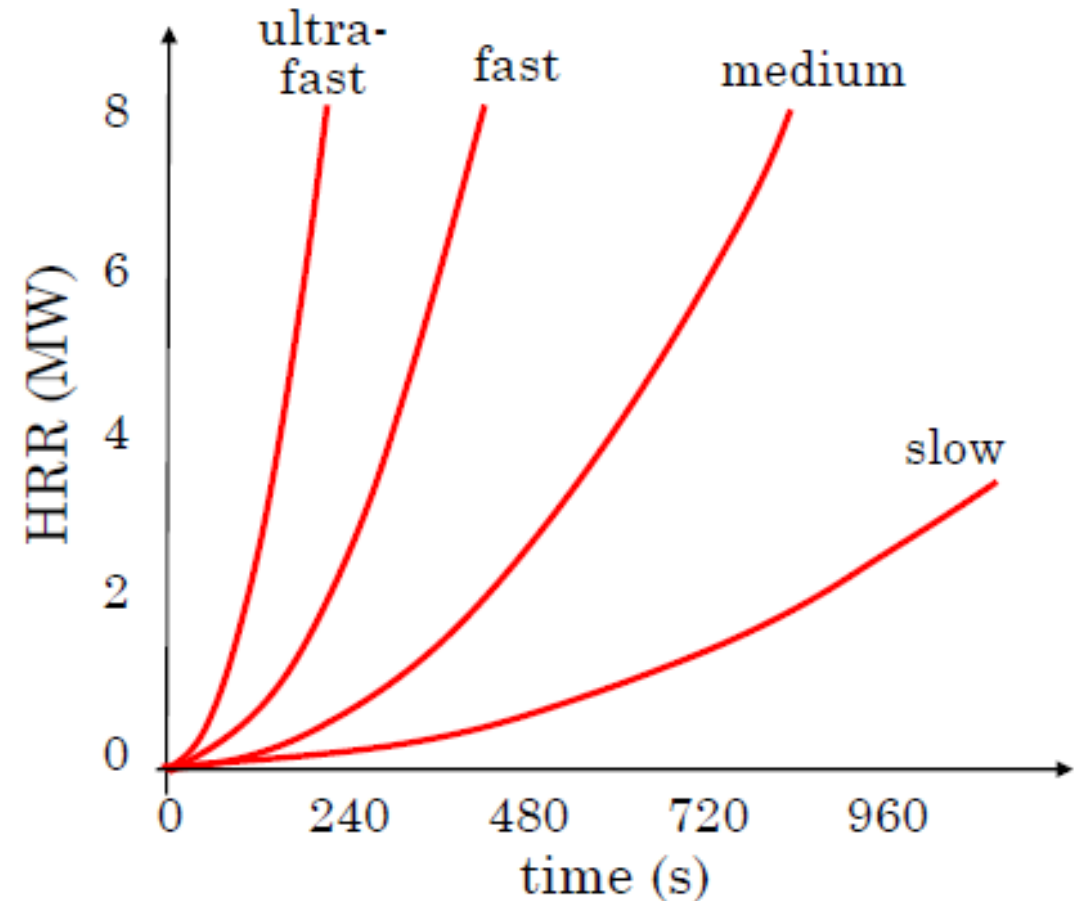
t^2 Yangın Büyümesi

$$\dot{Q} = \alpha t^2$$

Table 9.6 Parameters used for 't-squared fires' (Evans, 1995)

Description	Typical scenario	α_f kW/s ²
Slow	Densely packed paper products ^a	0.00293
Medium	Traditional mattress/boxspring ^a Traditional armchair	0.01172
Fast	PU mattress (horizontal) ^a PE pallets, stacked 1 m high	0.0469
Ultrafast	High-rack storage PE rigid foam stacked 5 m high	0.1876

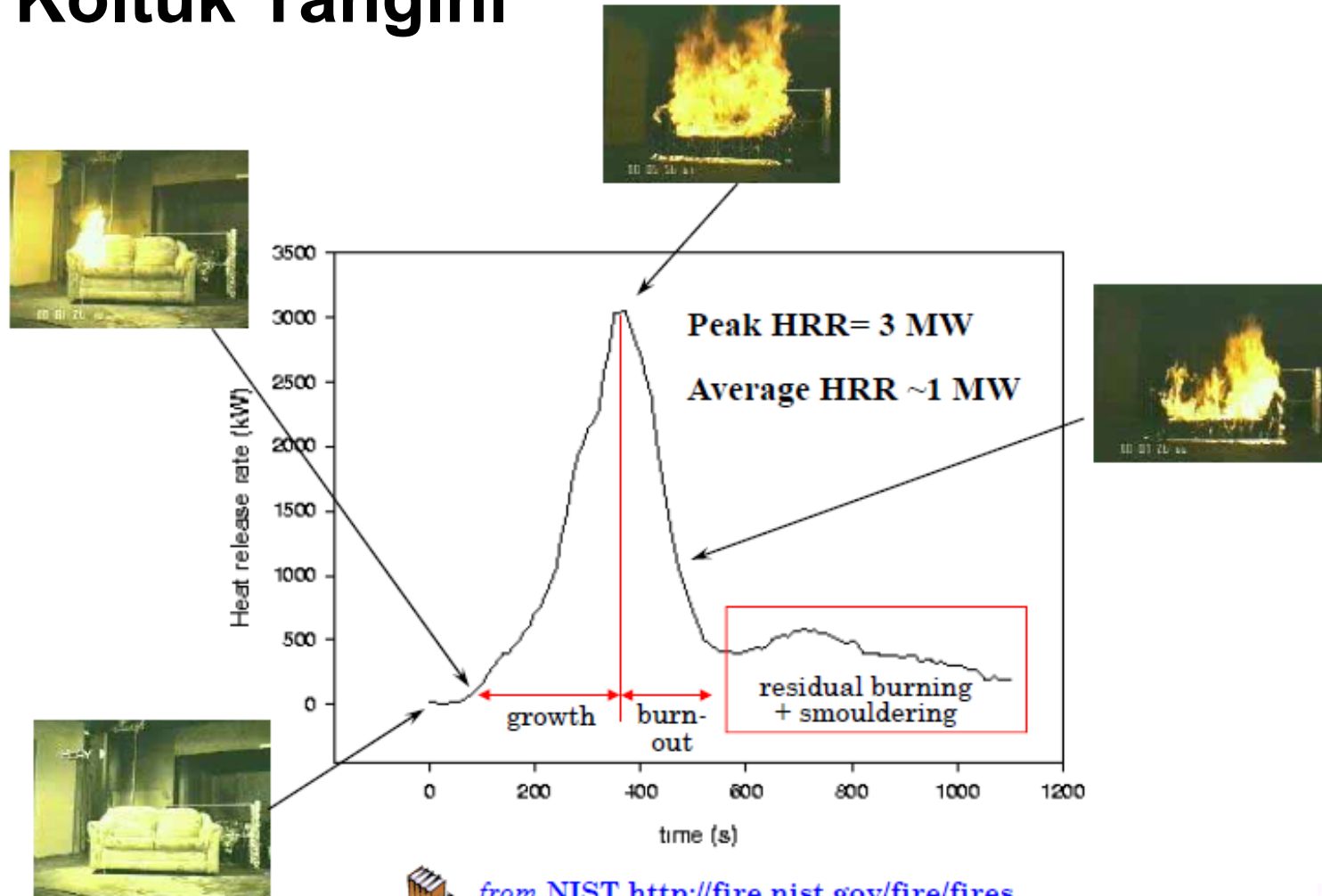
^a National Fire Protection Association (1993a).



Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Koltuk Yangını



Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Isı Salınım Oranı (HRR)

Malzeme	Ort. En Yüksek HRR
Çök kutusu	32 kW
Sandalye	1.8 MW
Koltuk	2.5 MW
Yatak	4.3 MW

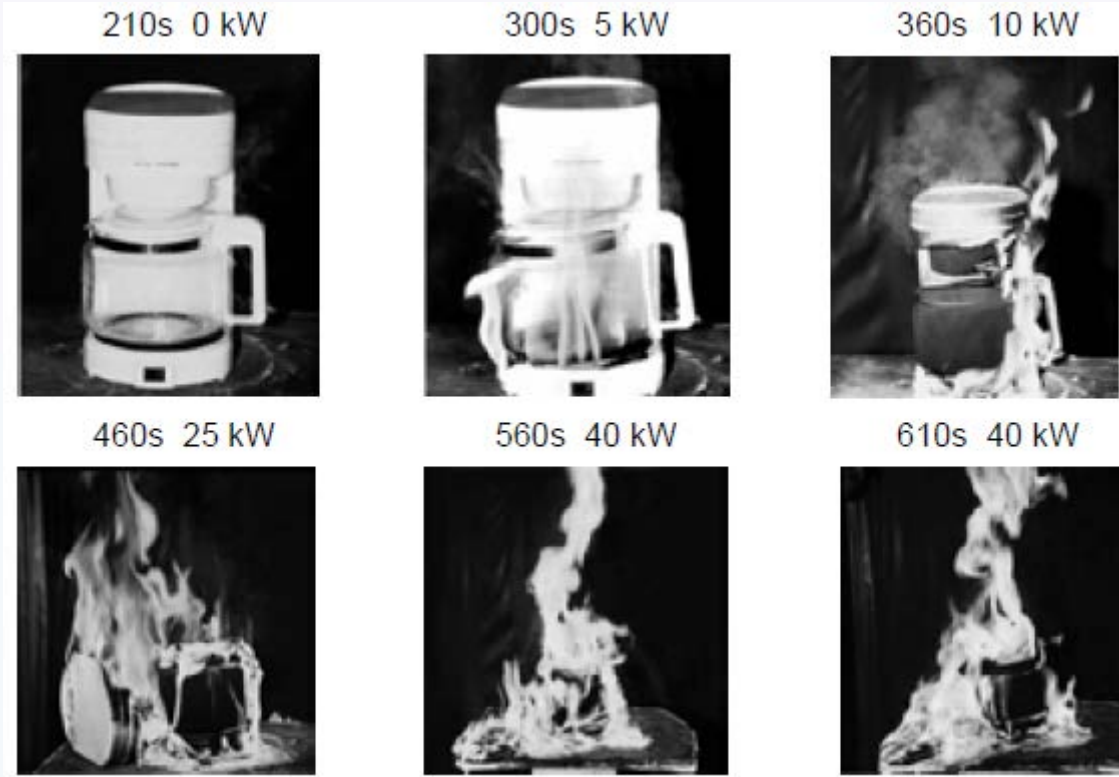
Çöp kutusu, sandalye, kanep ve yatak örnekleri, megawatt (MW) büyüklüğündeki bir yangına kıyasla kW büyüklüğündeki bir yangının nasıl görünebileceğine dair bir bakış açısı sağlar. Bir MW 1.000 kW'a eşittir



Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

HRR: Kahve Makinesi

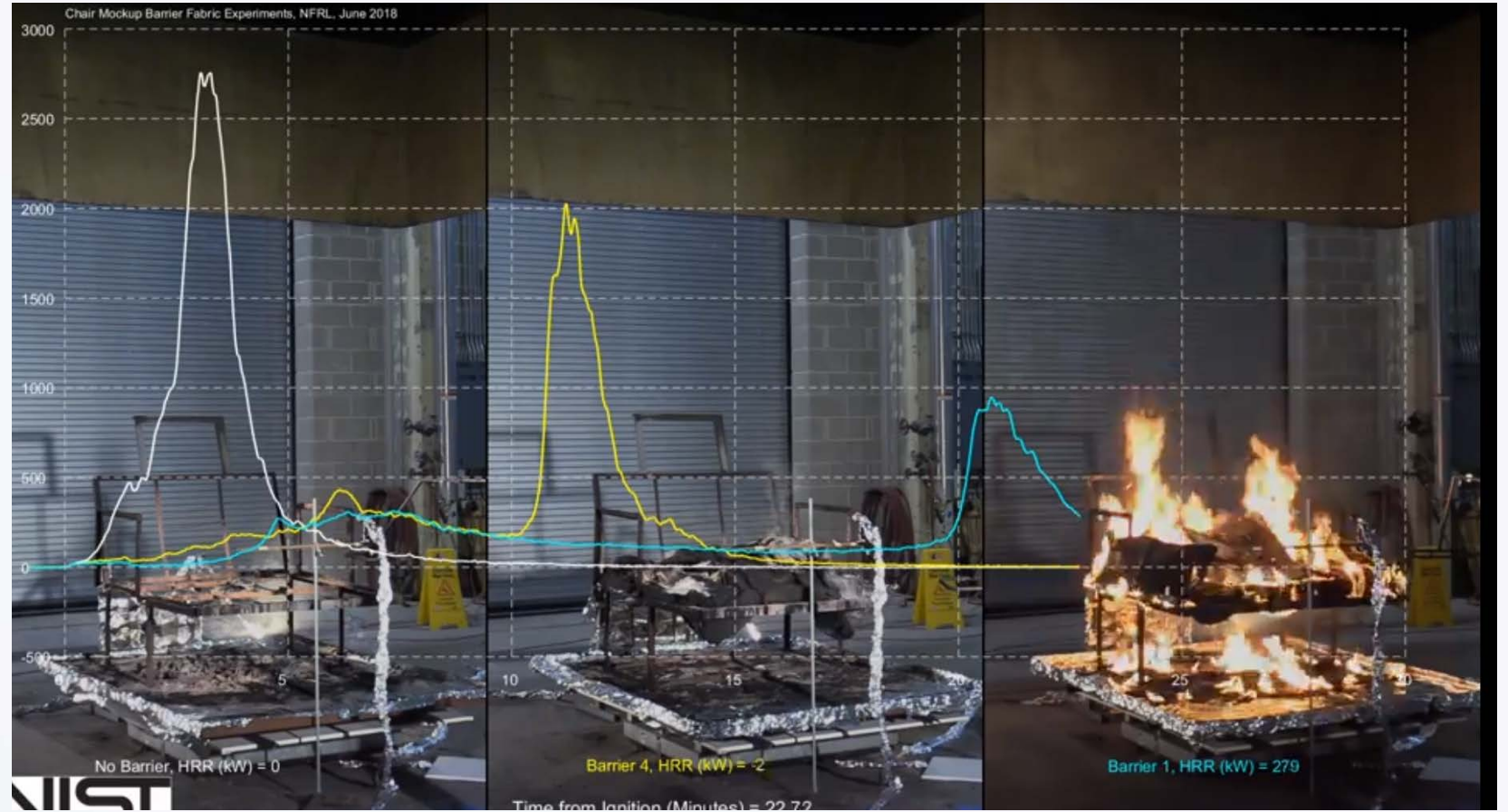


HRR zamanla değişen bir olgudur

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

HRR: Sandalye Deneyi

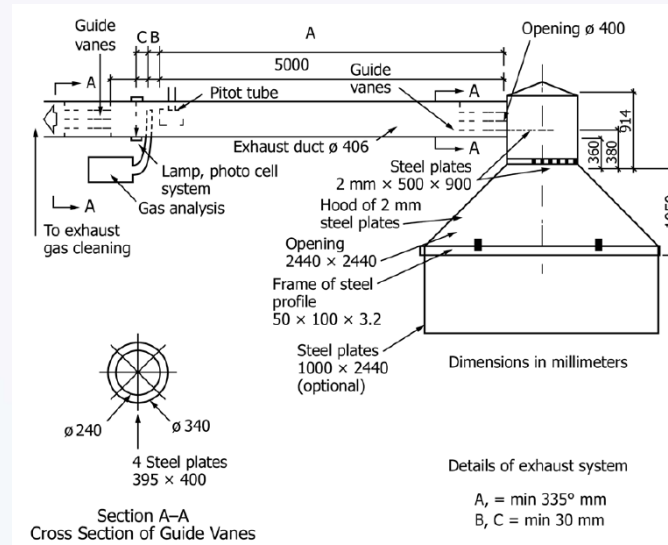
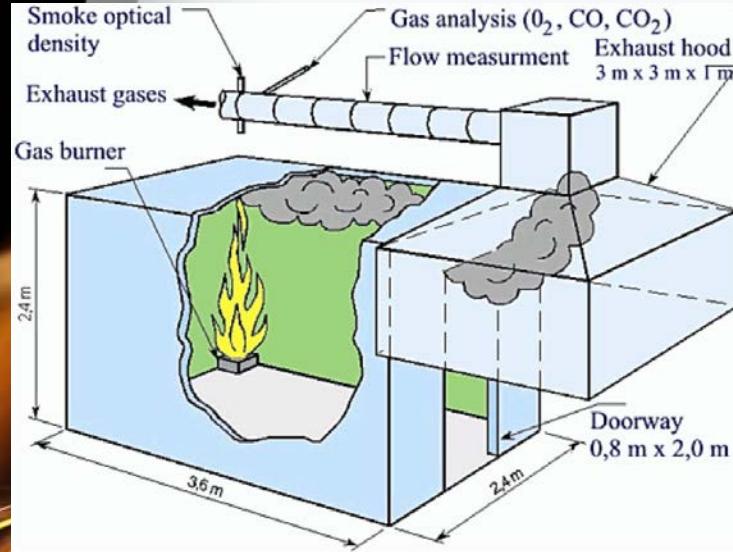


<https://www.nist.gov/video/chair-mockup-front-3-view>

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Yangın Odası Test Düzenneği İle HRR Tespiti



Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Yangın Odası Test Düzenneği İle HRR Tespiti

$$\dot{q} = \left(E\phi - (E_{CO})^{-E} \frac{1 - \phi}{2} \frac{X_{CO}^A}{X_{O_2}^A} \right) \frac{M_{O_2}}{M_a} \frac{\dot{m}_e}{1 + \phi(\alpha - 1)} X_{O_2}^{A^\circ}$$

$$\phi = \frac{X_{O_2}^{A^\circ}(1 - X_{CO_2}^A - X_{CO}^A) - X_{O_2}^A(1 - X_{CO_2}^{A^\circ})}{X_{O_2}^{A^\circ}(1 - X_{O_2}^A - X_{CO_2}^A - X_{CO}^A)}$$

$$\dot{m}_e = C \sqrt{\frac{\Delta p}{T_e}}$$

$$C_{th} \approx 22A$$

A	= cross-sectional area of the duct at the location of the probe (in m ²)
C	= orifice plate coefficient (kg ^{1/2} × m ^{1/2} × K ^{1/2})
D	= duct diameter (m)
E	= net heat released per unit mass of O ₂ consumed (13.1 MJ/kg)
E_{CO}	= net heat released per unit mass of O ₂ consumed, for CO (17.6 MJ/kg)
$f(Re)$	= Reynolds number correction
I_o	= light intensity for a beam of parallel light rays, measured in a smoke free environment, with a detector having the same spectral sensitivity as the human eye and reaching the photodetector (cd)
I	= light intensity for a parallel light beam having traversed a certain length of smoky environment and reaching the photodetector (cd)
k	= extinction coefficient (1/m)
k_c	= velocity profile shape factor (non dimensional)
$\dot{m}_e$	= mass flow in exhaust duct (kg/s)
$\dot{m}_{CO}$	= release rate of carbon monoxide (kg/s)
M_a	= molecular mass of incoming air (29 kg/kmol)
M_{CO}	= molecular mass of carbon monoxide (28 kg/kmol)
M_{O_2}	= molecular mass of oxygen (32 kg/kmol)
Δp	= differential pressure measured across the bi-directional probe (Pa)
$\dot{q}$	= rate of heat release (kW)
$\dot{s}$	= rate of smoke release (m ² /s)
T_e	= gas temperature at the bidirectional probe (K)
T_s	= gas temperature at the smoke meter (K)
$\dot{V}_s$	= volumetric flow at the smoke meter (m ³ /s)
X_{CO}^A	= measured mole fraction of CO in exhaust flow
$X_{CO_2}^{A^\circ}$	= measured mole fraction of CO ₂ in exhaust flow
$X_{CO_2}^A$	= measured mole fraction of CO ₂ in incoming air
$X_{O_2}^{A^\circ}$	= measured mole fraction of O ₂ in exhaust flow
$X_{O_2}^A$	= measured mole fraction of O ₂ in incoming air
α	= combustion expansion factor (normally a value of 1.084)

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Özgül Isı Kapasitesi

- **Özgül Isı Kapasitesi (c)** (ısı sığası) bir maddenin sıcaklığını $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ değiştirmek için gerekli olan ısı miktarıdır. Başka bir ifade ile bir cismin ısısının sıcaklığına göre türevidir. Cismin kütlesi ile öz ısısının çarpımına eşittir ($m.c$). Birimi **J/kg.K** (veya **J/mol.K**).
- Özgül ısı kapasitesi genellikle sıcaklık ile artar.
- Özgül ısı prosesin sabit basınçta c_p ve sabit hacimde c_v gerçekleşmesi durumlarına göre değişiklik göstermektedir. Yangın bağlantılı ısı açığa çıkması olaylarında sistem genellikle sabit basınç durumdadır.

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Özgül Isı Kapasitesi

- Havanın sabit basınçta özgül ısısı $c_p \sim 1040 \text{ J/kg.K}$ (30.1 J/mol.K)
- Su buharının sabit basınçta özgül ısısı $c_p \sim 2060 \text{ J/kg.K}$ (30.1 J/mol.K)
- 1 mol su buharının sıcaklığını 1 derece arttırmak için 1 mol havanın ihtiyaç duyduğundan daha fazla enerji gerekmektedir. Bu durumda su buharı ile doymuş havanın ısı içeriği kuru havadan daha fazladır.
- Özgül ısı kapasitesi cismin sıcaklığı, toplam enerjisi veya entalpisi ile aşağıdaki eşitlik ile ilişkilendirilebilir;

$$C_p = \left(\frac{dh}{dT} \right)_p$$

Cismin kütlesi eklenirse;

$$dH = c_p \times m \times dT$$

Temel Kavramlar

SICAKLIK VS ENERJİ

Bir mum 10 muma karşı – Anı alev sıcaklığına sahiplerdir fakat 10 mum 10 kat daha fazla HRR'ye sahiptir



Enerji ≈ 80 W
Sıcaklık = 500 C ile 1400 C
arası



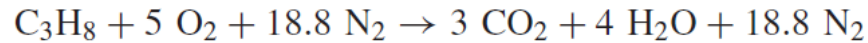
Enerji ≈ 80 W
Sıcaklık = 500 C ile 1400 C arası

Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Alev Sıcaklığı

- Yangın anında alev sıcaklığı yaklaşık olarak termodinamik tablolarından elde edilebilir. Örnek olarak Propan (C_3H_8) yanmasının adyabatik alev sıcaklığını hesaplayalım. Ortam sıcaklığı $25^\circ C$, yanma reaksiyonunun da stokiometrik olarak gerçekleştiğini kabul edelim. ;



Bileşen	Yangın Ürünlerindeki Mol Sayıları ^a	Özgül Isılar 1000 K 'de	
		C_p (J/mol·K)	nC_p (J/K) ^a
CO ₂	3	54.3	162.9
H ₂ O	4	41.2	164.8
N ₂	18.8	32.7	614.8
Toplam özgül ısılar/mole propane = 942.5 J/K			

	C_p^{1000K} (J/mol·K)
Carbon monoxide (CO)	33.2
Carbon dioxide (CO ₂)	54.3
Water (vapour) (H ₂ O)	41.2
Nitrogen (N ₂)	32.7
Oxygen (O ₂)	34.9
Helium (He)	20.8

Reaksiyondaki gazların 1000 K'deki özgül ısıları

$$T_A = T_0 + \frac{\Delta H_c}{nC_p} \Rightarrow T_A = 25 + \frac{2044300}{942.5} = \mathbf{2194^\circ C}$$

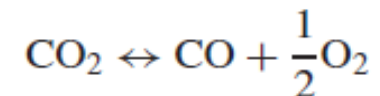
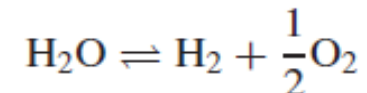
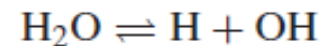
Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Alev Sıcaklığı

Yapılan bu hesap yaklaşık bir sonuç vermektedir. Bunun sebepleri;

1. Her bir gazın özgül ısıları sıcaklığın bir fonksiyonudur ve basitlik açısından burada kullanılan değerler bir ara sıcaklık değerinden (1000 K) alınmıştır.
2. Alev bölgesinden ve çevresinden kaynaklanan radyasyon kayıpları nihai ve alev sonrası gazlardaki sıcaklığın düşmesine neden olacağından sistem gerçekten adyabatik değildir.
3. Yüksek sıcaklıkta ürünler, bir dizi atomik, moleküler ve serbest radikal türüne kısmen ayrışırlar. Bu reaksiyonlar denge cinsinden ifade edilebilir;

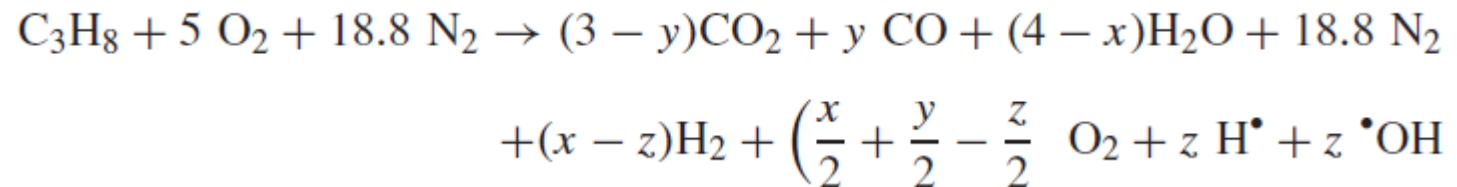


Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Alev Sıcaklığı

Her ayrışma endotermik olduğundan (enerjiyi serbest bırakmak yerine bünyesine çeker), alev sıcaklığı düşürür. Ayrışmanın hesaplanan alev sıcaklığını üzerindeki etkisi, yanma sıcaklığı yaklaşık olarak 1700°C'nin (2000 K) üzerinde çıktığı zaman önemli hale gelir. Yazılan üç reaksiyonun sistemdeki ayrışmayı tanımlamak için yeterli olması koşuluyla, propan oksidasyonu için stokiyometrik reaksiyon yeniden yazılırsa;



Temel Kavramlar

SICAKLIK VE ENERJİ

Alev Sıcaklığı

Stokiyometrik hidrokarbon / hava karışımları için hesaplanan adyabatik alev sıcaklıklarının ve stoikiometriğe yakın karışımlar için ölçülen alev sıcaklıklarının karşılaştırılması

Yakıt	Yangın ortamı	Adyabatik alev sıcaklığı (°C) (ayrışmasız)	Adyabatik alev sıcaklığı (°C) (Ayrışmalı) ^a	% yakıt	Ölçülen Alev Sıcaklığı (°C)
Methane	air	2116	1950	10.0	1875
Ethane	air	2173	1988	5.8	1895
Propane	air	2194	1995	4.15	1925
<i>n</i> -Butane	air	2199	–	3.2	1895
<i>i</i> -Butane	air	2192	–	3.2	1900

^a Stokiyometrik karışımları için hesaplanan adyabatik alev sıcaklıklarının, % yakıt değerlerinin deneysel ölçümlerde kullanılan yüzdelerden biraz daha yüksek olduğu ifade eder (sırasıyla CH₄, C₂H₆, C₃H₈, *n*-C₄H₁₀ ve *i*-C₄H₁₀ için 9.5%, 5.7%, 4.0%, 3.1% ve 3.1%)

Temel Kavramlar

MÜKEMMEL GAZ YASASI

Yangında yüksek miktarda ısınin açığa çıkması yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olur. Ürünlerin çoğu gaz halindedir ve davranışları ideal gaz yasası kullanılarak yorumlanabilir:

- Bir akışkanın yoğunluğu yine onun basıncı ve sıcaklığına bağlıdır.

$$P = \rho \times R \times T$$

P basınç (Pa), T sıcaklık (K), ρ yoğunluk, R ise **her gaz için hesaplanan Gaz Sabitidir**.

- 1) P artarken T sabit ise ρ artmalıdır
- 2) P artarken ρ sabit ise T artmalıdır
- 3) P sabitken T artıyorsa ρ azalmalıdır

Temel Kavramlar

MÜKEMMEL GAZ YASASI

- Bu eşitlik aşağıdaki gibi farklı şekillerde de yazılabilir;

$$P \times V = n \times R_u \times T$$

$$P \times V = m \times R \times T$$

- V hacmi, n mol miktarını tanımlar. Bu denklemde evrensel gaz sabiti $R_u=8.31431$ kJ/kmol.K değerine eşittir.

$$R = \frac{R_u}{M} \quad [\text{kJ/kgK}]$$

$$m = Mn \quad [\text{kg}]$$

M mol kütesidir [kg/kmol]

Temel Kavramlar

MÜKEMMEL GAZ YASASI

Kapalı sistemler için denklem düzenlenirse

$$\frac{P \times V}{T} = SABİT$$

- Kapalı sistemler için, örneğin havanın dışarı kaçmaması için mükemmel şekilde izole edilmiş bir odada, oda içerisindeki hava ısıtıldığında ilk koşuldan ikinci bir koşula geçiş olur ve sistem aşağıda eşitlikle ifade edilebilir;

$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2}$$

İlk koşuldaki bilgiler elimizde varsa ikinci koşul için kısmen edindiğimiz bilgilerle diğer değişkenleri hesaplayabiliriz.

Temel Kavramlar

MÜKEMMEL GAZ YASASI

- **ÖRNEK:** Tamamen yalıtılmış bir oda başlangıçta atmosferik basınçta ve 20 °C sıcaklığındadır. Oda 180 °C olacak şekilde ısıtılırsa basınç ne olur ?
- **ÇÖZÜM:** Odanın hacminin sabit kaldığını biliyoruz

$V_1 = V_2$ ve sıcaklığı °C den K e çevirirsek,

$$\frac{P_1 \times T_2}{T_1} = P_2 \Rightarrow \frac{1 \times 453}{293} = 1.55 \text{ atm}$$

Bu hesaptan anlaşılabacağı üzere oda içerisinde yaklaşık 0.6 atm'lik (başlangıç basıncı referans alındığında) bir basınç artışı olacaktır.

Temel Kavramlar

MÜKEMMEL GAZ YASASI

- **NOT:** Cam pencereler yaklaşık olarak 0.067 atm lik bir basınç artışında çatlayıp parçalanırlar, ahşap çerçeve inşaatlar 1.002 atm'lik basınç artışından sonra yıkılırlar.
- Oda yangınlarında hava sıcaklığı 500 °C'yi aşabilir. Oda yangınlarında sıcaklığın 500 °C'ye ulaşması ile 1.64 atm'lik basınç artışı ortaya çıkar. Bu durum bina yangınlarında ortaya çıkarsa belirtilen yüksek basınç yüzünden yapı patlayacaktır.
- Bu yaklaşım bina yangınları için geçerli olabilse de bazen yeterince gerçekçi olmamaktadır. Çünkü yangın esnasında odalardaki ve binadaki dış ortamla basıncı dengeleyecek bir açık alan (pencere, kapı, havalandırma boşlukları, vs..) bulunmaktadır.

Temel Kavramlar

MÜKEMMEL GAZ YASASI

- Oda yangınlarında dış ortama açılan birçok açık alan olduğu durumlara göre bir yaklaşım yapmak istenirse iç ve dış bölgelerde yangının eşit basınçta gerçekleştiğini kabul etmek gerekir. $P_1 = P_2$
- Bu yaklaşım kullanılırsa,

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

- Hacim ifadesini yoğunluk kullanarak dışarı atarsak (toplam kütle sabit)

$$\rho_1 \times T_1 = \rho_2 \times T_2$$

- Başlangıç anında verilen sıcaklık ve yoğunluk ve istenen bir an için sıcaklık veya yoğunluk değerini bilerek bilinmeyen büyüklüklerden birini bulmak mümkündür.

Temel Kavramlar

MÜKEMMEL GAZ YASASI

- **ÖRNEK:** Başlangıçta 20 °C sıcaklığında ve yoğunluğu 1.177 kg/m³ hava ile dolu olan bir odada yangın sebebiyle hava sıcaklığı 180 °C (453 K) yükselmiştir. Bu durumda havanın yoğunluğu;

$$\frac{\rho_1 \times T_1}{T_2} = \rho_2 \Rightarrow \frac{1.177 \times 293}{453} = 0.7613 \text{ kg/m}^3$$

Bu hesaplamada P1 = P2 olarak kabul edilmiştir, basınç sabit tutulduğunda kütle sabit kaldığı için hacim artacaktır.

Temel Kavramlar

MÜKEMMEL GAZ YASASI

- **ÖRNEK:** 4m x 5m x 6m boyutlarındaki bir odada bulunan 100 kPa basınç ve 25 °C sıcaklıktaki havanın kütlesini hesaplayın?
- **ÇÖZÜM:** Verilen koşullarda hava mükemmel gaz kabul edilebilir. Havanın gaz sabiti 0.287 kPa.m³/kg.K 'dir.

Odanın hacmi

$$V = 4 \times 5 \times 6 = 120 \text{ m}^3 \text{ olarak bulunur}$$

Bu değerle mükemmel gaz denkleminde yerinde konursa

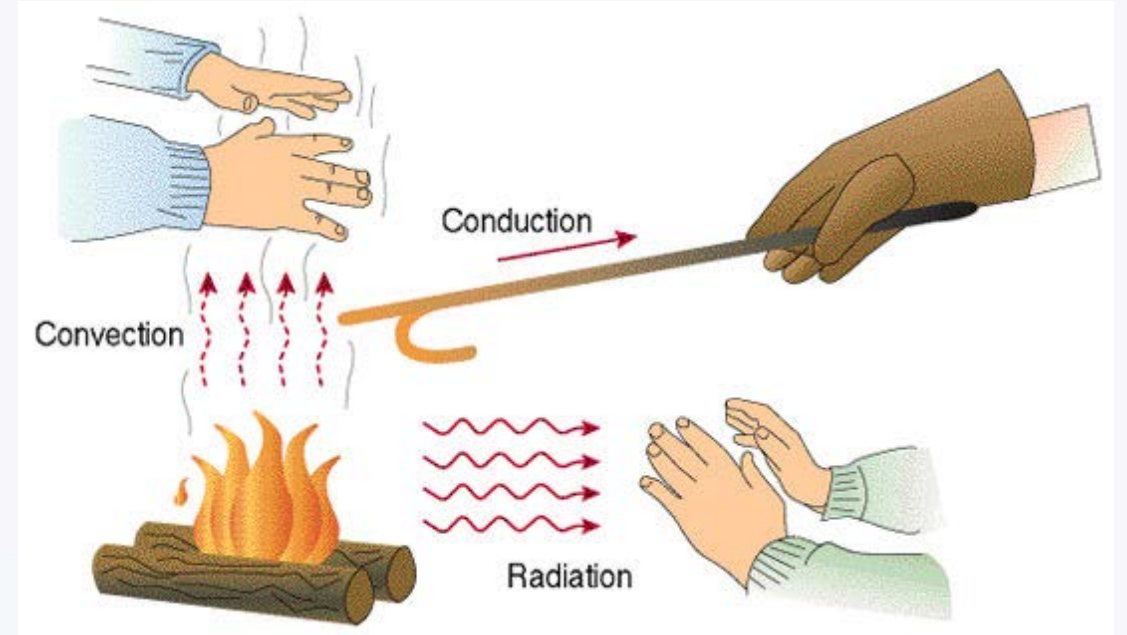
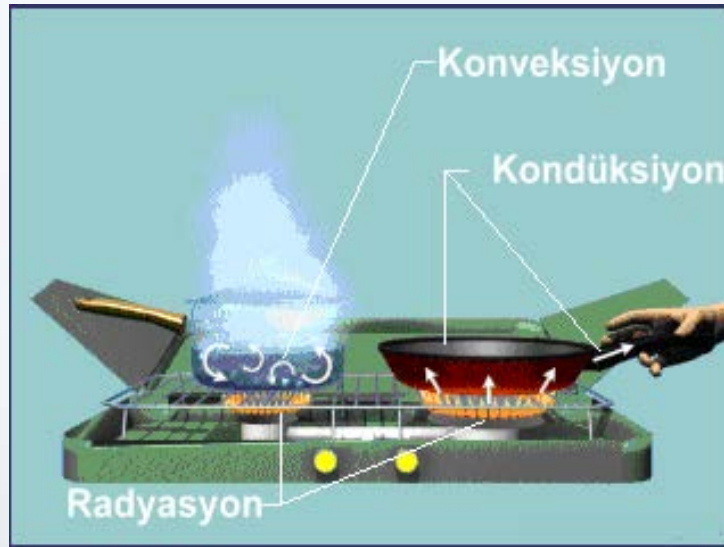
$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{100 \times 120}{0.287 \times 298} = 140.3 \text{ kg}$$

Temel Kavramlar

ISI TRANSFERİ

Isı **ÜÇ** şekilde transfer olur

- İletim (Conduction)
- Taşınım (Convection)
- Işınım (Radyasyon)



Temel Kavramlar

ISI TRANSFERİ

- **Isı İletimi**

- İletim, ısıнын yapı malzemeleri gibi katı bir ortamdan aktarılmasıdır.
- **ISI İLETİM KATSAYISI (k)** cisimlerin ısıyı iletme özelliklerinin bir büyüklüğüdür.
- Birimi [**W/m.K**] 'dir. Veya $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ denkliğinden J/s.m.K olarak kullanılabilir.
- Bir cismin ısı iletim katsayısı değeri küçüldükçe ısı iletme kabiliyeti düşmekte başka bir deyişle ısı iletimine karşı daha dirençli hale gelmektedir.

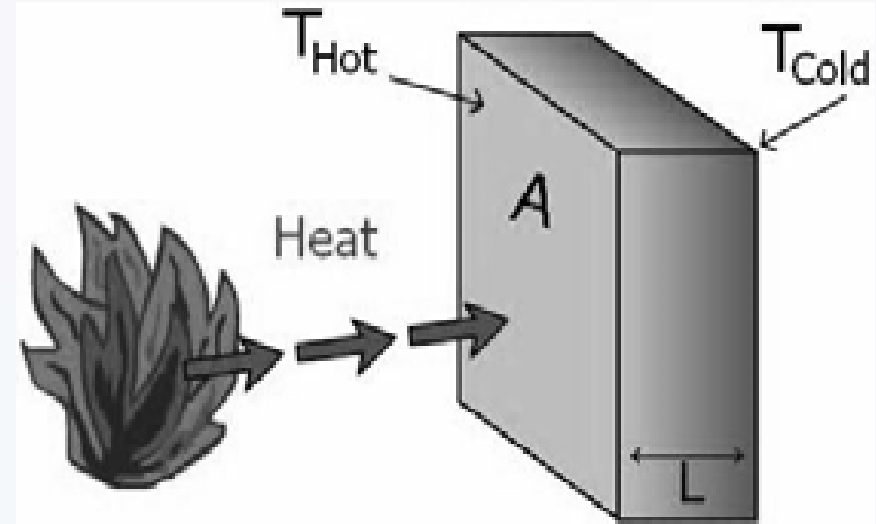
Temel Kavramlar

ISI TRANSFERİ

- Isı İletimi

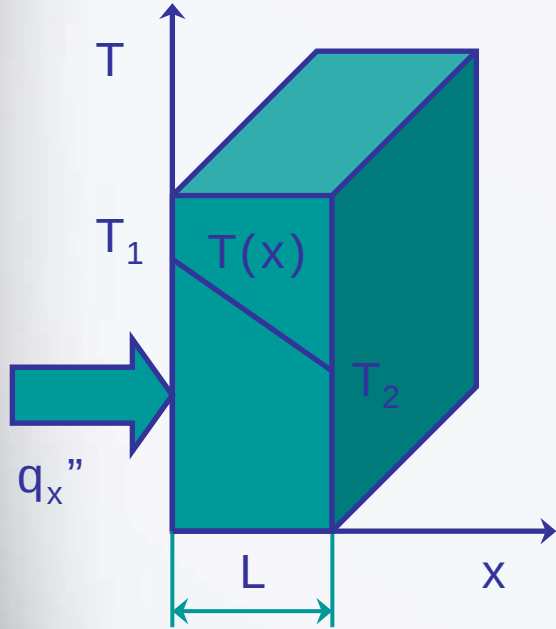
Isı iletimine etki eden faktörler

- Isı iletim katsayısı (k) [W/mK]
 - Metaller $\rightarrow$ Cam $\rightarrow$ Alçı $\rightarrow$ Ahşap $\rightarrow$ Hava.
 - Yüksek _____Düşük.
- Kalınlık (L).
- Sıcaklık (T_1, T_2).



Isı Transferi – İletim (kondüksiyon)

Isının iletildiği ortam içinde atom veya molekül gibi mikroskopik parçacıkların etkileşimi yoluyla yapılan ısı transferidir. Zamana bağlı eşitliklerle ısı transfer proseslerini miktar olarak ifade etmek mümkündür. Böylece, birim zamanda transfer edilen enerji miktarı hesaplanabilir.



İletim için zamana bağlı eşitlik **Fourier Kanunu** olarak bilinir.

$T(x)$ fonksiyonu ile gösterilen bir sıcaklık dağılımı olan bir duvardan bir boyutlu ısı transferi için:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$$

yazılır.

Isı Transferi – İletim (kondüksiyon)

Isı akış veya iletim miktarı, q''_x (W/m²) transfer yönüne dik birim alan için x doğrultusundaki ısı transferidir (**ısı akısı**). Bu miktar, bu doğrultudaki sıcaklık gradyeni dT/dx ile orantılıdır. Orantı katsayısı, k (W/mK) ısıl iletkenlik katsayısı olarak bilinir. Negatif işaret ısıнын azalan sıcaklık yönünde transfer edileceği gerçeğinin bir sonucudur.

Zamanla değişmeyen sıcaklık dağılımı lineer olduğunda sıcaklık gradyeni:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

ve ısı akış miktarı:

$$q''_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \text{veya} \quad q''_x = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad \text{şeklinde ifade edilir.}$$

Birim zamanda iletilen ısı miktarı için ısı akış miktarı transferin gerçekleştiği alan ile çarpılmalıdır:

$$\text{Alan ile çarpıldığında; } Q_x = q''_x A = kA \frac{T_1 - T_2}{L} = kA \frac{\Delta T}{L} \quad [\text{W}]$$

Örnek

Isıl iletkenlik katsayısı 1.7 W/mK olan 0.15 m kalınlığındaki ısıl tuğlalardan yapılmış bir evin içinde yangın çıkmıştır. Duvarın iç yüzey sıcaklığı 1400 K ve dış yüzey sıcaklığı 1150 K olarak ölçülmüştür. 0.5 m x 3 m boyutlarındaki bir duvardan gerçekleşen ısı transferi ne kadardır?

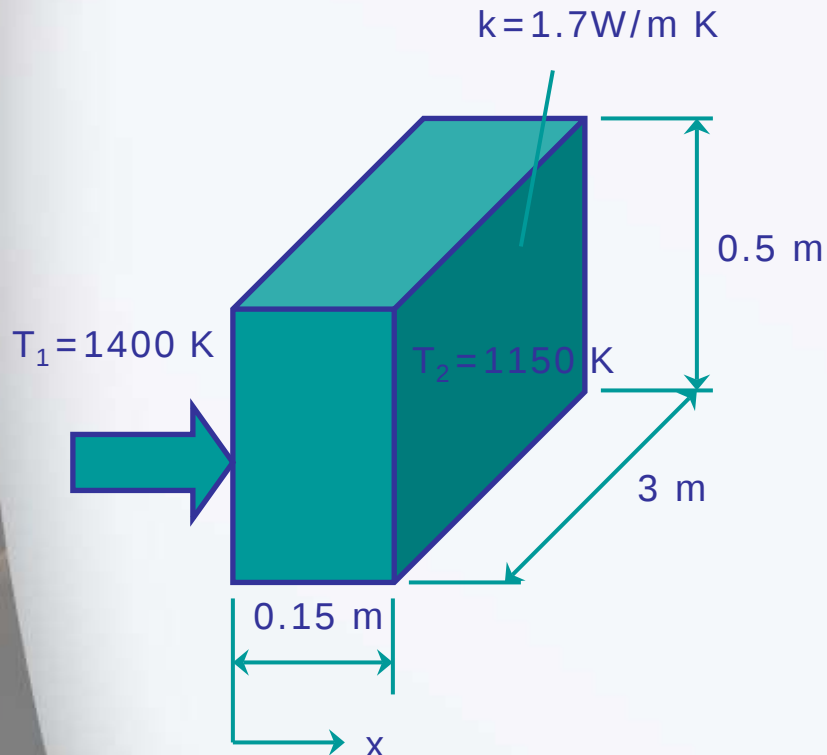
$$q_x'' = k \frac{\Delta T}{L} = 1.7 \times \frac{250}{0.15}$$

$$q_x'' = 2833 \text{ W/m}^2$$

Duvardan ısı kaybı:

$$Q_x = q_x'' A = 2833 \times (0.5 \times 3.0)$$

$$Q_x = 4250 \text{ W}$$



Isı Transferi – İletim (kondüksiyon)

Cetvel 8.2. Metaller için ısı iletim katsayıları.

Madde	Ölçüm sıcaklığı °C	Isı İletim Katsayısı	
		W/mK	kcal/mh °C
Aluminyum	20	209	180
Aluminyum	100	217,5	187
Duralimun (% 94-96 Al, % 3-5 Cu)	20	164	141
Kurşun	20	33,7	29
Bronz (% 88 Cu, % 10 Sn, % 2 Zn)	20	47,7	41
Dökme demir	20	58,2	50
Bakır	20	407	350
Nikel	20	58,2	50
Gümüş	20	418,7	360
Çelik (% 0,1 C)	20	54,7	47
Çelik (% 0,1 C)	100	52,3	45
Çelik (% 0,1 C)	300	46,5	40
Çelik (% 0,1 C)	600	37,2	32
Krom çeliği (% 0,8 Cr, % 2 C)	20	39,5	34
Krom-Nikel çeliği (% 18 Cr, % 8 Ni)	20	14,5	12,5
Krom-Nikel çeliği (% 18 Cr, % 8 Ni)	200	17,2	14,8
Cr-Ni-Mo çeliği	100	16,3	14
Cr-Mo çeliği	100	32,5	28
Çinko	20	112,8	97
Çinko	100	104,7	90
Çinko	300	100	86
Kalay	20	66,3	50
Kalay	200	58,2	29
Mangenez çeliği (% 2)	20	38,4	33
Pirinç (% 70 Cu, % 30 Zn)	20	111	95
Konstanten (% 60 Cu, % 40 Ni)	20	27,7	19,5

Cetvel 8.3. Yapı ve yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları.

Malzeme	kcal		Malzeme	kcal	
	mh °C	W/mK		mh °C	W/mK
Ahşap	0,12	0,140	Pleksiglas	0,16	0,186
Alçı (dış)	0,30	0,349	Briket	0,70	0,814
Amyant (asbest)	0,18	0,209	Buz	2,00	2,326
Asfalt	0,64	0,744	Cam	1,00	1,1163
Bakalit	0,20	0,233	Cam pamuğu	0,035	0,0407
Betonarme	1,30	1,512	Deri	0,15	0,175
Bitüm	0,15	0,175	Eternit	0,025	0,0291
Kiremit	0,45	0,523	Grafit	0,45	0,523
Kizelgur	0,15	0,175	Polistren	0,030	0,0349
Kontrplak	0,15	0,175	Porselen	1,00	1,1163
Kum	0,50	0,582	Sıva (dış)	0,75	0,872
Lastik	0,16	0,186	Sıva (iç)	0,60	0,698
Mantar	0,06	0,0698	Taş	2,00	2,326
Marley	0,16	0,186	Tuğla (delikli)	0,40	0,465
Mermer	2,50	2,908	Tuğla, dış (dolu)	0,75	0,872
Mika	0,83	0,965	Tuğla, iç (dolu)	0,60	0,698
Mukavva	0,12	0,140	Yton (dış)	0,15	0,175
Pamuk	0,05	0,0582	Yton (iç)	0,13	0,151
Alçı (iç)	0,25	0,291	Yün	0,04	0,0465

Isı Transferi – İletim (kondüksiyon)

Cetvel 8.4. Isı iletim katsayılarının değışim sınırları

Malzeme cinsi	Isı iletim katsayıları (W/m. K)
Gazlar	0,002 ... 0,2
Yağlar	0,1 ... 1,0
Su	0,5 ... 0,7
Sıvı metaller	10,0 ... 100
Metal olmayan katılar	0,3 ... 3,0
Alaşımlar	20 ... 200
Saf metaller	40 ... 400

Isı Transferi – İletim (kondüksiyon)

Thermal properties of some common materials.
Most values have been determined at 0 or 20° C.

Material	k W/m.K	c_p J/kg.K	ρ kg/m ³	α m ² /s	$k.\rho.c_p$ W ² .s/m ⁴ K ²
Copper	387	380	8940	1.14×10^{-4}	1.2×10^9
Steel	45.8	460	7850	1.26×10^{-5}	1.6×10^8
Brick	0.69	840	1600	5.2×10^{-7}	9.3×10^5
Oak	0.17	2380	800	8.9×10^{-8}	3.2×10^5
Asbestos	0.15	1050	577	2.5×10^{-7}	9.1×10^4
Fibre board	0.041	2090	229	8.6×10^{-8}	2.0×10^4
Polyurethane Foam	0.034	1400	20	1.2×10^{-6}	9.5×10^2
Air	0.026	1040	1.1	2.2×10^{-5}	-----

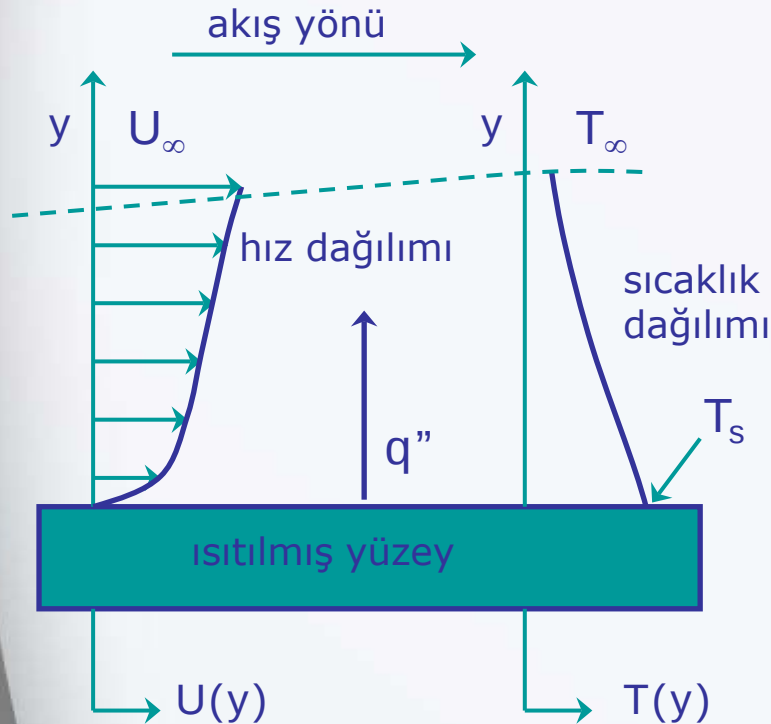
Isı Transferi – İletim (kondüksiyon)

Temperature dependence of material properties for AIR

Temp °C	k W/m.K	c_p J/kg.K	ρ kg/m ³	α m ² /s	ν m ² /s
27	0.026	1006	1.177	2.22×10^{-5}	1.7×10^{-5}
77	0.030	1009	0.998	2.98×10^{-5}	2.1×10^{-5}
177	0.037	1021	0.783	4.22×10^{-5}	3.2×10^{-5}
927	0.078	1179	0.295	2.25×10^{-4}	1.6×10^{-4}

Isı Transferi – Taşınım (konveksiyon)

Taşınım ile ısı transferinde iki mekanizma etkilidir. Rastgele moleküler hareketten dolayı olan enerji transferiyle birlikte akışkanın makroskopik hareketinden dolayı enerji transferi gerçekleşir. Akış, bir fan, pompa veya rüzgar gibi araçlarla sağlandığı zaman **Cebri (zorlanmış) Konveksiyondan**, yoğunluk farkları nedeniyle sephiye kuvvetleri tarafından sağlandığı zaman **Doğal Konveksiyondan** bahsedilir.



Taşınım ile ısı transferi **Newton Soğuma Kanunu** ile formüle edilir.

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \Rightarrow \text{burada } T_s > T_\infty$$

Burada,

- Q (W) taşınım ile ısı geçişi,
- T_s : yüzey sıcaklığı,
- T_∞ : serbest akışkan sıcaklığı,
- h ($\text{W/m}^2\text{K}$) taşınım ısı transfer katsayısıdır. h , ısı transfer katsayısı akışkan özelliklerine ve akışkan hızına bağlıdır.

Isı Transferi – Taşınım (konveksiyon)

Cetvel 8.5. Bazı akışkanlar için ısı taşınım katsayıları.

Akışkan	α Isı taşınım katsayısı ($W/m^2.K$)	
	Doğal ısı taşınımı	Zorlanmalı ısı taşınımı
Gazlar	5 ... 30	30 ... 300
Yağlar	5 ... 100	30 ... 3000
Su	30 ... 300	300 ... 10 000
Sıvı metaller	50 ... 5 000	500 ... 20 000
Kaynayan su	2 000 ... 20 000	3 000 ... 100 000
Yoğuşan su buharı	3 000 ... 30 000	3 000 ... 200 000

Örnek

25 °C'taki hava, 2400 °C'taki yaklaşık 0,5 m x 0,5 m boyutlarındaki bir alevin üzerinden akmaktadır. Alev ile hava arasındaki ısı taşıma katsayısı 40 W/m²K olduğuna göre geçen ısı akısını hesaplayınız ?



Newton'un soğuma kanununu kullanırsak taşıma ile geçen ısı miktarı;

$$Q = hA(T_y - T_a)$$

$$Q = 40 \times 0,5 \times 0,5(2400 - 25)$$

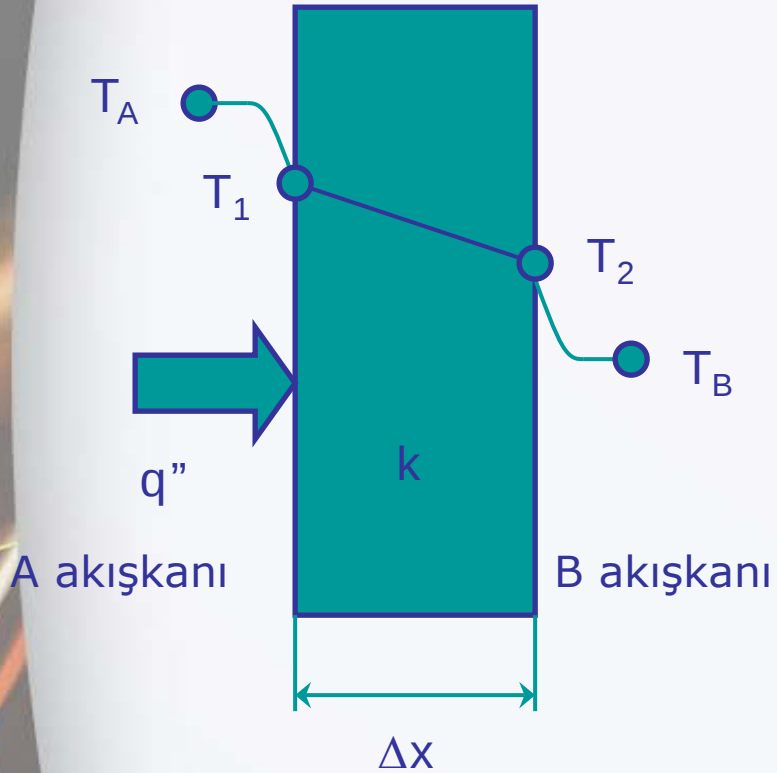
$$Q = 23750 \text{ W} = 23,750 \text{ kW}$$

Isı akısı ise;

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{23750}{0,5 \times 0,5} = 95000 \text{ W/m}^2$$

Karma ısı transferi – (iletim + taşınım)

Pratikte iletim ve taşınım vasıtasıyla ısı transferi birçok halde birlikte olur. İki farklı sıcaklıktaki akışkanı ayıran bir duvar halini düşünelim.



A akışkanından duvara yapılan ısı transfer akışı duvardan iletilen ve duvardan B akışkanına yapılan ısı transferi akışına eşittir. Böylece:

$$q'' = h_A(T_A - T_1) = \frac{k}{\Delta x}(T_1 - T_2) = h_B(T_2 - T_B)$$

yazılabilir. Bu denklemler sıcaklıklar cinsinden yazılıp yeniden düzenlendiğinde:

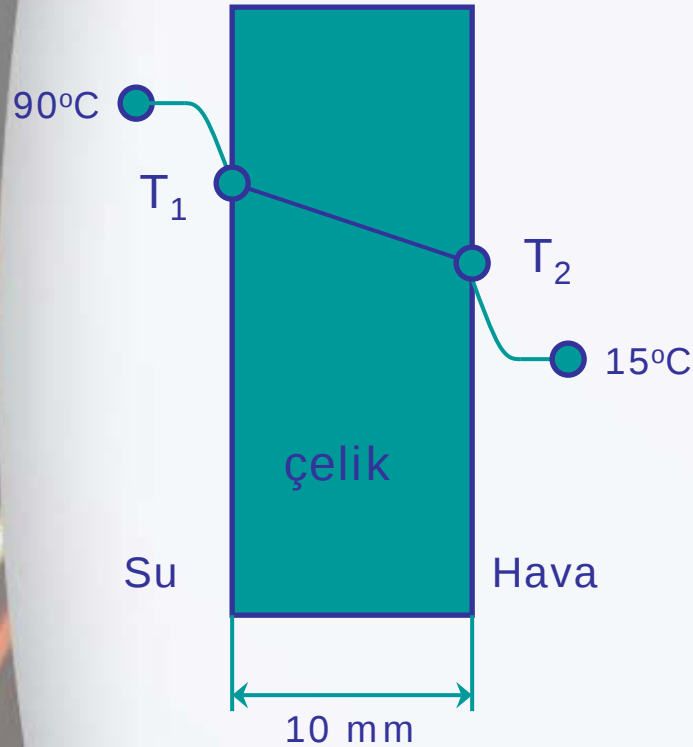
$$(T_A - T_B) = q'' \left(\frac{1}{h_A} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_B} \right)$$

Karma ısı transfer katsayısı, U tarif edilerek:

$$\frac{1}{U} = \left(\frac{1}{h_A} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_B} \right); \quad q'' = U(T_A - T_B)$$

Problem

10 mm duvar kalınlığındaki elik bir tankta 90°C sıcaklıkta su bulunmaktadır. Dış ortam sıcaklığı 15°C 'dır. eliğın ısı iletkenlik katsayısı 50 W/mK' dir. Tankın dışı ve içi için ısı transfer katsayıları 2800 ve 11 W/m²K' dir.



- tank yüzeyinin birim alanından olan ısı kaybını
- tankın dış yüzey sıcaklığını hesaplayınız

Karma ısı transfer katsayısı:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_A} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_B} = \frac{1}{2800} + \frac{10}{10^3 \times 50} + \frac{1}{11}$$

$$\frac{1}{U} = 0.0915$$

Birim yüzeyden ısı transferi miktarı:

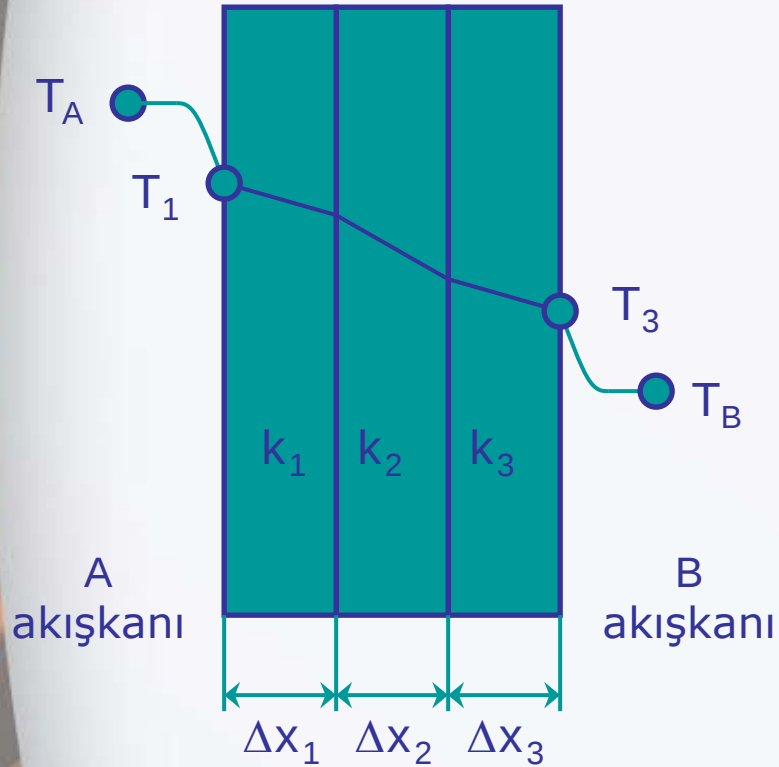
$$q'' = U(T_A - T_B) = \frac{1}{0.0915} (90 - 15) = 820 \text{ W/m}^2$$

T₂ sıcaklığı:

$$q'' = h_B(T_2 - T_B) \rightarrow T_2 = \frac{q''}{h_B} + T_B = \frac{820}{11} + 15 = 89.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Kompozit duvar – Elektrik analogjisi

Farklı malzeme tabakalarından oluşturulmuş bir duvar, kompozit duvar olarak isimlendirilir. Üç farklı malzemeden oluşturulmuş bir duvar göz önüne alınsın:



Birim zamandaki ısı transferi miktarı:

$$q_x = UA(T_A - T_B)$$

Elektrikte Ohm kanunu:

$$V = IR \rightarrow I = \frac{V}{R}$$

Isı transferi	Analog terim
q_x	I
$(T_A - T_B)$	V
$1/UA$	R

Kompozit duvar – Elektrik analogisi

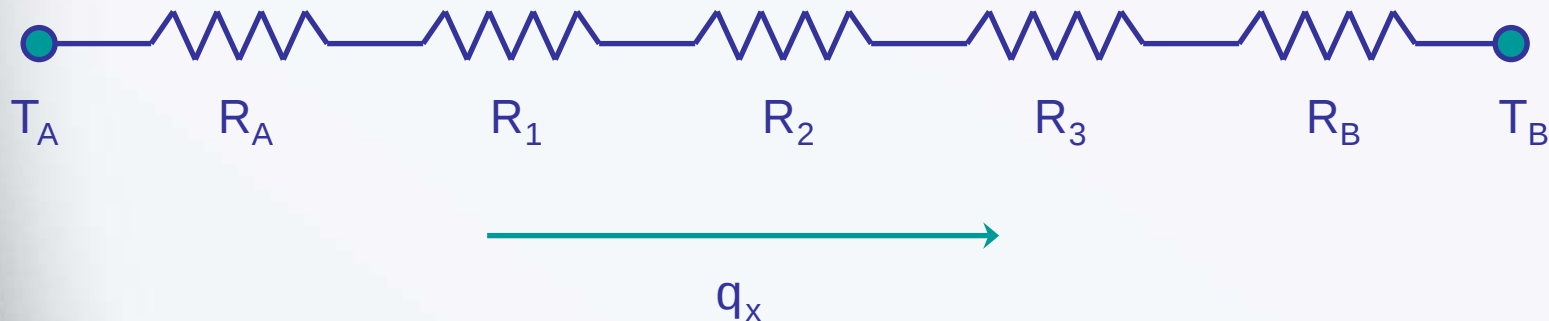
R için:

$$R = \frac{1}{UA} = \frac{1}{A} \left(\frac{1}{h_A} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + \frac{1}{h_B} \right)$$

R, direnç bileşenleri:

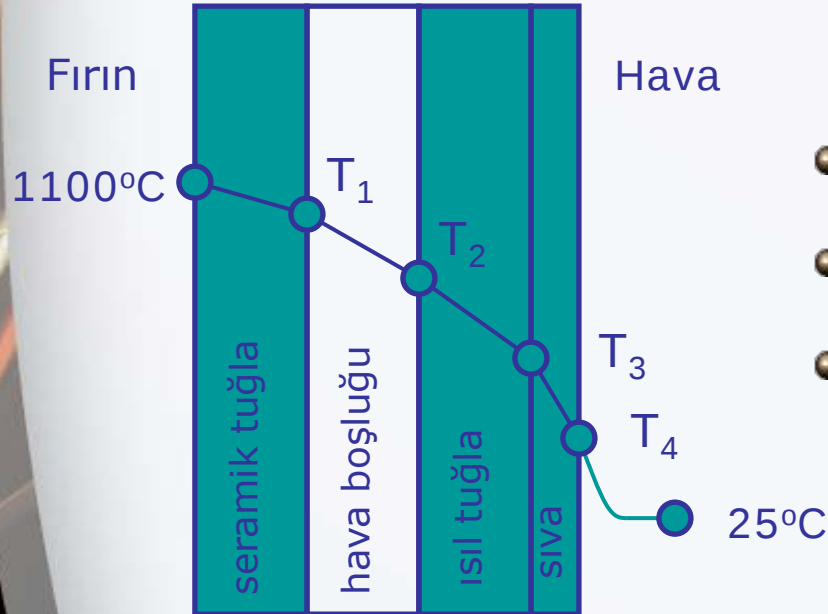
$$R_A = \frac{1}{h_A A} \quad R_1 = \frac{\Delta x_1}{k_1 A} \quad R_2 = \frac{\Delta x_2}{k_2 A} \quad R_3 = \frac{\Delta x_3}{k_3 A} \quad R_B = \frac{1}{h_B A}$$

Kompozit duvar seri bağlanmış dirençler ile temsil edilebilir.



Örnek

Endüstriyel bir fırının duvarı 125 mm genişlikteki seramik tuğla ve 125 mm genişlikteki ısı tuğlası arasında hava boşluğundan oluşmaktadır. Dış duvar 12 mm kalınlığında sıva ile kaplanmıştır. Duvarın iç yüzey sıcaklığı 1100°C ve dış ortam sıcaklığı 25°C 'dir. Dış yüzeyden havaya ısı transfer katsayısı $17 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve ısı geçişine hava boşluğunun direnci 0.16 K/W ' dir. Seramik tuğla, ısı tuğlası ve sıvanın ısı iletkenlikleri: 1.6 , 0.3 ve 0.14 W/mK ' dir.



- Duvarın birim yüzey alanından olan ısı kaybı miktarını
- Her duvar elemanının yüzey sıcaklıklarını
- Duvarın dış yüzey sıcaklığını hesaplayınız.

Problem

R, direnç bileşenleri:

$$R, \text{ seramik tuğla} = \frac{125}{10^3 \times 1.6} = 0.0781 \text{ K/W}$$

$$R, \text{ ısıt tuğla} = \frac{125}{10^3 \times 0.3} = 0.417 \text{ K/W}$$

$$R, \text{ sıva} = \frac{12}{10^3 \times 0.14} = 0.0857 \text{ K/W}$$

$$R, \text{ hava} = \frac{1}{17} \text{ K/W}$$

$$R, \text{ hava boşluğu} = 0.16 \text{ K/W}$$

$$\text{Toplam direnç: } R_T = 0.0781 + 0.417 + 0.0857 + \frac{1}{17} + 0.16 = 0.8 \text{ K/W}$$

Birim zamandaki ısı transferi miktarı:

$$Q_x = \frac{(T_A - T_B)}{R_T} = \frac{1100 - 25}{0.8} = 1344 \text{ W}$$

Problem

Duvar elemanlarının yüzey sıcaklıkları:

$$Q_x = 1344 = \frac{1100 - T_1}{0.0781} \rightarrow T_1 = 1100 - (1344 \times 0.0781) = 995 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_x = 1344 = \frac{T_1 - T_2}{0.16} \rightarrow T_2 = 995 - (1344 \times 0.16) = 780 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_x = 1344 = \frac{T_2 - T_3}{0.417} \rightarrow T_3 = 780 - (1344 \times 0.417) = 220 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_x = 1344 = \frac{T_3 - T_4}{0.0857} \rightarrow T_4 = 220 - (1344 \times 0.0857) = 104 \text{ } ^\circ\text{C}$$

T4 sıcaklığı dış duvardan havaya yapılan ısı transferi miktarından bulunabilir:

$$Q_x = 1344 = \frac{T_4 - 25}{1/17} \rightarrow T_4 = 25 + \left(\frac{1344}{17} \right) = 104.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Isı Transferi – Işınım (Radyasyon)

Isı enerjinin elektromanyetik dalgalar ile iletilmesidir.



Alev kaynaklı ısı enerjisinin yaklaşık **% 30'u** ışınlım ile transfer olur

Isı Transferi – Işınım (Radyasyon)

Işınım ile ısı transferine etki eden faktörler;

- Mükemmel siyah = Mükemmel ışıınım
 - o Işınım, nesnenin sıcaklığı ile dördüncü kuvveti (T^4) ile doğru orantılıdır.
- Çoğu nesne, yüzey etkileri ve soğurma etkileri nedeniyle mümkün olan maksimum enerji miktarını absorbe etmez veya yaymaz.
- Işınımı etkileyen değişkenler arasında ışıınım yayma katsayısı (emisivite), yüzey sıcaklığı, görüş faktörü ve nesneleri çevreleyen yüzeylere yayılan ısı transferinin miktarını kontrol eden yüzey ve soğurma etkileri dahil olmak üzere nesnelerin özellikleri bulunur.

Isı Transferi – Işınım (Radyasyon)

Işınım ile ısı transferine etki eden faktörler;

Işınım yayma katsayısı ϵ malzemenin ışınmı absorbe etme yeteneğini ifade eder. Bu değişken, ısı transfer oranını etkileyecektir (örneğin, siyah gövdeye karşı cilalı çelik, kaynağa paralel malzeme ve kaynağa dik olan malzeme).

Siyah duman $\rightarrow$ Gri duman $\rightarrow$ Beyaz duman
Yüksek ϵ _____ Düşük ϵ

Siyah cismin ışınmı yayma katsayısı 1'e yakındır,
Beyaz cismin ise 0'a yakındır.

Isı Transferi – Işınım (Radyasyon)

Işınım ile ısı transferinin hesabı

Işınım ile ısı geçişi Stefan-Boltzmann kanunu ile hesaplanır;

$$Q_s = \sigma \epsilon A T_y^4$$

Q_s = Cismin ışınlam enerjisi

σ = Orantı katsayısı olup Stefan-Boltzmann katsayısı adını alır. Değeri, SI birim sisteminde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ 'dir

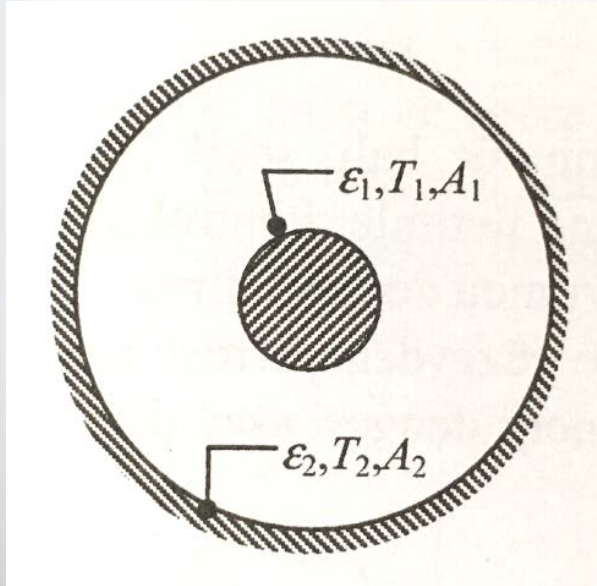
T_y = Yüzeyin mutlak sıcaklığı [K]

A = Isı ışınlamı yayan yüzeyin alanı [m^2]

Isı Transferi – Işınım (Radyasyon)

Işınım ile ısı transferinin hesabı

Gerçek cisim yine gerçek cisim ile çevrili ise ve dıştaki cismin alanı içtekine göre çok büyük ise içteki cisimden dıştaki cisme net ısı ışıınımı;

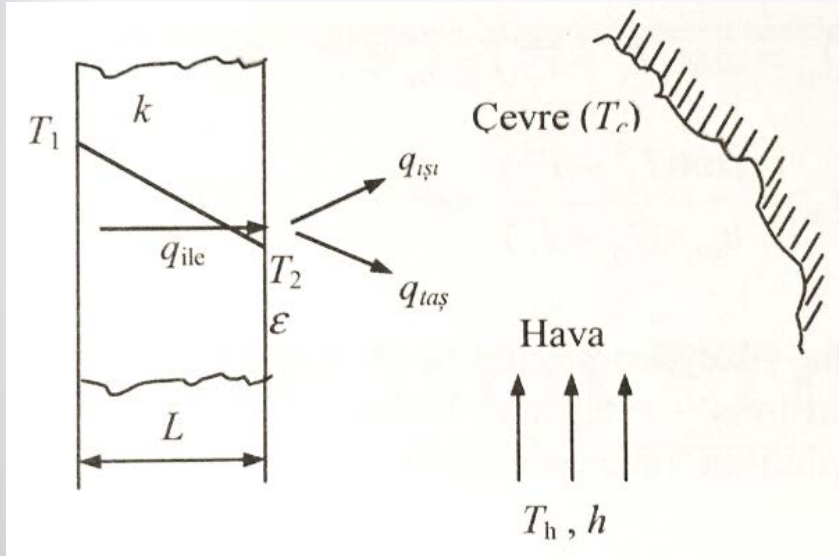


$$Q_{12} = \sigma \varepsilon_1 A_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

Bu bağıntı dıştaki cisimden içteki cisme ısı geçişi hesabı için kullanılmaz

Isı Transferi – Işınım (Radyasyon)

Örnek: İç yüzeyi 650 °C ve dış yüzey sıcaklığı 95 °C olan 35 cm kalınlığındaki bir fırın duvarının dış tarafındaki hava ve çevre sıcaklığı 23 °C'dir. Fırının dış yüzeyindeki ışıma yayma katsayısı 0,8 ve dış yüzey ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı 20 W/m²K olduğuna göre fırın duvarının ısı iletim katsayısını hesaplayınız ?



Kabuller: Sabit rejim, ısı geçişi bir boyutlu, ısı üretimi yok, ısı ışıması duvarın dış yüzeyi ile bunu çevreleyen hava arasındadır

Birim alan için kontrol yüzeyindeki enerji dengesi yazılırsa,

$$q_{ile} = q_{taş} + q_{ışı}$$

Açık haliyle

$$k \frac{T_1 - T_2}{L} = h(T_2 - T_h) + \sigma \varepsilon (T_2^4 - T_c^4)$$

Olur ve sayısal değerler yerlerine konulursa;

$$k \frac{923 - 368}{0,35} = 20(368 - 296) + 5,67 \times 10^{-8} \times 0,8(368^4 - 296^4)$$

$$k \frac{923 - 368}{0,35} = 1923,6 \text{ W/m}^2$$

Olur. Buradan da fırın duvarının ısı iletim katsayısı,

$$1585,7 k = 1923,6$$

$$k = 1,2 \text{ W/mK}$$

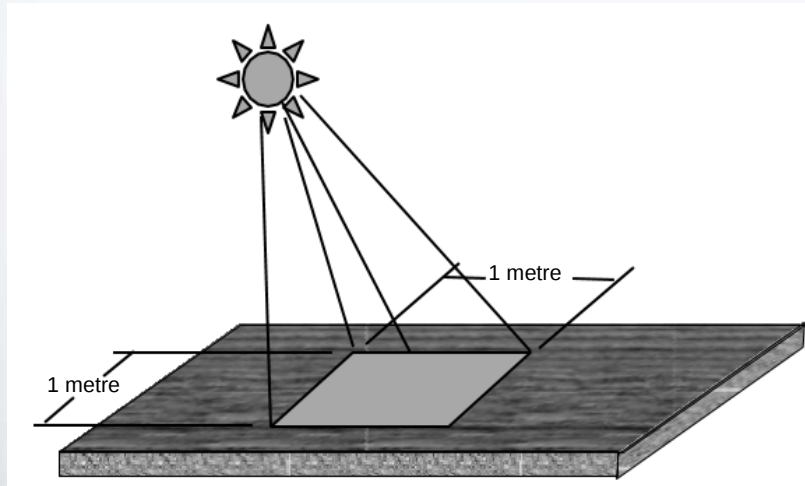
Isı Akısı

Yüzey birim alan başına aktarılan ısı enerjisi oranıdır. Tipik olarak kW / m^2 cinsinden verilir

q • — Birim zaman
" — Birim alan

" q " nun üstündeki nokta, birim zaman başına bir oran olduğunu gösterir.

Çift üssü (") birim alan başına ölçüldüğünü gösterir.



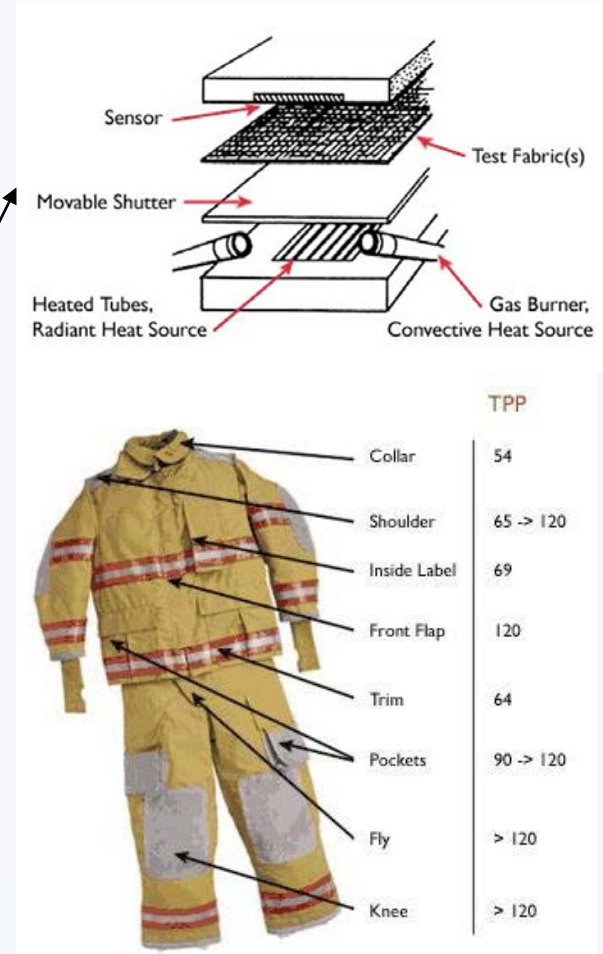
Tanımlanmış yüzey alanda ısı transfer hızı (kW / m^2).

Isı Akısı

Yüzey birim alan başına aktarılan ısı enerjisi oranıdır. Tipik olarak kW / m^2 cinsinden verilir

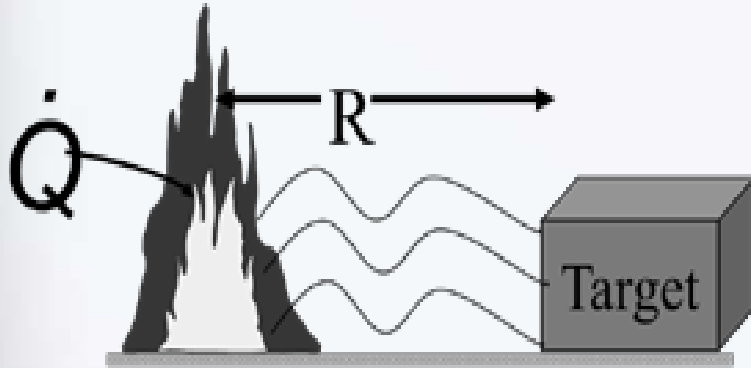
Yaklaşık ısı akısı değerleri:

1.0 kW/m^2	Güneşli Gün
3-5 kW/m^2	Saniyeler içinde cildte ağrı hissi
20 kW/m^2	Flashover başlangıcı için yeterli
84 kW/m^2	Termal Koruyucu Performans TPP testi.
200 kW/m^2	Flashover sonrası



Isı Akısı

X_r , alev tarafından yayılan radyasyon fraksiyonu veya yüzdesidir ve tipik olarak % 30 olduğu varsayılır (denklemden 0,3 olarak kullanılır). Benzin için 0.45, ahşap:0.35, Metanol: 0.17. Az duman çıkaran yakıtlarda 0.15 ile başlar ve yüksek duman çıkaran yakıtlara doğru 0.6 ya kadar değeri yükselebilir.



$$\dot{q}'' = X_r \dot{Q} / 4 \pi R^2$$

Yangında alevi göre bir cismine gelen ısı akısı miktarını hesaplamada önemli olan değişkenler şunlardır:

- a) Kaynak ve hedef arasındaki mesafe.
- b) Ateşin ısı yayılımı.
- c) Radyasyon ile aktarılan ısıнын yüzdesi.

Cismin maruz kaldığı ısı akısı, uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak değişir.

Isı Akısı

Örnek: Bir otoparkta 35000 kW ile yanan bir araçtan

a) 1 metre yanına park etmiş diğer sağındaki araca,

b) 3 metre yanına park etmiş solundaki araca olan ısı akılarının miktarı nedir ?



a) $\dot{q}'' = X_r Q / 4\pi R^2$

$$\dot{q}'' = 0,3 \times 3500 / 4\pi 1^2$$

$$\dot{q}'' = 83,6 \text{ kW/m}^2$$

b) $\dot{q}'' = X_r Q / 4\pi R^2$

$$\dot{q}'' = 0,3 \times 3500 / 4\pi 3^2$$

$$\dot{q}'' = 9,28 \text{ kW/m}^2$$

Isı Akısı

Isı akısı denklemi, ısı akısı biliniyorsa (veya belirli bir mesafede bir akı değeri elde etmek için ısı salım hızının ne olması gerektiği tahmin ediliyorsa) **ısı salım oranını (HRR)** çözmek için cebirsel olarak yeniden düzenlenebilir. Formül aşağıdaki gibi yeniden düzenlenirse:

$$\dot{q}'' = X_r \frac{\dot{Q}}{4\pi R^2}$$

Denklemin her iki tarafı $4\pi R^2$ ile çarpılırsa

$$\left\{ \dot{q}'' 4\pi R^2 = X_r \left(\frac{\dot{Q}}{4\pi R^2} \right) 4\pi R^2 \right\} = \{ \dot{q}'' 4\pi R^2 = X_r \dot{Q} \}$$

Denklemin her iki tarafı X_r ile bölünürse

$$\left\{ \frac{\dot{q}'' 4\pi R^2}{X_r} = \frac{X_r \dot{Q}}{X_r} \right\} = \left\{ \frac{\dot{q}'' 4\pi R^2}{X_r} = \dot{Q} \right\}$$

Tutuşma

Tutuşma olabilmesi için Yanıcı / yanıcı bir aralıkta bulunan yakıt gazlarının varlığında yeterli bir ısı kaynağı gerekir.

- Isı kaynağının yakıtı pirolize edebilmesini gerektirir.

Bir malzemeyi tutuşturmak için gereken zaman ve enerji aşağıdakilerin bir fonksiyonudur:

- Ateşleme kaynağı.
- Termal atalet, tutuşma sıcaklığı ve geometri gibi yakıt özellikleri.

Tutuşma için yeterli bir ateşleme kaynağına ve doğru yakıt özelliklerine sahip olmak gereklidir.

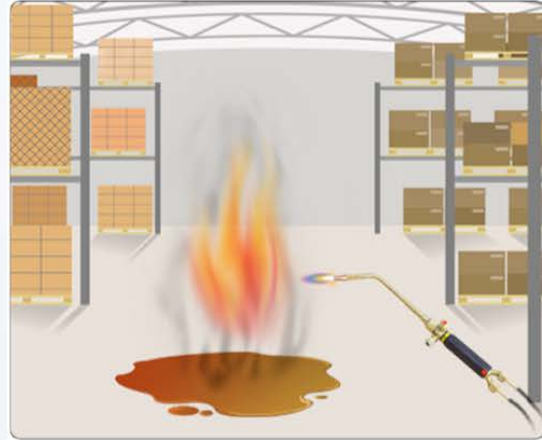
Sizce bir kibrit, her zaman her yanıcı malzemeyi tutuşturmak için yeterli olur mu?

Tutuşma : Üç Durum

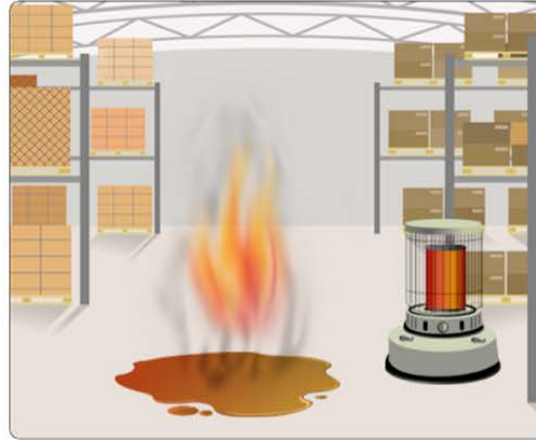
Pilotlu Tutuşma: Kıvılcım, alev, elektrik arkı vb. Varlığında meydana gelir (endotermik süreç).

Kendiliğinden tutuşma: Isı varlığında ancak alev olmadığında meydana gelir (endotermik süreç).

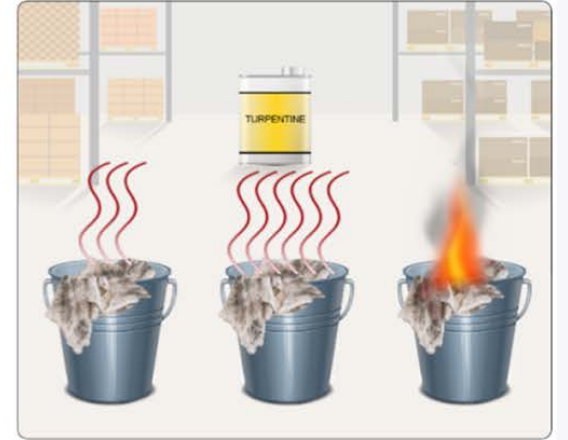
Doğal tutuşma: Bir malzeme içindeki biyolojik veya kimyasal oksidasyon nedeniyle oluşur (ekzotermik işlem).



Pilotlu Tutuşma



Kendiliğinden tutuşma



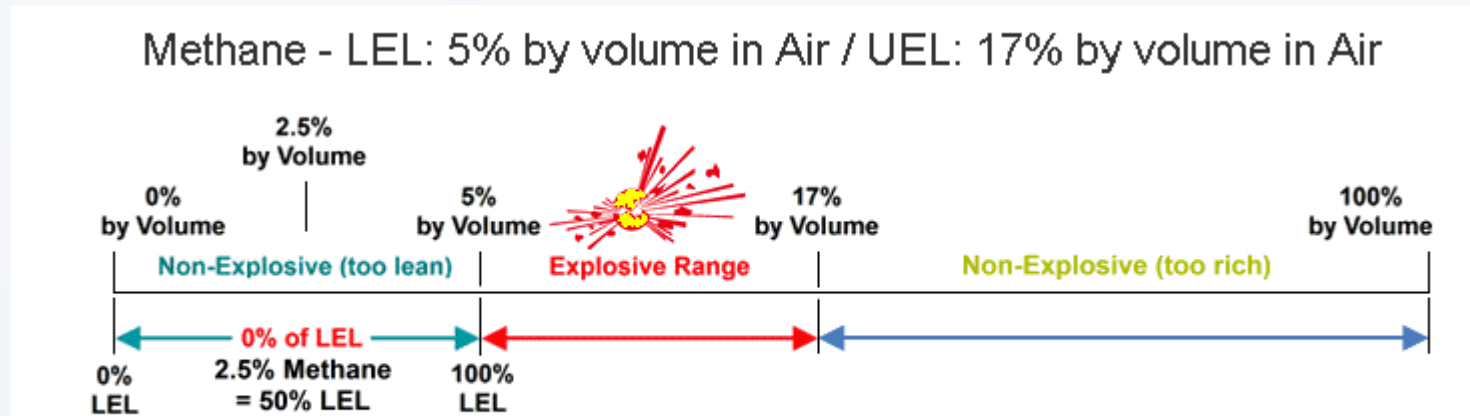
Doğal tutuşma

Tutuşma : Yanabilirlik (Patlayıcı) Sınırları

Alt yanma sınırı (Lower flammable limits (LFL)) ve üst yanma sınırı (upper flammable limits (UFL)):

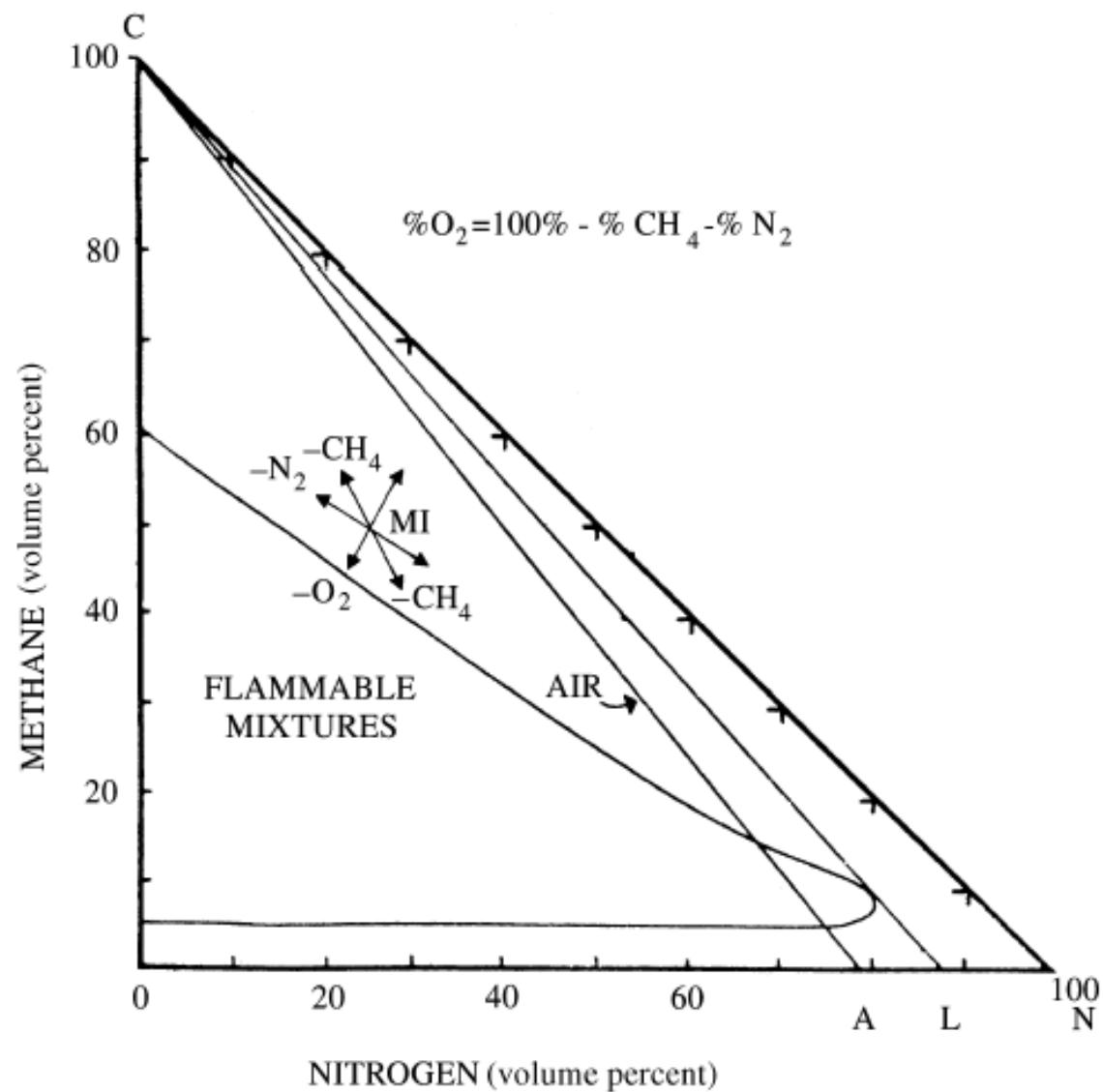
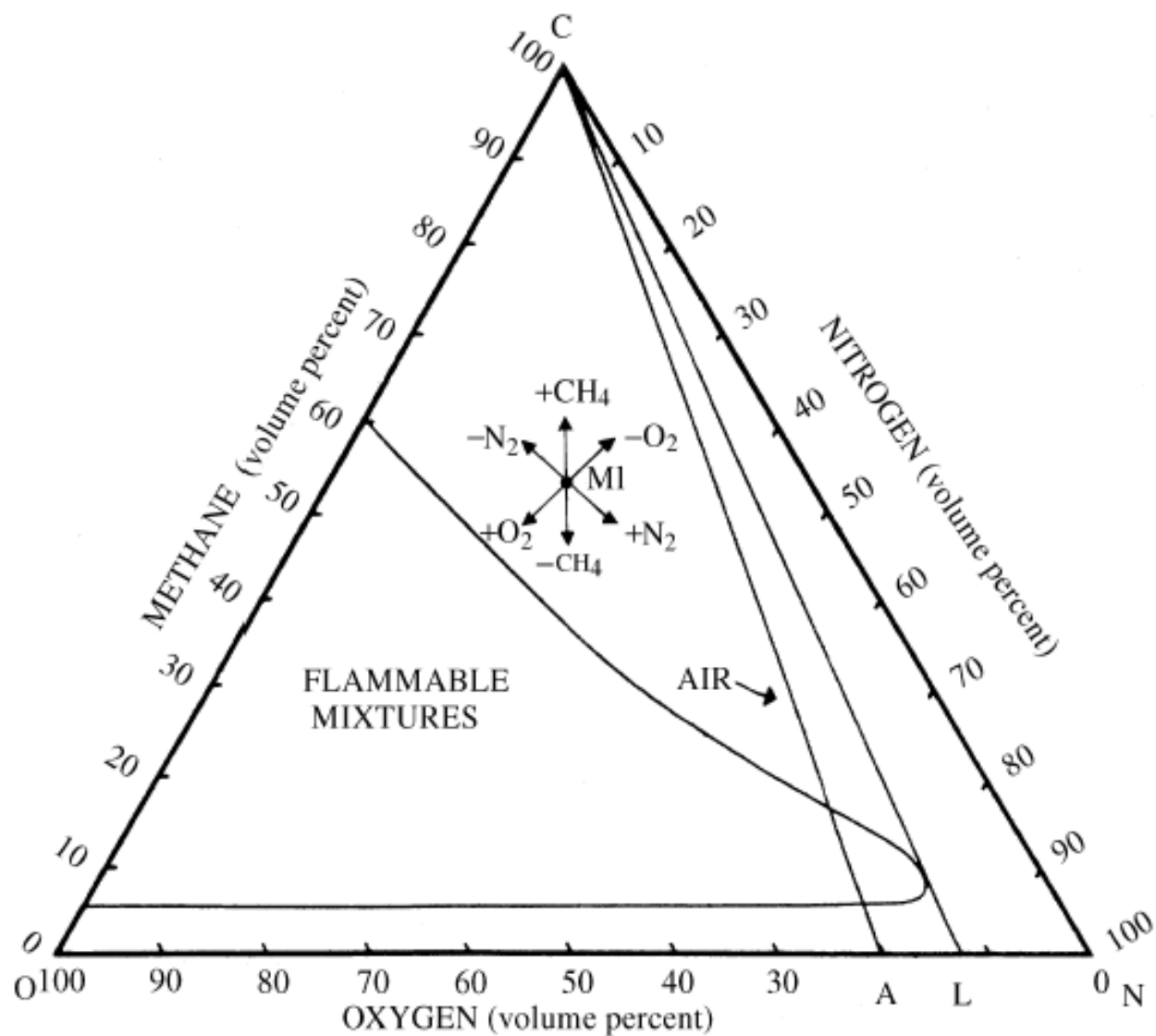
LFL (alt patlama sınırı (LEL) olarak da bilinir), bir tutuşma kaynağına maruz kaldığında alevin yayılmayacağı havadaki gaz veya buhar konsantrasyonudur.

UFL (aynı zamanda üst patlama sınırı (UEL) olarak da bilinir), tutuşma kaynağına maruz kaldığında bir alevin yayılamayacağı havadaki gaz veya buhar konsantrasyonudur.



Visual example to show where on the scale % of LEL is measured

	Lower flammability limit (L) ^a			$\frac{L}{C_{st}}$	Upper flammability limit (U) ^a		$\frac{U}{C_{st}}$	S_u^b (m/s)	Minimum ignition energy ^b (mJ)
	% Vol	g/m ³	kJ/m ³		% Vol	g/m ³			
Hydrogen	4.0 ^c	3.6	435	0.13	75	67	2.5	3.2	0.01
Carbon monoxide	12.5	157	1591	0.42	74	932	2.5	0.43	–
Methane	5.0	36	1906	0.53	15	126	1.6	0.37	0.26
Ethane	3.0	41	1952	0.53	12.4	190	2.2	0.44	0.24
Propane	2.1	42	1951	0.52	9.5	210	2.4	0.42	0.25
<i>n</i> -Butane	1.8	48	2200	0.58	8.4	240	2.7	0.42	0.26
<i>n</i> -Pentane	1.4	46	2090	0.55	7.8	270	3.1	0.42	0.22
<i>n</i> -Hexane	1.2	47	2124	0.56	7.4	310	3.4	0.42	0.23
<i>n</i> -Heptane	1.05	47	2116	0.56	6.7	320	3.6	0.42	0.24
<i>n</i> -Octane	0.95	49	2199	0.58	–	–	–	–	–
<i>n</i> -Nonane	0.85	49	2194	0.58	–	–	–	–	–
<i>n</i> -Decane	0.75	48	2145	0.56	5.6	380	4.2	0.40	–
Ethene	2.7	35	1654	0.41	36	700	5.5	>0.69	0.12
Propene	2.4	46	2110	0.54	11	210	2.5	0.48	0.28
Butene-1	1.7	44	1998	0.50	9.7	270	2.9	0.48	–
Acetylene	2.5	29	1410	0.32	(100)	–	–	1.7	0.02
Methanol	6.7	103	2141	0.55	36	810	2.9	0.52	0.14
Ethanol	3.3	70	1948	0.50	19	480	2.9	–	–
<i>n</i> -Propanol	2.2	60	1874	0.49	14	420	3.2	0.38	–
Acetone	2.6	70	2035	0.52	13	390	2.6	0.50	1.1
Methyl ethyl ketone	1.9	62	1974	0.52	10	350	2.7	–	–
Diethyl ketone	1.6	63	2121	0.55	–	–	–	–	–
Diethyl ether	1.9	64		0.56	36	1088	11		
Benzene	1.3	47	1910	0.48	7.9	300	2.9	0.45	0.22



Tutuşma :Termal Difüzyon ve Termal Atalet

Termal Difüzyon

- Isı iletimi; cisimden geçen ısı akışını ölçmek için kullanılan bir büyüklük iken Isı kapasitesi; ısıнын depolanma kabiliyetini belirleyen bir büyüklüktür.
- Bu iki ölçünün oranı cismin sıcaklığının değişiminin bir oranını vermektedir. Ve bu oran **TERMAL DİFÜZYON (α)** olarak tanımlanır.
- **Termal difüzyon** ("termal yayılma" veya "ısı yayılma" olarak da bilinir), bir malzemenin ısıısının sıcak taraftan soğuk tarafa aktarılma hızını tanımlayan bir termodinamik özelliktir. Termal difüzyon sıcaklığa bağlı olduğundan, genellikle malzemenin çalışması için gerekli olan sıcaklık aralığında ölçülür. Termal difüzyon, **özellik ısı kapasitesi** ve yoğunluğu aracılığıyla **termal iletkenlik** ile ilgilidir.

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

- Termal difüzyon katsayısının birimi **m²/s** 'dir ve sıcaklığa bağlıdır.

Tutuşma :Termal Difüzyon ve Termal Atalet

Tutuşmayı etkileyen malzeme özellikleri:

- 1) Isıl İletkenlik, **k** (W/m·K).
 - İletim yoluyla ısıyı aktarma yeteneği.
- 2) Yoğunluk, **ρ** (kg / m³).
 - Hacim başına kütle.
- 3) Özgül Isı, **c** (kJ / kg · K).
 - Bir malzemenin enerji depolayabilme yeteneği
- 4) Kalınlık, **d** (m).
- 5) Termal Atalet, **kpc** (kW²·s/m⁴·K²).
 - Malzemedeki sıcaklık artış hızından sorumludur.

Tutuşma :Termal Difüzyon ve Termal Atalet

Termal Atalet

- Sıvılar ve yalıtım malzemeleri genellikle düşük difüzyon değerlerine sahiptirler.
- **TERMAL ATALET** $= k \times \rho \times c_p$
- Birimi **[kW²·s/m⁴·K²]**
- Düşük termal atalet => Malzeme ısı kaynağı ile çok hızlı bir şekilde tetiklenir ve hızlı bir şekilde yanar
- Yüksek termal atalet => Malzeme ısı kaynağı ile çok yavaş bir şekilde alev alır
- Belirgin çelişki : İyi ısı yalıtımı malzemeleri (düşük k değeri) düşük ısı iletim katsayısına sahip olanlara göre daha kolay yanarlar.

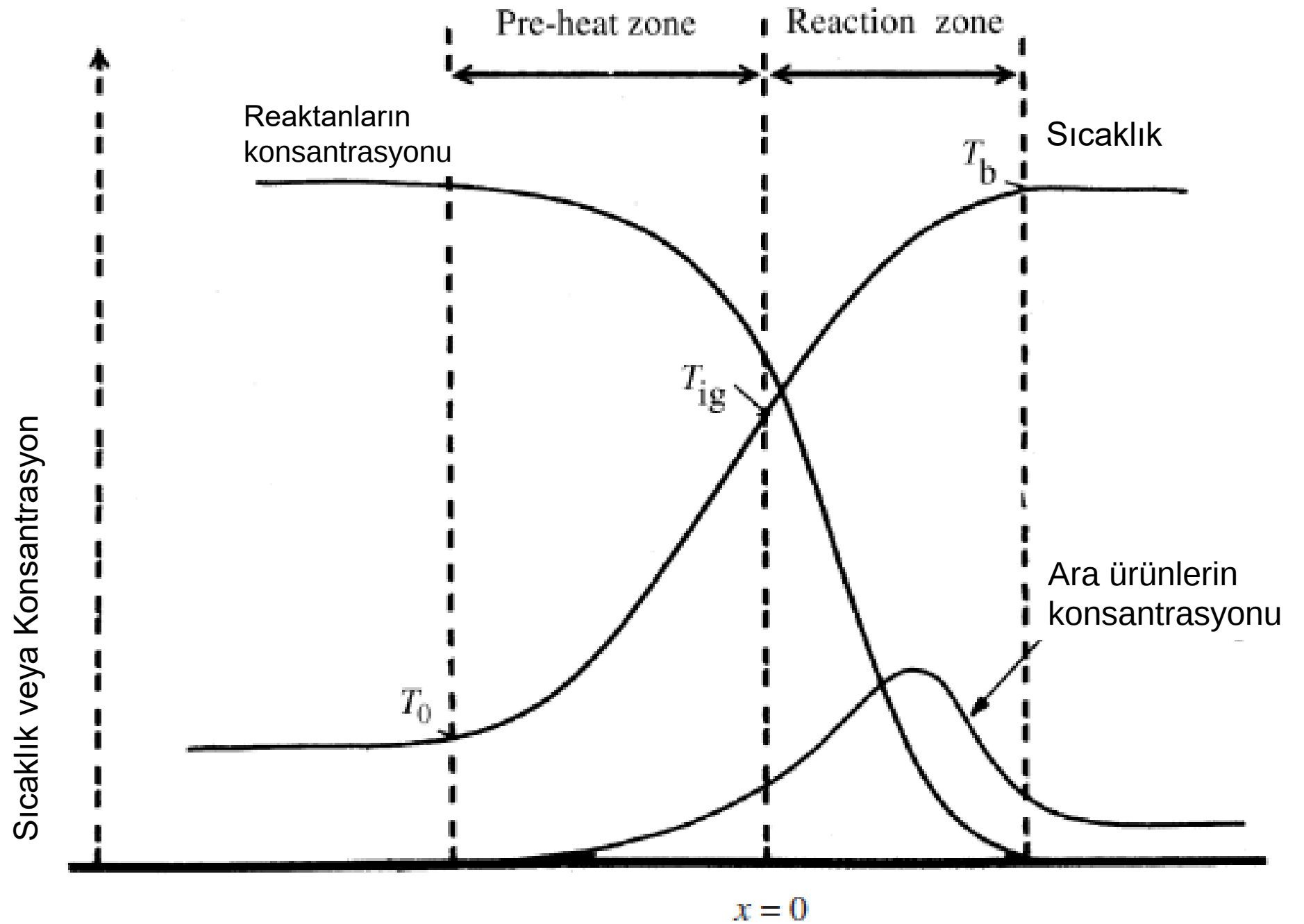
Tutuşma :Termal Difüzyon ve Termal Atalet

- Düşük ısı iletim katsayısına sahip maddeler ısıyı iyi iletmezler. Eğer malzemenin ısı iletimi hızlı ise (malzeme alev maruz kaldığında) ve birim hacimdeki ısı kapasitesi ($C_p \times \rho$) düşük ise ısıyı kolay bir şekilde absorbe eder ve neticede sıcaklığında hızlı bir artışa neden olur. Bu durumda malzemenin $k \times \rho \times c_p$ değeri küçüktür ve bu yüzden hızlı bir şekilde yanabilir.
- Termal atalet, "sıcaklık artışından sorumlu termal özellik" olarak tanımlanır. Daha basit bir ifadeyle, termal atalet, bir yakıtın yangın sürecine dahil edilmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu ile ilgili bir özelliktir. Düşük termal atalete sahip yakıtlar daha kolay tutuşurken, yüksek termal ataletli yakıtların tutuşması daha zordur.
- Benzer şekilde yüksek termal atalete göre düşük termal ataletli cisim üzerinde alev yayılımı çok hızlı olur.
- Örneğin, **poliüretan köpük**, termal ataleti $950 [W^2 \times s/m^2 \times K^2]$
- **Meşe odunu**, termal ataleti $320,000 [W^2 \times s/m^2 \times K^2]$
- Poliüretan köpük göreceli olarak meşe odununa göre daha kolay tutuşur ve çok daha hızlı yanar.

Tutuşma Süresi

- Tutuşma Süresi formülünün ısı akısı değerleriyle yakın bir ilişkisi vardır.
- Tutuşma Süresi formülü, yangının ilerlemesini analiz etmede ve ikincil bir yakıtın tutuşmasının ne kadar süreceğini (bir yakıttan diğerine ilerleme) belirlemede yararlıdır.
- İnce yakıtların (termal olarak ince) ve kalın yakıtların (termal olarak kalın) tutuşma sürelerinin hesaplanması arasında bir fark vardır.
- Formül, ateşleme sıcaklığı ve termal atalet ($k\rho c$) dahil olmak üzere yakıtın belirli özelliklerini ve ayrıca yakıtlara uygulanan ısı akısını ve ortamdaki ortam sıcaklığını kullanır. Termal atalet, "sıcaklık artışından sorumlu termal özellik" olarak tanımlanır. Formül şu şekilde ifade edilir:

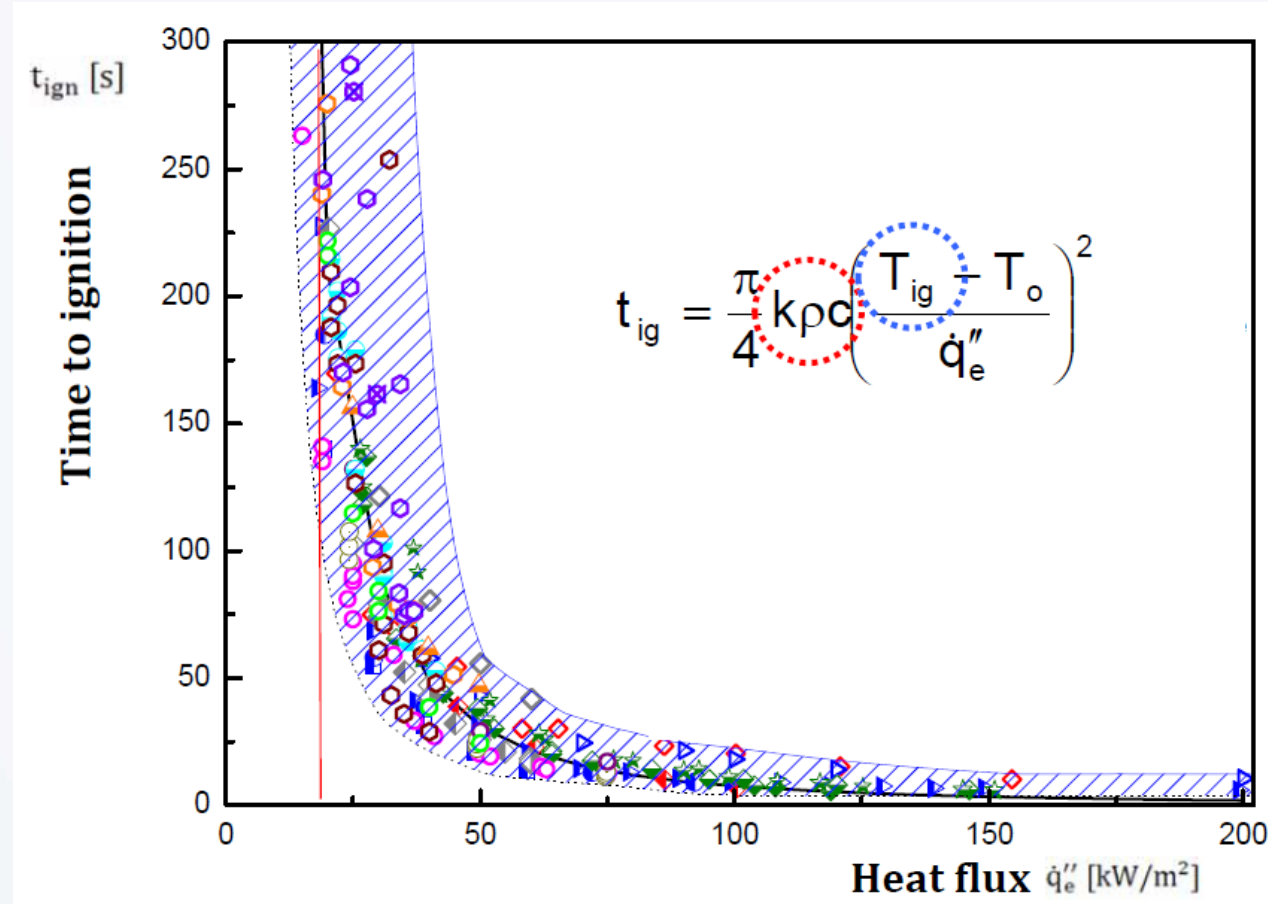
$$t_{ig} = \frac{\pi}{4} k\rho c \left[\frac{T_{ig} - T_s}{\dot{q}''} \right]^2$$



Tutuşma

Tutuşma Süresi

Literatürden PMMA (polimer) için deneysel veriler (Kalın numuneler)



Tutuşma

Tutuşma Süresi

Literatürden PMMA (polimer) ve bazı malzemeler için deneysel veriler (Kalın numuneler)

Ignition Data from ASTM E-1321 per Quintiere

Material	T_{ig} [°C]	kpC [(kW/m ² K) ² s]
Wood fiber board	355	0.46
Wood hardboard	365	0.88
Plywood	390	0.54
PMMA	380	1.00
Flexible foam plastic	390	0.32
Rigid foam plastic	435	0.03
Acrylic carpet	300	0.42
Wallpaper on plasterboard	412	0.57
Asphalt shingle	378	0.70
Glass-reinforced plastic	390	0.32

Tutuşma

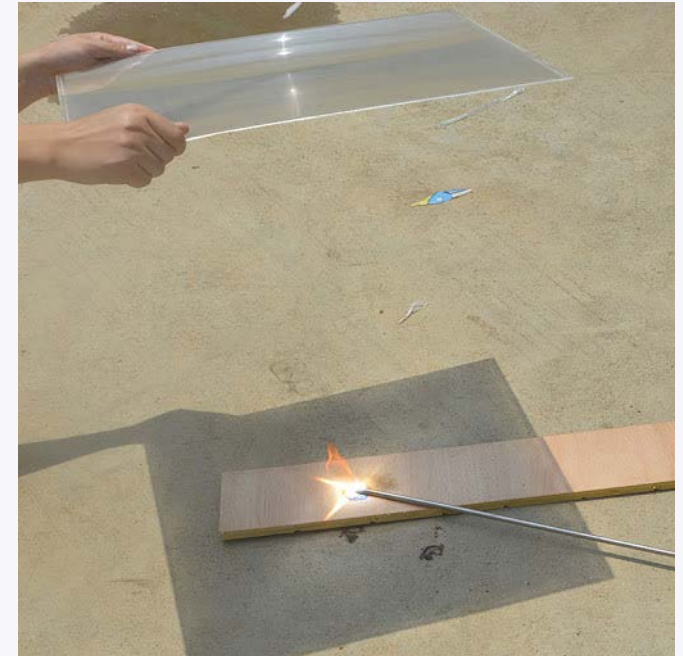
Tutuşma Süresi

Örnek: 23 °C ortam sıcaklığında 50 kW/m² ısı akısına maruz kalan PMMA malzemesi kaç saniye sonra tutuşur ?

$$t_{ig} = \frac{\pi}{4} k \rho c \left(\frac{T_{ig} - T_0}{\dot{q}_e''} \right)^2$$

$$t_{ig(PMMA)} = \frac{\pi}{4} 1 \left(\frac{380 - 23}{50} \right)^2$$

$$t_{ig(PMMA)} \cong 40 \text{ s}$$



Tutuşma

Tutuşma Süresi

Örnek: 0.54 termal ataletli 19 mm kalınlığındaki bir kontrplak için tutuşma sıcaklığı değeri 390 °C, ölçülen ortam sıcaklığı 29 °C ve ısı akısı 20 kW/m² ise tutuşma süresi nedir ?

$$t_{ig} = \frac{\pi}{4} k \rho c \left(\frac{T_{ig} - T_0}{\dot{q}_e''} \right)^2$$

$$t_{ig} = \frac{\pi}{4} 0,54 \left(\frac{390 - 29}{20} \right)^2$$

$$t_{ig} \cong 136 \text{ s}$$



Yanma Süresi

SIVI YAKITLAR İÇİN YANMA SÜRESİ

İçerisinde yanıcı sıvı olan tava yangınları için yanma süresi aşağıdaki formül ile hesaplanabilir

$$t_b = \frac{4V}{\pi D^2 v}$$

Formülde verilen ;

t_b = Tava yangınları için yanma süresi [saniye]

V = Sıvının hacmi [m^3]

D = Tava çapı [m]

v = Azalma oranıdır [m/s]

Azalma oranını hesaplamak için;

$$v = \dot{m}'' / \rho$$

Denklemini kullanılabilir

Sıvı Yakıtların Yanma Süresi İçin Gereken Veriler

Yakıt	Yanan Kütle Oranı m'' (kg/m ² -sec)	Yanma Isısı $\Delta H_{c,eff}$ (kJ/kg)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Ampirik Sabit $k\beta$ (m ⁻¹)
Methanol	0.017	20,000	796	100
Ethanol	0.015	26,800	794	100
Butane	0.078	45,700	573	2.7
Benzene	0.085	40,100	874	2.7
Hexane	0.074	44,700	650	1.9
Heptane	0.101	44,600	675	1.1
Xylene	0.09	40,800	870	1.4
Acetone	0.041	25,800	791	1.9
Dioxane	0.018	26,200	1035	5.4
Diethy Ether	0.085	34,200	714	0.7
Benzine	0.048	44,700	740	3.6
Gasoline	0.055	43,700	740	2.1
Kerosine	0.039	43,200	820	3.5
Diesel	0.045	44,400	918	2.1
JP-4	0.051	43,500	760	3.6
JP-5	0.054	43,000	810	1.6
Transformer Oil, Hydrocarbon	0.039	46,000	760	0.7
561 Silicon Transformer Fluid	0.005	28,100	960	100
Fuel Oil, Heavy	0.035	39,700	970	1.7
Crude Oil	0.0335	42,600	855	2.8
Lube Oil	0.039	46,000	760	0.7

Yanma Süresi

SIVI YAKITLAR İÇİN YANMA SÜRESİ

Örnek: İçerisinde 3 litre benzin bulunan 0.2 m çapındaki tava yangını kaç saniye sürer ?

$$t_b = \frac{4V}{\pi D^2 v} = \frac{4 \times 0.003}{\pi \times 0.2^2 \times \left(\frac{0.055}{740}\right)}$$

$$t_b = \frac{0.012}{0.1256 \times \left(\frac{0.055}{740}\right)} = 1285 \text{ s} = 21,41 \text{ dakika}$$

Yanma Süresi

KATI YANICILAR İÇİN YANMA SÜRESİ

Katı yanıcıların yanma süreleri yakıtın ısı salınım oranı (HRR) ve toplam enerji değeri ile yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$t_{katı} = \frac{E}{\dot{Q}} = \frac{m_{katı} \Delta H_c}{\dot{Q}'' A_{katı}} \quad A_{katı} = LW$$

Formülde verilen ;

$\dot{Q}$	= Isı salınım oranı (HRR) [kW]
E	= Yakıtın toplam enerjisi [kJ]
$m_{katı}$	= Yakıtın kütlesi [kg]
ΔH_c	= Yakıtın yanma enerjisi [kJ/kg]
$\dot{Q}''$	= Birim alan için ısı salınım oranı [kW/m ²]
$A_{katı}$	= Yakıtın Yanan alan (uzunluk x genişlik) [m ²]
L	= Yakıtın Yanan uzunluğu (m)
W	= Yakıtın Yanan genişliği (m)

Katı Yakıtların Yanma Süresi İçin Gereken Veriler

Malzeme	Birim alan için HRR	Yanma enerjisi
	Q'' (kW/m ²)	ΔH_c (kJ/kg)
Douglas Köknar Kontrplak	221	17600
Boş Kartonlar 15 ft high	1700	12700
Etilen Propilen Dien Kauçuk (EPDM)	956	28800
Yangın Geciktirici İşlenmiş Kontrplak	81	13500
Naylon 6/6	1313	32000
Sunta, 19 mm thick	1900	17500
PE, Nylon/PVC, Nylon	231	9200
PE/PVC	589	24000
Polycarbonate	420	24400
Polyethylene (PE)	1408	46500
Polymethylmethacrylate (PMMA)	665	26000
Polypropylene (PP)	1509	43200
Polystyrene (PS)	1101	42000
Polyurethane	710	45000
Polyvinyl Chloride (PVC) Flexible	237	15700
Stiren-Bütadien Kopolimerleri (SBR)	163	44000
Teflon	98	3200
Ahşap Paletler, stacked 0.45 m yükseklik	1420	14000
Ahşap Paletler, stacked 1.52 m yükseklik	3970	14000
Ahşap Paletler, stacked 3.05 m yükseklik	6800	14000
XPE/FRXPE	475	28300
XPE/Neoprene	354	10300

Yanma Süresi

KATI YANICILAR İÇİN YANMA SÜRESİ

Örnek: 1.5 metrelik bir yığın olarak yanan 70 kg ağırlığındaki palet yangınında yanan uzunluk 1.2 m ve genişlik 0.5 m olarak ölçülmüştür. Paletlerin yanması ne kadar süre devam eder ?

$$A_{katı} = LW = 1.2 \times 0.5 = 0.6 \text{ m}^2$$

$$t_{katı} = \frac{E}{\dot{Q}} = \frac{70 \times 14000}{3970 \times 0.6} = \frac{980000}{2382}$$

$$t_{katı} = 411 \text{ s} = 6.85 \text{ dak.}$$

Karakteristik Alev Çapı

Karakteristik Alev yarıçapı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

Formülde verilen

$\dot{Q}$ = Yangının enerjisini (kW),

ρ_{∞} = Yangın ortamının yoğunluğunu (hava duman karışımı olarak düşünülürse yaklaşık olarak 1.204 kg/m³)

T_{∞} = Sonsuz ortam sıcaklığı, yangının ortamın ortalama sıcaklığı. 293 K (20 °C) alınabilir

c_p = 1.005 kJ/kgK

g = Yerçekimi ivmesi, 9.81 m/s²

Karakteristik Alev Çapı

Örnek : 20 °C ortam sıcaklığındaki 500 kW enerjiye sahip bir yangının alev çapı nedir ?

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

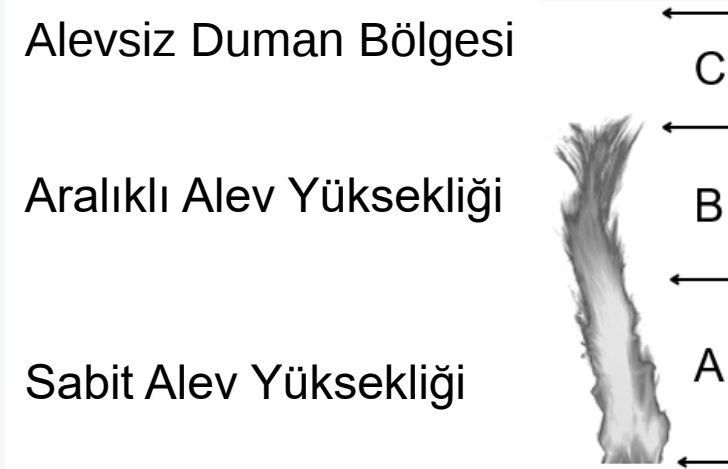
$$D^* = \left(\frac{500}{1.204 \times 1.005 \times 293 \times \sqrt{9.81}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

$$D^* = 0.726 \text{ m}$$

Alev Yüksekliği

Alev yüksekliği, daha düşük ısı yayma oranlarına sahip olanlara kıyasla daha yüksek alev yüksekliklerine sahip olması beklenen daha yüksek enerji salım oranlarına sahip yakıtlar tarafından salınan enerji miktarı (Isı Salım Oranı) ile yakından ilişkilidir. Yakıt konfigürasyonu ve yakıt konumu gibi diğer faktörler de alev yüksekliğini etkileyebilir ve formüller kullanılırken bu etkilerde dikkate alınmalıdır.

Isı salım oranına dayalı olarak alev yüksekliğini tahmin etmek ve tersine, gözlemlenen bir alev yüksekliğine dayalı olarak ısı yayma oranını tahmin etmek için kullanılabilecek bir dizi hesaplama vardır. Alev yüksekliği hesaplanırken ölçüm, cismin tabanından değil alevin tabanından alevli cismin üzerindeki yüksekliğe kadar alınır.



Alev Yüksekliği

Birinci formül **McCaffrey** tarafından geliştirilmiş ve şu şekilde ifade edilmiştir:

$$Z_c = 0.08\dot{Q}^{2/5} \quad Z_i = 0.2\dot{Q}^{2/5}$$

Z_c = Metre Cinsinden Sabit Alev Yüksekliği

Z_i = Metre Cinsinden Aralıklı Alev Yüksekliği

0,08 = m / kW cinsinden Tutarlı Alev Değişkeni

0.20 = m / kW cinsinden Aralıklı Alev Değişkeni

$\dot{Q}$ = Kilowatt cinsinden yangının ısı salınım oranı

Bu formül, alevi nispeten sabit bir yükseklik (0.08 değeri) ile alevin periyodik bir oranda dalgalandığında veya titreşirken ulaştığı aralıklı, ancak daha yüksek bir seviye (0.20 değeri) arasında değişen olarak tanımlar.

Alev Yüksekliği

Örnek 1: 500 kW enerjiye sahip bir yangının sabit alev yüksekliği nedir?

$$Z_c = 0.08 \times (500)^{2/5}$$

$$Z_c = 0.08 \times 12$$

$$Z_c = 0.96 \text{ m}$$

Örnek 2: 500 kW enerjiye sahip bir yangının aralıklı alev yüksekliği nedir?

$$Z_i = 0.2 \times (500)^{2/5}$$

$$Z_i = 0.2 \times 12$$

$$Z_i = 2.4 \text{ m}$$

Alev Yüksekliği

Heskestad tarafından alev yüksekliğini hesaplamanın ikinci bir yöntemi geliştirilmiştir. Bu formül tipik olarak havuz yangınının alev yüksekliğini hesaplamak için kullanılır ve bir alev çapı değişkeni içerir.

Bu formül diğer formüllere göre daha iyi sonuç vermektedir ve havuz yangınlarına ek olarak diğer yanan nesnelerin alev yüksekliğini hesaplamak için de kullanılabilir. Şöyle ifade edilir:

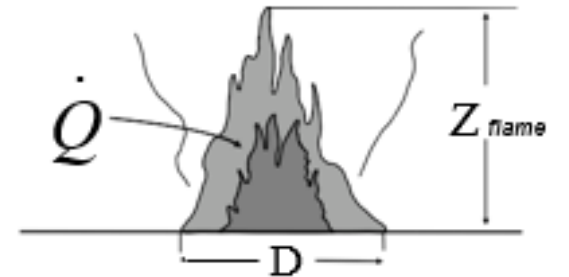
$$Z_f = 0.23\dot{Q}^{2/5} - 1.02D$$

Z_f = Metre Cinsinden Alev Yüksekliği

$\dot{Q}$ = Isı salınım oranı (HRR) [kW]

D = Alev Çapı

0.23 = Alev sabiti [m/kW]



$$Z_f = 0.23 \dot{Q}^{2/5} - 1.02 D$$

$\dot{Q}$ is in kW D and Z are in meters

Alev Yüksekliği

Örnek 1: 500 kW enerjiye sahip 0.5 m çapında tava yangının alev yüksekliği nedir?

$$Z_f = 0.23 \times 500^{2/5} - 1.02 \times 0.5$$

$$Z_f = 2.76 \times 0.51$$

$$Z_f = 2.25 \text{ m}$$

Örnek 2: 500 kW enerjiye sahip bir yangının alev yüksekliği nedir? (Alev çapı verilmeyen durumda)

$$Z_f = 0.23 \times 500^{2/5} - 1.02 \times 0.726$$

$$Z_f = 2.76 \times 0.726$$

$$Z_f = 2 \text{ m}$$

Alev Yüksekliği

Üçüncü formül, **Alpert ve Ward** tarafından geliştirilmiştir ve NFPA 921'in 2004 baskısına dahil edilmiştir.

Tartışılan diğer denklemlere benzer şekilde, bu hesaplama ağırlıklı olarak ısı yayılma oranına dayanmaktadır. Bu denklem, sürüklenmenin alev yüksekliği üzerindeki etkilerini tahmin etmek için kullanılan bir konum faktörünü içerir. Son zamanlarda yapılan deneyler, sürüklenmenin sınırlayıcı etkilerinin (bir duvar konfigürasyonu için % 50 ve bir köşe konfigürasyonu için % 75 olarak faktörlendirilmiştir) daha önce tanımlananlar atılanlar kadar büyük olmayabileceğini göstermiştir. Yakıt şeklinin bu sınırlayıcı etki üzerinde bir etkisi vardır, örneğin bir duvara veya köşeye kare şeklinde bir yakıt, bir duvara veya köşeye yuvarlak bir yakıttan daha fazla sürüklenmeyi azaltacaktır. Denklem şu şekildedir:

$$H_f = 0.174(k\dot{Q})^{2/5}$$

H_f = Metre Cinsinden Alev Yüksekliği

$\dot{Q}$ = Isı salınım oranı (HRR) [kW]

k = Kompartmandaki yangının konumu

1= Odanın merkezi

2= Duvara karşı

4= Odanın köşesi

0.174 = Alev sabiti [m/kW]

Alev Yüksekliği

Örnek 1: Bir odanın ortasındaki 500 kW enerjiye sahip yangının alev yüksekliği nedir?

$$\begin{aligned}H_f &= 0.174(k\dot{Q})^{\frac{2}{5}} \\H_f &= 0.174(1 \times 500)^{\frac{2}{5}} \\H_f &= 0.174 \times 12 \\H_f &= 2.09 \text{ m}\end{aligned}$$

Hesaplanan alev yükseklikleri	
Sabit alev yüksekliği	0.94
Aralıklı alev yüksekliği	2.4
Tava yangını alev yüksekliği	2.25
Alev yarıçapı hesaplanan alev yüksekliği	2
NFPA Alev yüksekliği	2.09

Flashover (Genel Parlama)

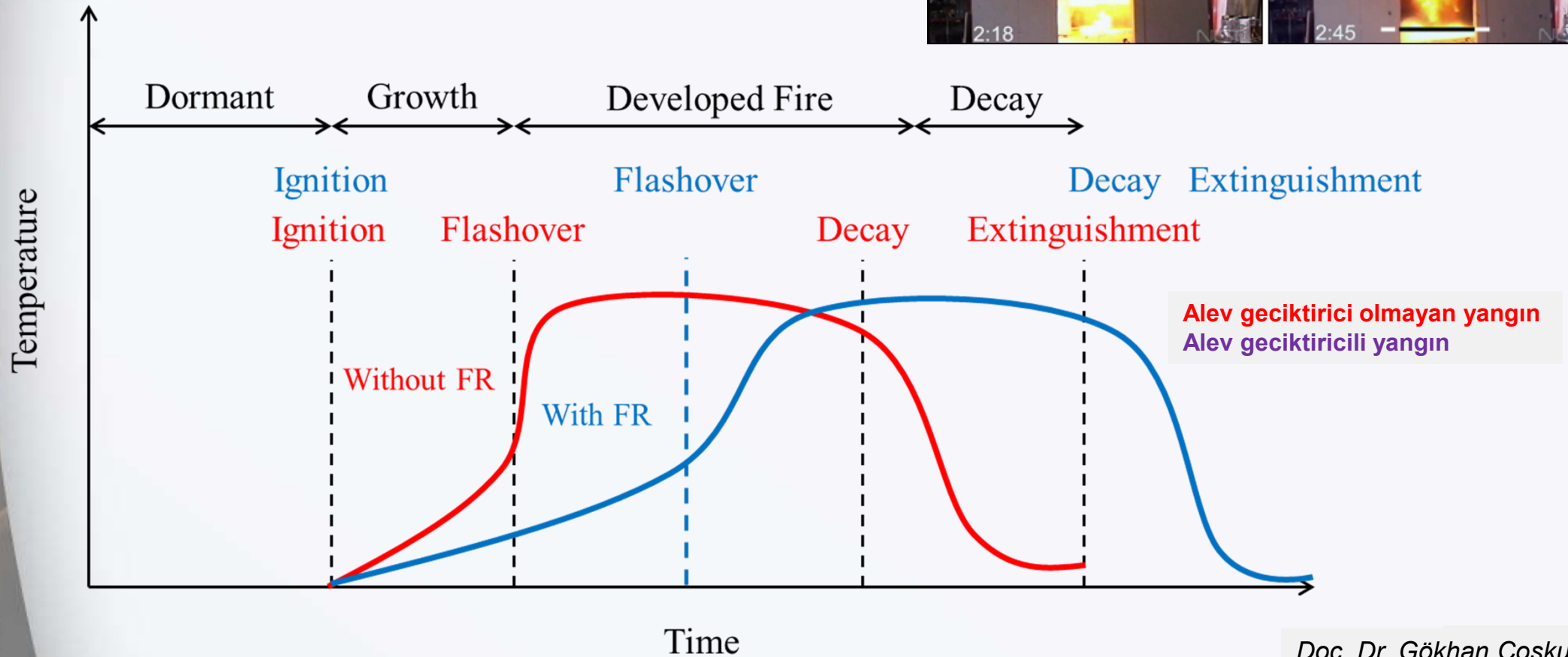
Flashover bir yüzeyin ısınınca çıkardığı yanıcı gazların, tutuşacak dereceye dek ısınıp, birden parlayarak yanması olarak açıklanır

Genel parlamanın en yaygın örneği, bir evin odasındaki mobilyaların yanması sonucu gözlemlenir. Yanan mobilyaların çıkardığı sıcak duman odanın tavanı boyunca yayılır. Buradan yayılan ısı, odadaki öteki yüzeyleri de ısıtarak, onlardan yanıcı gazların çıkarmasına neden olur. Yüzeylerin ısısı belli bir yüksekliğe ulaştığında, bu yanıcı gazlar birden parlar.

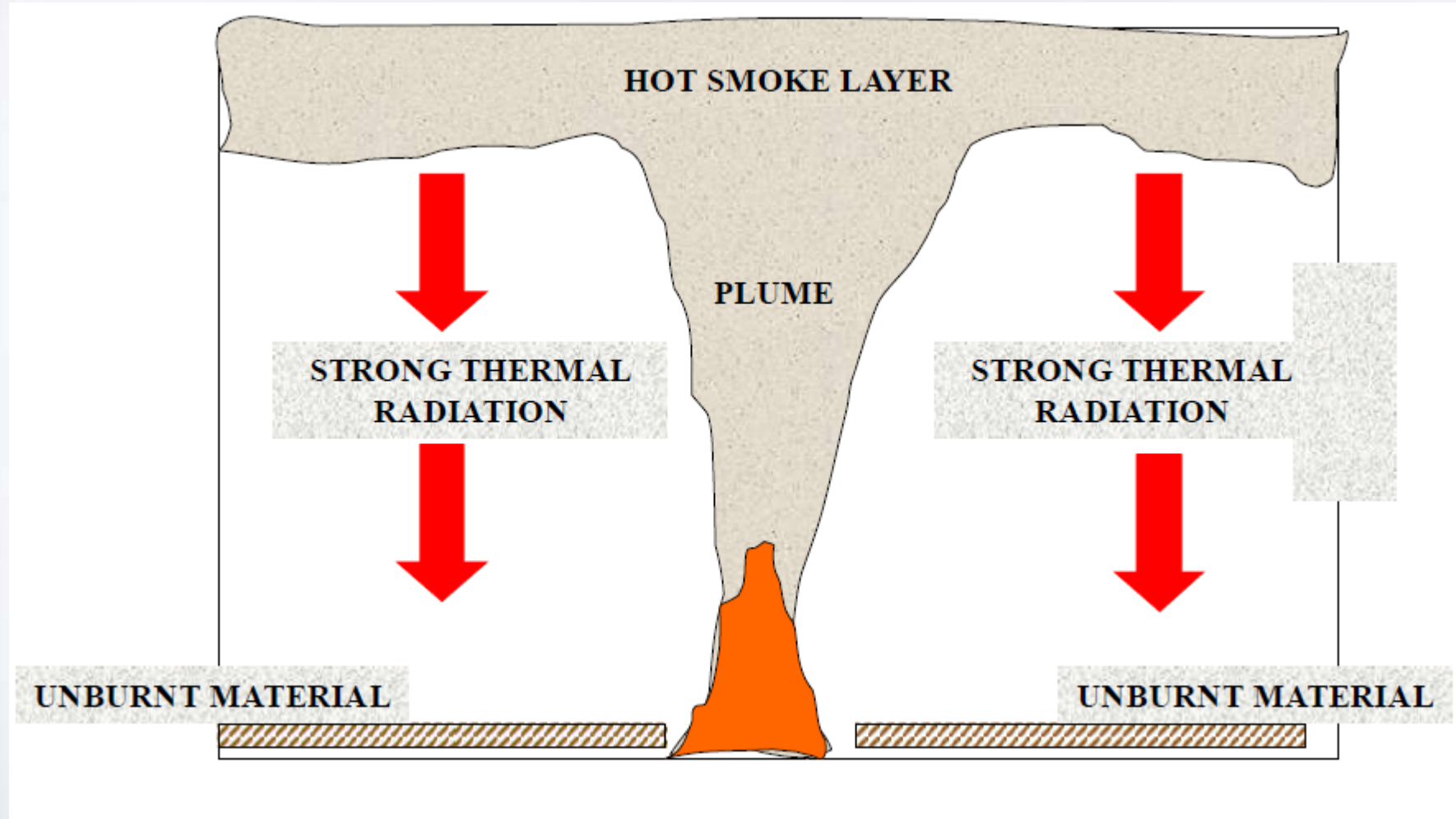
Flashover, bir bölmedeki tüm mevcut yakıtların yangın sürecine dahil olduğu yangın gelişme sürecinin geçiş aşamasıdır. "Bir oda yangınında meydana gelen dramatik bir olay, hızla tam oda müdahalesine yol açar ve 500 - 600 Santigrat derecelik bir duman sıcaklığında meydana gelebilen bir olay" olarak tanımlanır. Flashover süreci, bir geçiş aşaması ve olaylar dizisidir ve belirli bir zaman anı değildir.

Flashover (Genel Parlama)

STAGES OF A FIRE



Flashover (Genel Parlama)



Flashover

Flashover için gerekli enerji salım oranını hesaplamak için kullanılan üç temel denklem vardır. Bunlar; Thomas metodu, Babrauskas metodu ve McCaffery metodudur.

Her biri biraz farklı değişkenler içerirken, süreç, mevcut havalandırmadan etkilenir ve her denklem, açıklıkların alanına ve açıklıkların yüksekliğine bağlı olarak bir havalandırma faktörü içerir ($A_0\sqrt{H_0}$).

İlk denklem aşağıdaki şekilde ifade edilen McCaffery, Quintiere, Harkleroad (MQH) yöntemidir:

$$\dot{Q}_{fo} = 610(h_k A_t A_0 \sqrt{H_0})^{1/2}$$

Veya

$$\dot{Q}_{fo} = 610 \sqrt{h_k A_t A_0 \sqrt{H_0}}$$

Flashover

$$\dot{Q}_{fo} = 610(h_k A_t A_0 \sqrt{H_0})^{1/2}$$

Burada ;

$\dot{Q}_{fo}$ = Flasoverın oluşması için gerekli olan ısı salınım oranı

h_k = Duvar iletkenlik faktörü, duvar kalınlığına (metre cinsinden) bölünerek kW / m²K cinsinden ifade edilir. Bu değerler yangın devam ederken değişikliğe uğrasa da, mazi malzemelerin tipik iletkenlik faktörlere şu şekilde bilinmektedir;

Alçıpan = 0.00048

Tuğla = 0.00069

Ahşap = 0.00018

Beton = 0.0011

A_t = Toplam sınır yüzey alanı m² olarak, havalandırma açıklıkları çıkartılmış (tipik olarak (2 * ((L x W) + (L x H) + (W x H)) - (Havalandırma Genişliği x Havalandırma Yüksekliği)) ancak tüm bölme yüzeylerini içermelidir)

A_0 = Havalandırma açıklıklarının toplam alanı m² olarak

H_0 = Açıklığın metre biriminde yüksekliği

Flashover

MQH denklemi, 500 Celsius'luk bir üst katman sıcaklığı değişikliğinin flashover'a geçiş için bir kriter olduğu tahminine veya yaklaşımına dayanmaktadır.

Örnek : Duvarları alçıpan kaplı 3 metre uzunluğunda, 4 m eninde, 2.4 m boyunda olan bir odada 0.91 m genişliğinde, 1.98 yüksekliğinde m ve 0.012 m kalınlığında ölçülerinde bir kapı açıklığı bulunmaktadır. MQH yaklaşımı ile ,odada flashover oluşması için gereken enerji hesaplayın?

$$\dot{Q}_{fo} = 610(h_k A_t A_0 \sqrt{H_0})^{1/2}$$

$$\dot{Q}_{fo} = 610 \left(\left(\frac{0.00048}{0.012} \right) 55.8 \times 1.8 \times \sqrt{1.98} \right)^{1/2}$$

$$\dot{Q}_{fo} = 610(4.02 \times 1.41)^{1/2}$$

$$\dot{Q}_{fo} = 1452 \text{ kW}$$

Flashover

İkinci yaklaşım aşağıdaki şekilde ifade edilen Thomas yöntemidir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\dot{Q}_{fo} = 7.8A_t + 378A_0\sqrt{H_0}$$

Burada ;

A_t = Toplam sınır yüzey alanı m² olarak, havalandırma açıklıkları çıkartılmış (tipik olarak (2 * ((L x W) + (L x H) + (W x H)) - (Havalandırma Genişliği x Havalandırma Yüksekliği)) ancak tüm bölme yüzeylerini içermelidir)

A_0 = Havalandırma açıklıklarının toplam alanı m² olarak (Havalandırma Genişliği x Havalandırma Yüksekliği)

H_0 = Açıklığın metre biriminde yüksekliği

Flashover

Örnek Duvarları alçıpan kaplı 3 metre uzunluğunda, 4 m eninde, 2.4 m boyunda olan bir odada 0.91 m genişliğinde, 1.98 yüksekliğinde m ve 0.012 m kalınlığında ölçülerinde bir kapı açıklığı bulunmaktadır. Thomas yaklaşımı ile odada flashover oluşması için gereken enerji hesaplayın?

$$\dot{Q}_{fo} = 7.8A_t + 378A_0\sqrt{H_0}$$

$$\dot{Q}_{fo} = 7.8 \times 55.8 + 378 \times 1.8 \times \sqrt{1.98}$$

$$\dot{Q}_{fo} = 435.24 + 680.4 \times 1.41$$

$$\dot{Q}_{fo} = 1395 \text{ kW}$$

Flashover

Üçüncü yaklaşım aşağıdaki şekilde ifade edilen Babrauskas yöntemidir. Oda boyutlarını içeren diğer korelasyonlardan farklı olarak bu formül, birincil girdi değişkeni olarak havalandırma faktörüne dayanır. Denklem şu şekilde ifade edilir:

$$\dot{Q}_{fo} = 750A_0\sqrt{H_0}$$

Burada ;

A_0 = Havalandırma açıklıklarının toplam alanı m² olarak (Havalandırma Genişliği x Havalandırma Yüksekliği)

H_0 = Açıklığın metre biriminde yüksekliği

Flashover

Örnek : Duvarları alçıpan kaplı 3 metre uzunluğunda, 4 m eninde, 2.4 m boyunda olan bir odada 0.91 m genişliğinde, 1.98 yüksekliğinde m ve 0.012 m kalınlığında ölçülerinde bir kapı açıklığı bulunmaktadır. Babrauskas yaklaşımı ile ,odada flashover oluşması için gereken enerji hesaplayın?

$$\dot{Q}_{fo} = 750 A_0 \sqrt{H_0}$$

$$\dot{Q}_{fo} = 750 \times 1.8 \sqrt{1.98}$$

$$\dot{Q}_{fo} = 750 \times 2.54$$

$$\dot{Q}_{fo} = 1905 \text{ kW}$$

Flashover

Thomas ve Babrauskas yöntemleri, oda boyutlarının ve havalandırma boyutlarının girilmesini gerektirir (Babrauskas yöntemi, oda boyutlarını teknik olarak hesaba katmasa da), MQH yönteminde ise sınır iletkenlik faktörünün ve sınır kalınlık değişkenlerinin de denkleme girilmesi gerekir (yani sınır yüzeylerinde ısı kaybını da hesaba katar.)

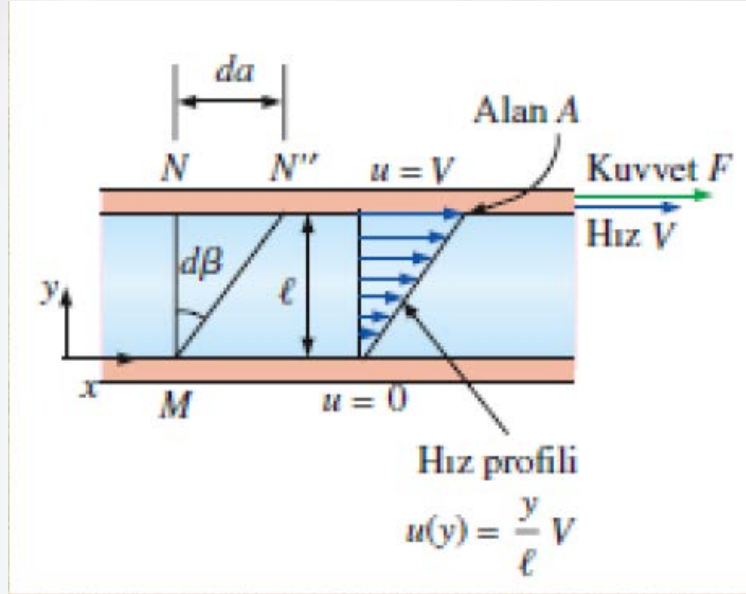
Flashover'a Ulaşmak İçin Gereken HRR Tahminleri			Hesaplanan Parametreler		
Giriş parametreleri			Yüzey Alanı	55.8	m ²
Oda Uzunluğu	3	m	Havalandırma Faktörü	2.54	m ^{5/2}
Oda Genişliği	4	m	Açıklık alanı	1.8	m ²
Oda Yüksekliği	2.4	m	Babrauskas Tahmini	1902	kW
Açıklık Genişliği	0.91	m	MQH Tahmini	1451	kW
Açıklık Yüksekliği	1.98	m	ThomasTahmini	1394	kW
İletkenlik	0.00048	kW/m ² K			
Kalınlık	0.012	m			

Viskozite

- Tüm akışkanlar (sıvılar ve gazlar) akmaya ve uygulanan kayma gerilmesine karşı direnç gösterirler. Bu olaya Viskozite denir ve bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Viskozitesi yüksek olan sıvılar ağdalı olarak tanımlanırlar.
- Akmazlık değeri daha yüksek olan mor sıvı ve düşük akmazlık değerine sahip gri sıvının dökülmelerindeki fiziksel fark. Viskozitesi "düşük" olan gri sıvı daha fazla yayılım gösterecektir.



Viskozite



Genellikle herhangi bir akış esnasında akışkanın tabakaları farklı hızlarda hareket ederler ve akışkanın viskozite, uygulanan kuvvete karşı direnç gösteren tabakalar arasındaki yüzey gerilimlerinden dolayı ortaya çıkar.

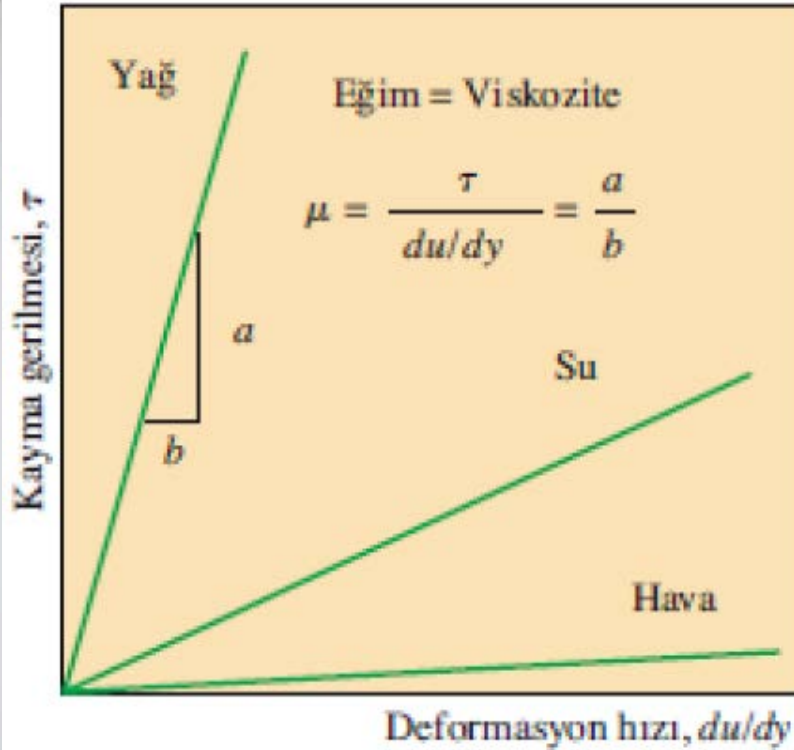
[Isaac Newton](#)'un öne sürdüğü üzere, laminar ve paralel bir akışta, tabakalar arasındaki yüzey gerilimi (τ) bu tabakalara dik yöndeki hız gradyeni ($\partial u / \partial y$) ile orantılıdır.

Buradaki μ sabiti, dinamik (veya mutlak) viskozite olarak bilinir (birimi Pa.s).

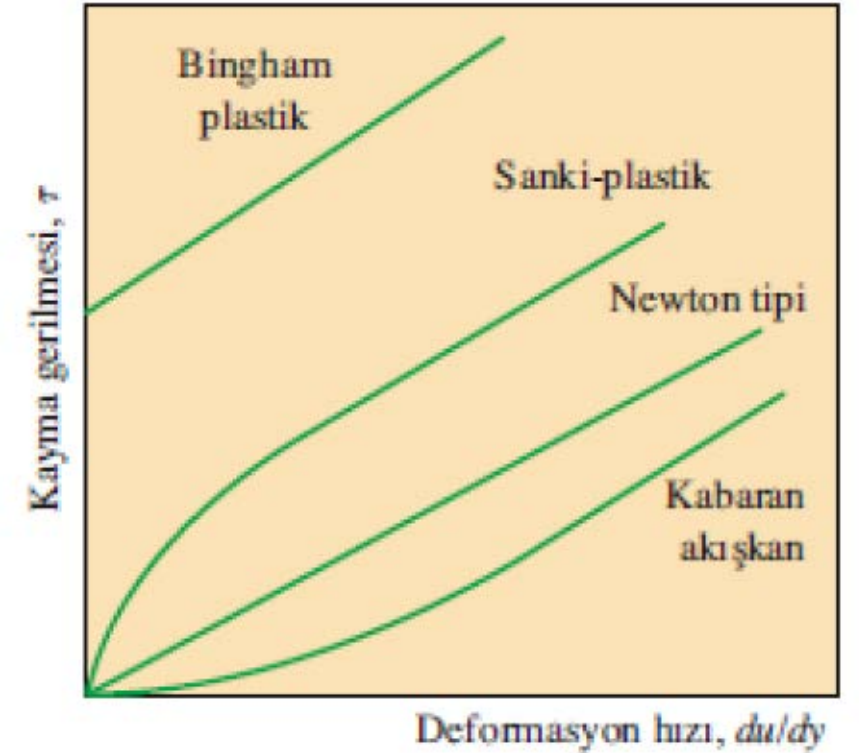
$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$F = \tau A = \mu A \frac{du}{dy} \quad (N)$$

Viskozite



Bir Newton tipi akışkanın deformasyon hızı (hız gradyeni) kayma gerilmesiyle doğru orantılıdır ve orantı sabiti viskozitedir.



Su ve gazların çoğu Newton yasasına uyarlar ve Newtonyen akışkanlar olarak adlandırılırlar. Newtonyen olmayan akışkanlarda ise, yüzey gerilimi ile hız gradyeni arasındaki basit lineer (doğrusal) ilişki çok daha karmaşık bir hal alır.

Viskozite

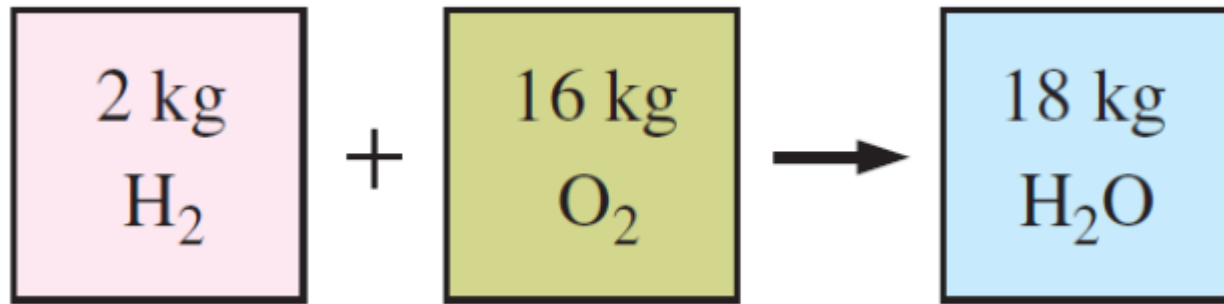
Pek çok durumda akmazlık kuvvetlerin [eylemsizlik](#) kuvvetlerine olan oranı ile ilgilenilir. Atalet kuvvetlerinin akışkanın yoğunluğu (ρ) ile karakterize edildiği bilindiğinden bu oran **kinematik Viskozite** olarak adlandırılır ve gösterimi:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (m^2/s)$$

Bir akışkanın viskozitesi, onu bir boru içerisinde nakletmek için gerekli pompalama gücü veya bir cismi bu akışkan içerisinde (hava içindeki bir araba veya denizdeki bir denizaltı gibi) hareket ettirmek için gerekli olan kuvvetle doğrudan ilişkilidir.

Kütlenin Korunumu

Kütlenin korunumu: Tıpkı enerji gibi kütle de korunan bir özelliktir ve bir proses sırasında vardan yok, yoktan var edilemez.



Kütle kimyasal tepkimelerde de korunur.

Kütlesel debi: Bir en-kesitten birim zamanda geçen kütle miktarı.

$$\dot{m} = \rho \times A \times v$$

Kütlenin Korunumu – Süreklilik Denklemi

Su ile ilgili çok sayıda pratik mühendislik akışı problemi, tek boyutlu, sabit akışlı olarak modellenebilir. Bu gibi durumlarda, akışın herhangi bir noktasında enerji dengesini elde etmek için kütlenin korunumu ve enerjinin akış yönünde korunumunun temel fiziksel ilkelerini uygulamak mümkündür.

Yangın akış hidroliğinde, sıvının sıkıştırılamaz olması ve akış özelliklerinin sıcaklık ve basınç ile değişmez olması gibi ek basitleştirici varsayımlar getirmek yaygın bir uygulamadır. Daha sonra, herhangi bir akış ilavesi veya eksilmesi olmadan, bir akışkan akışının herhangi bir noktasındaki hacimsel akış hızının sabit olması gerektiği söylenebilir. Süreklilik denklemi olarak bilinen bu kütle korunumu ifadesi matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

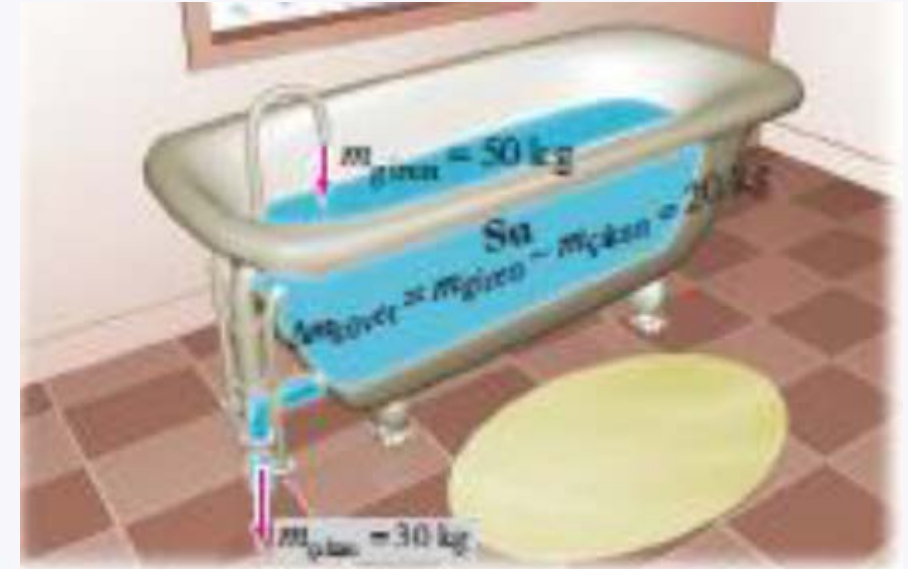
$$\dot{m}_{giren} = \dot{m}_{çıkan} = \text{Kütlesel debiler sabit}$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 = \text{sabit}$$

Kütlenin Korunumu – Süreklilik Denklemi

Söz konusu akışkan, suda olduğu gibi sıkıştırılamaz kabul edilirse, akışkanın yoğunluğu değişmeyeceği için denklem aşağıdaki gibi yazılır;

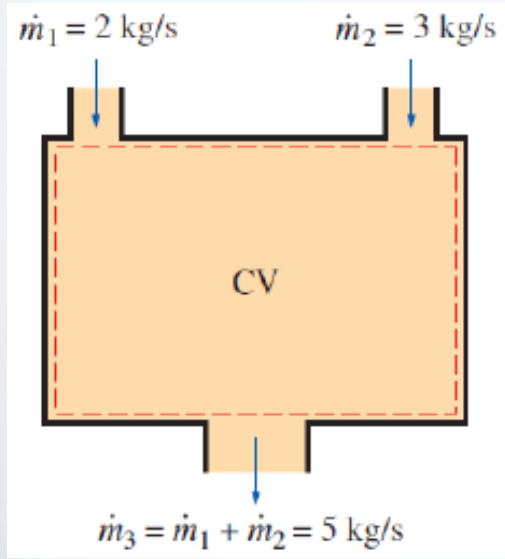
$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{sabit} = Q$$



Daimi Akışlı Sistemlerde Kütle Dengesi

Daimi akışlı bir sistemde kontrol hacmi içerisindeki kütle miktarı zamanla değişmez ($m = \text{sabit}$).

Bu durumda kütle korunumu ilkesi gereği kontrol hacmine giren toplam kütle miktarı, kontrol hacmini terk eden toplam kütle miktarına eşit olmalıdır.



İki girişi bir çıkışı olan daimi akışlı bir sistem için kütle korunumu ilkesi

Daimi akışlı proseslerde bir sisteme giren ve çıkan kütlelerden çok, bunların birim zamandaki değerleriyle, yani kütleli debilerle ilgilenilir.

$$\sum_{\text{in}} \dot{m} = \sum_{\text{out}} \dot{m} \quad (\text{kg/s}) \quad \begin{array}{l} \text{Çoklu giriş ve} \\ \text{çıkış} \end{array}$$
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad \rightarrow \quad \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad \begin{array}{l} \text{Tek} \\ \text{akımlı} \end{array}$$

Lüle, yayıcı (difüzör), türbin, kompresör ve pompalar gibi mühendislik uygulamalarının birçoğunda tek bir akış yolu vardır (tek giriş ve çıkış)

Örnek:

Ağızına fiskeye takılmış bir bahçe hortumu 10 galon'luk (37.854 L) bir kovayı suyla doldurmak için kullanılmaktadır. Borunun 2 cm olan iç çapı fiskeye ile çıkışta 0.8 cm'ye düşürülmektedir (Şekil 5–12). Kovayı suyla doldurmak 50 s aldığına göre; (a) hortumdan geçen suyun kütle ve hacimsel debilerini ve (b) fiskeye çıkışında suyun ortalama hızını belirleyiniz.

ÇÖZÜM Bir su kovası bahçe hortumundan gelen su ile doldurulmaktadır. Hortumdan geçen suyun kütle ve hacimsel debileri ile suyun hortumdan çıkış hızı belirlenecektir.

Kabuller 1 Su sıkıştırılmaz madde olarak alınmaktadır. 2 Hortum içerisindeki akış daimidir. 3 İşlem sırasında etrafa su sıçramamaktadır.

Özellikler Suyun yoğunluğunu $1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/L}$ olarak alıyoruz.

Analiz (a) 37.854 L suyun 50 s'de aktığı göz önüne alındığında, suyun hacimsel ve kütle debileri:

$$\dot{V} = \frac{V}{\Delta t} = \frac{10 \text{ gal}}{50 \text{ s}} \left(\frac{3.7854 \text{ L}}{1 \text{ gal}} \right) = \mathbf{0.757 \text{ L/s}}$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = (1 \text{ kg/L})(0.757 \text{ L/s}) = \mathbf{0.757 \text{ kg/s}}$$

(b) Fiskeye çıkışının en-kesit alanı,

$$A_e = \pi r_e^2 = \pi (0.4 \text{ cm})^2 = 0.5027 \text{ cm}^2 = 0.5027 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$



olarak bulunur. Hortumdan ve fiskeyeden geçen hacimsel debi sabittir. O halde suyun fiskeye çıkışındaki ortalama hızı aşağıdaki gibi bulunur:

$$V_e = \frac{\dot{V}}{A_e} = \frac{0.757 \text{ L/s}}{0.5027 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) = \mathbf{15.1 \text{ m/s}}$$

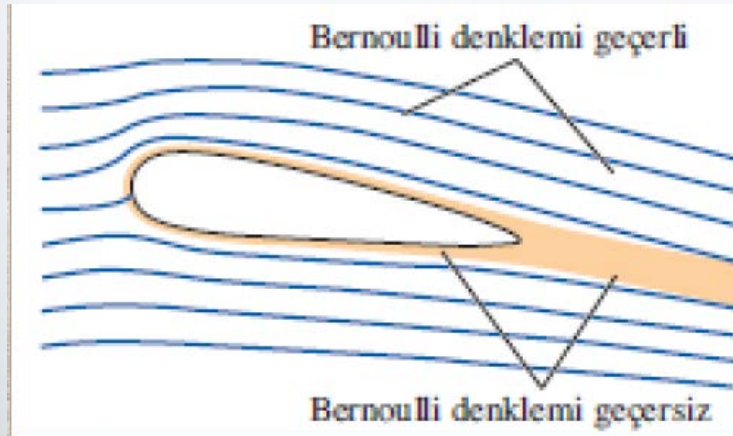
İrdeleme Hortum içerisindeki suyun ortalama hızının 2.4 m/s olduğu kolaylıkla gösterilebilir. Buna göre fiskeye suyun hızını 6 kattan fazla artırmaktadır.

Bernoulli Denklemi

Bernoulli denklemi basınç, hız ve yükseklik arasındaki ilişkiyi temsil eden yaklaşık bir bağıntıdır. Bu denklem net sürtünme kuvvetlerinin ihmal edilebilir olduğu daimi, sıkıştırılamaz akış bölgelerinde geçerlidir .

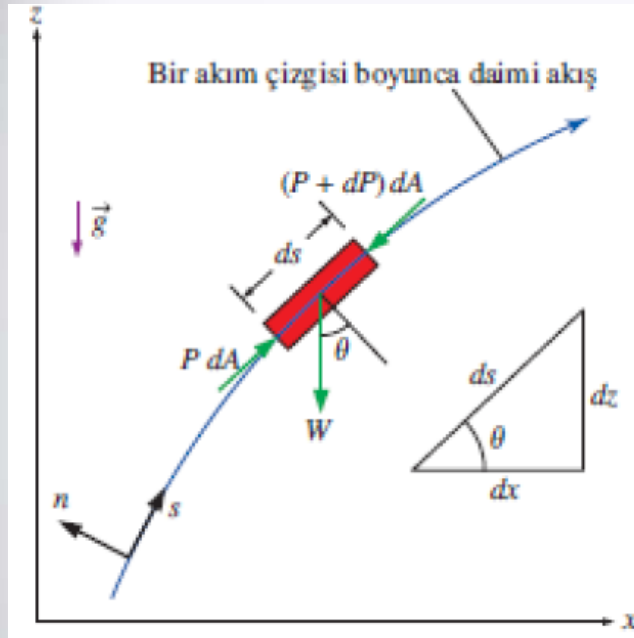
Basitliğine rağmen bu denklemin akışkanlar mekaniğinde çok güçlü bir araç olduğu kanıtlanmıştır.

Bernoulli denklemi genellikle akış hareketinin basınç ve yerçekimi kuvvetlerinin etkisiyle yönlendirildiği, sınır tabakaları ve art izleri dışında kalan akış bölgelerinde kullanışlıdır.



Bernoulli denklemi; net viskoz kuvvetlerin atalet, yerçekimi ve basınç kuvvetlerine oranla ihmal edilebilecek düzeyde küçük olduğu sadece viskoz olmayan akış bölgelerinde geçerli yaklaşık bir denklemdir. Bu tür bölgeler sınır tabakaların ve art izi bölgelerinin dışında görülür..

Bernoulli Denklemi



Sıkıştırılabilirlik ve sürtünme etkileri ihmal edilebilir olduğunda, bir akışkan parçacığının bir akım çizgisi boyunca olan daimi akışı sırasında, kinetik, potansiyel ve akış enerjilerinin toplamı sabittir.

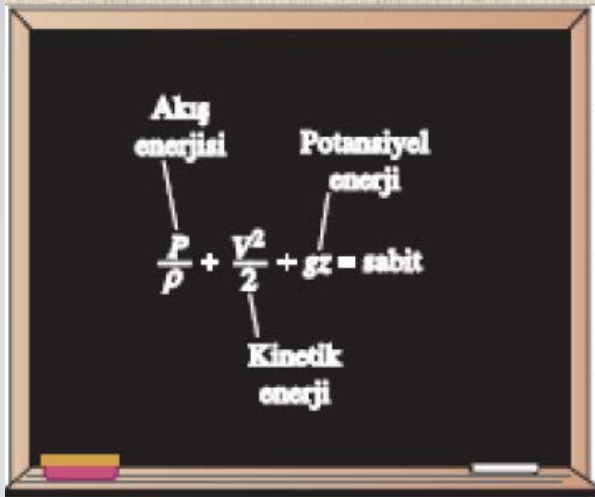
Daimi, sıkıştırılamaz akış için Bernoulli denklemi:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{sabit (bir akım çizgisi boyunca)}$$

Akım çizgisi üzerinde herhangi iki nokta arasında Bernoulli denklemi:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

Bernoulli Denklemi


$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = \text{sabit}$$

Akış enerjisi

Potansiyel enerji

Kinetik enerji

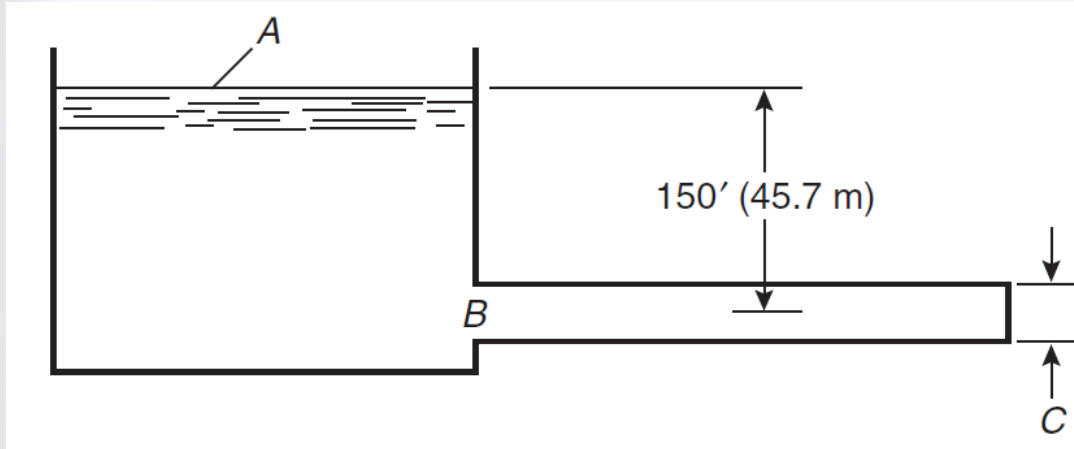
ŞEKİL 5-26

Bernoulli denklemi, bir akışkan parçacığının bir akım çizgisi boyunca daimi akışı esnasında kinetik, potansiyel ve akış enerjilerinin toplamının sabit kaldığını ifade eder.

- Bernoulli denklemi “mekanik enerjinin korunumu ilkesi” olarak düşünülebilir.
- Bu ifade, mekanik ve ısı enerjiler arasında bir dönüşümün yer almadığı ve böylelikle mekanik ve ısı enerjilerin ayrı ayrı korunduğu sistemler için enerjinin korunumu ilkesinin genel ifadesine eşdeğerdir.
- Bernoulli denklemi; sürtünmenin ihmal edilebilir olduğu daimi, sıkıştırılmaz akış esnasında mekanik enerjinin farklı biçimlerinin birbirlerine dönüşebileceğini, ancak bunların toplamlarının daima sabit kalacağını ifade etmektedir.
- Türetilmesinde pek çok sınırlayıcı yaklaşımların yapılmasına rağmen Bernoulli denklemi uygulamada yaygın olarak kullanılır. Bunun nedeni, uygulamada karşılaşılan birçok farklı akış probleminin kabul edilebilir bir doğrulukla bu denklem ile çözülebilmesidir.

Örnek:

Su, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi bir rezervuardan boru hattından akmaktadır. Akışın sürtünmesiz olduğu kabul edilmekte ve C noktasında serbestçe dış ortama boşalmaktadır. Bu durumda suyun C noktasındaki dış ortama boşaltma hızı nedir?



A noktasında akış hızı ihmal edilebilir bir hızda olduğundan sıfır olarak kabul edilebilir. A ve C noktası dış ortama açık ve atmosferik basınçta olduğundan basınç değerleri birbirini götürür.

$$\frac{P_A}{\rho} + \frac{v_A^2}{2} + gz_A = \frac{P_C}{\rho} + \frac{v_C^2}{2} + gz_C$$

$$z_A = 0 + \frac{v_C^2}{2g} + 0$$

$$v_C^2 = 2(9.81)(45.7) = 29.9 \text{ m/s}$$

Örnek:

Bir itfaiye hortumundan su akmaktadır. İtfaiyeci hortumun ağzının büyük bir kısmını daraltacak bir başlık taktığında yüksek hızlı ince bir su jetinin ortaya çıkmasını sağlayabilmektedir. Hortum içerisinde itfaiyecinin eklediği başlığın hemen yukarıdaki etkin basınç 200 kPa olarak ölçülmektedir ve hortum içerisindeki akış hızı 5 m/s'dir. Eğer hortum yukarı doğru tutulursa, su jetinin çıkabileceği maksimum yükseklik ne olur? (suyun yoğunluğu : 1000 kg/m³)

Kabuller: Havaya fışkıran su daimi, sıkıştırılmaz ve dönümsüzdür (bernoulli denklemi uygulanabilir). Yüzey gerilimi ihmal edilebilir. Su ile hava arasındaki sürtünme ihmal edilebilir.

$$\begin{aligned}\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 &= \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \\ z_2 &= \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \\ z_2 &= \left(\frac{200 \text{ kPa}}{1000 \times 9.81} \times \left(\frac{1000 \text{ N/m}^2}{1 \text{ kPa}} \times \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{1 \text{ N}} \right) \right) + \frac{5^2}{2 \times 9.81} \\ z_2 &= 21.65 \text{ m}\end{aligned}$$

Reynolds Sayısı

Laminerden türbülanslı akışa geçiş; geometri, yüzey pürüzlülüğü, akış hızı, yüzey sıcaklığı, akışkan türü ve daha birçok şeye bağlıdır. Akış rejimi temelde atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranına bağlıdır.(Reynolds sayısı).

Büyük Reynolds sayılarında, akışkan yoğunluğu ve akışkanın hızının karesi ile ortantılı olan atalet kuvvetleri, viskoz kuvvetlere oranlara daha büyüktür. Bundan dolayı viskoz kuvvetler akışkanın hızlı ve rastgele çalkantılarını engelleyemez. (türbülanslı).Küçük ve orta Reynolds sayılarında ise, viskoz kuvvetler bu çalkantıları bastıracak ve akışkanı çizgi üzerinde tutacak seviyelerdedir (laminar).

$$Re = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskoz kuvvetler}} = \frac{V_{\text{ort}} D}{\nu} = \frac{\rho V_{\text{ort}} D}{\mu}$$

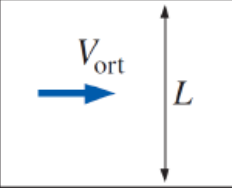


Diagram illustrating the Reynolds number calculation for flow in a rectangular channel. The flow velocity is V_{ort} and the characteristic length is L .

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskoz kuvvetler}} \\ &= \frac{\rho V_{\text{ort}}^2 L^2}{\mu V_{\text{ort}} L} \\ &= \frac{\rho V_{\text{ort}} L}{\mu} \\ &= \frac{V_{\text{ort}} L}{\nu} \end{aligned}$$

Kritik Reynolds sayısı, Re_{kr} : Akışın Türbülanslı olmaya başladığı Reynolds sayısıdır.

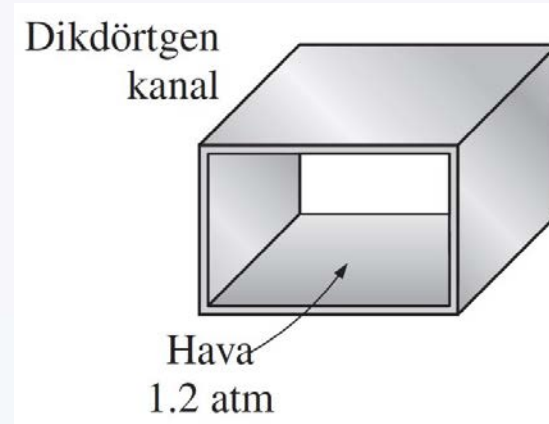
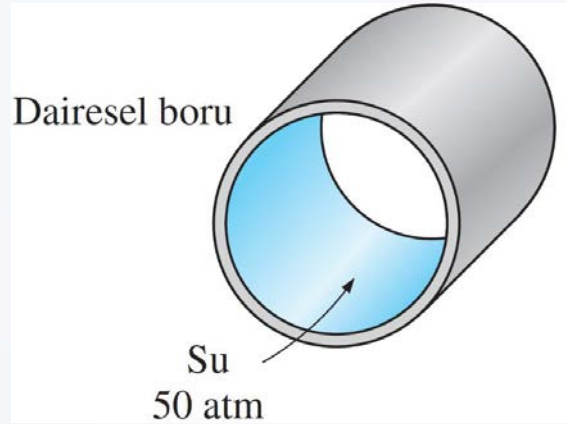
Farklı geometri ve akış şartları için Reynolds sayısının değeri değişiklik gösterir.

Reynolds sayısı, bir akışkan elemanına etki eden atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak düşünülebilir.

Borularda Akış

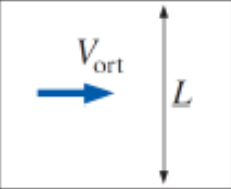
Boru veya *kanallar* içerisinde gerçekleşen sıvı veya gaz akışı ile ısıtma ve soğutma uygulamalarında ve akışkan dağıtım şebekelerinde yaygın olarak karşılaşılr.

- Bu tür uygulamalarda akışkan çoğunlukla bir fan veya pompa ile bırakış bölümünden akmaya zorlanır.
- Boru akışı söz konusu olduğunda *basınç düşüşü* ve *yük kaybı* ile doğrudan ilgisi olan *sürtünmeye* ayrı bir önem verilir.
- Buradaki basınç düşüşü, daha sonra *pompalama gücü ihtiyacını* belirlemek için kullanılır.

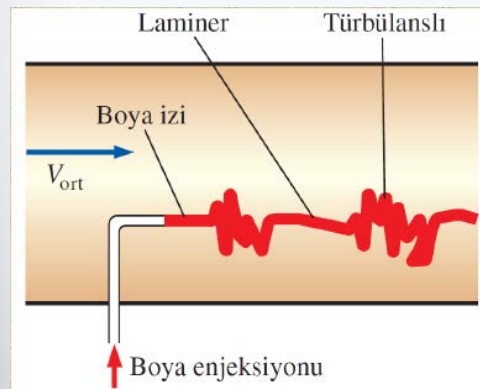


Dairesel borular kayda değer oranda bir bozulmaya uğramadan içi ve dışı arasındaki büyük basınç farklarına dayanabilirken, dairesel olmayan borular için aynı durum söz konusu değildir.

Borularda Akış


$$\begin{aligned} Re &= \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskoz kuvvetler}} \\ &= \frac{\rho V_{\text{ort}}^2 L^2}{\mu V_{\text{ort}} L} \\ &= \frac{\rho V_{\text{ort}} L}{\mu} \\ &= \frac{V_{\text{ort}} L}{\nu} \end{aligned}$$

$Re \leq 2300$	laminer akış
$2300 \leq Re \leq 4000$	geçiş akışı
$Re \geq 4000$	türbülanslı akış



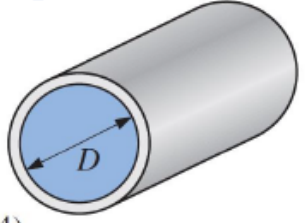
Dairesel olmayan borulardaki akışlar için, Reynolds sayısı hidrolik çap kullanılarak tanımlanır.

$$D_h = \frac{4A_c}{p}$$

Hidrolik çap $D_h = 4A_c/p$ dairesel borular için hesap yapıldığında D 'yi verecek şekilde tanımlanır.

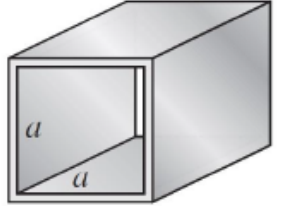
$2300 < Re < 4000$, arasındaki geçiş bölgesinde akış, laminer ve türbülanslı akış rejimleri arasında rastgele gidip gelir.

Dairesel boru:



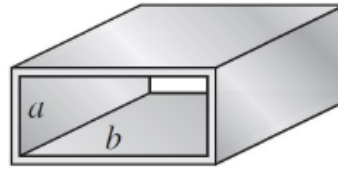
$$D_h = \frac{4(\pi D^2/4)}{\pi D} = D$$

Kare kanal:



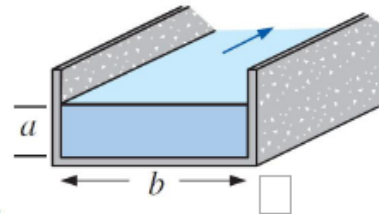
$$D_h = \frac{4a^2}{4a} = a$$

Dikdörtgen kanal:



$$D_h = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b}$$

Kanal:



$$D_h = \frac{4ab}{2a+b}$$

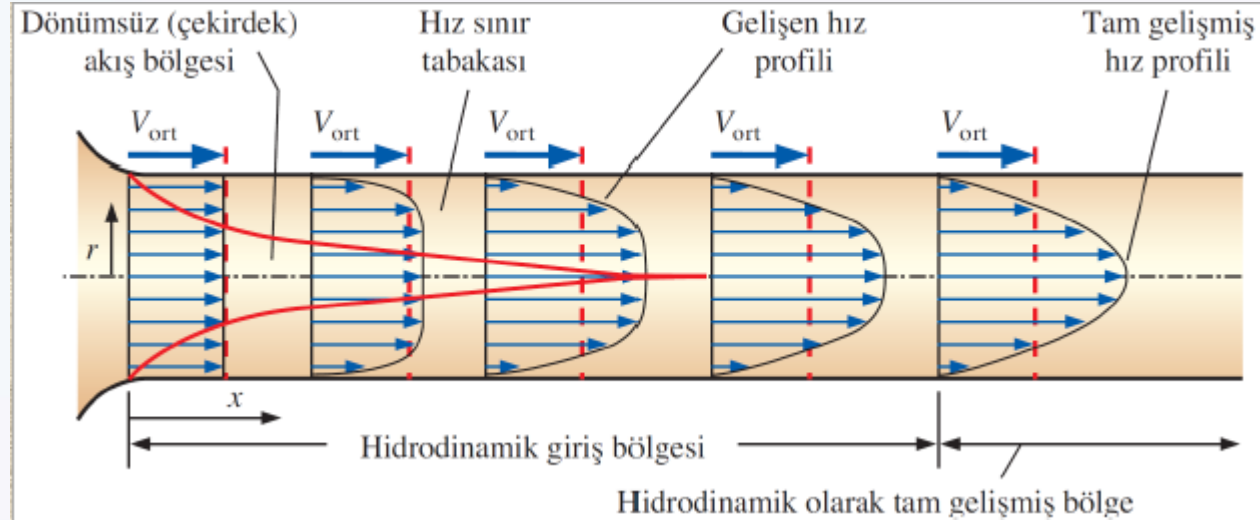
Borularda Akış

GİRİŞ BÖLGESİ

Hız sınır tabakası: Akışkan viskozitesinin neden olduğu viskoz kayma kuvvetlerinin etkisinin hissedildiği akış bölgesidir.

Sınır tabaka bölgesi: Viskoz etkilerin ve hızda meydana gelen değişimlerin önemli olduğu bölgedir.

Dönümsüz (Çekirdek) akış bölgesi: Sürtünme kuvvetlerinin ihmal edilebilir olduğu ve özellikle radyal yönde hızın sabit kaldığı bölgedir.



Bir boruda hız sınır tabakasının gelişimi. Gelişmiş ortalama hız profili, şekilde gösterildiği gibi laminar akışta parabolik olmasına karşın, türbülanslı akışta daha küt veya daha doludur.

Borularda Akış

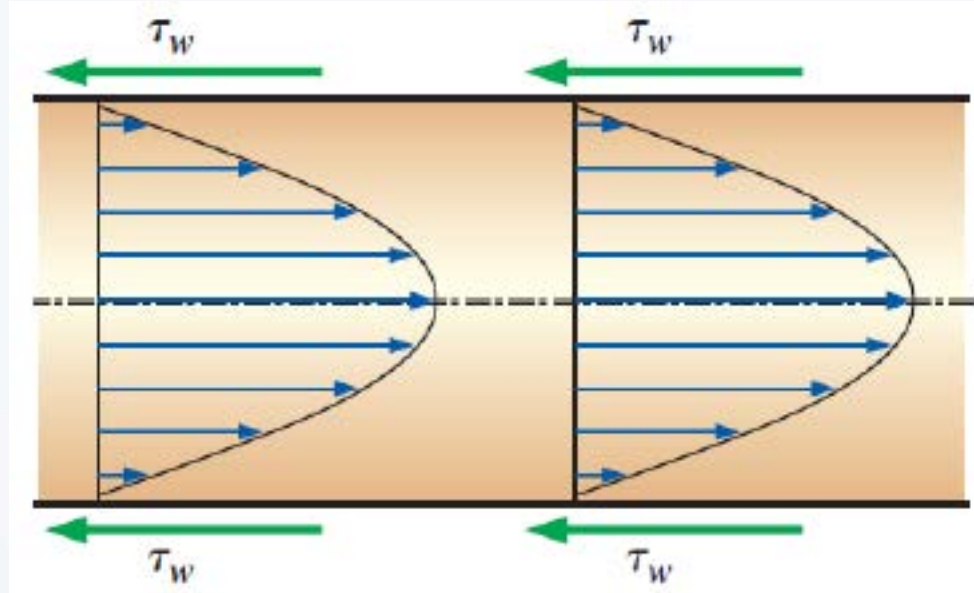
Hidrodinamik giriş bölgesi: Borunun girişinden hızın tam gelişmiş olduğu yere kadar olan kısma denir.

Hidrodinamik giriş uzunluğu L_h : Bu bölgenin uzunluğu.

Hidrodinamik olarak gelişen akış: Giriş bölgesindeki akış. Bu bölgede hız profili gelişmesini sürdürmektedir.

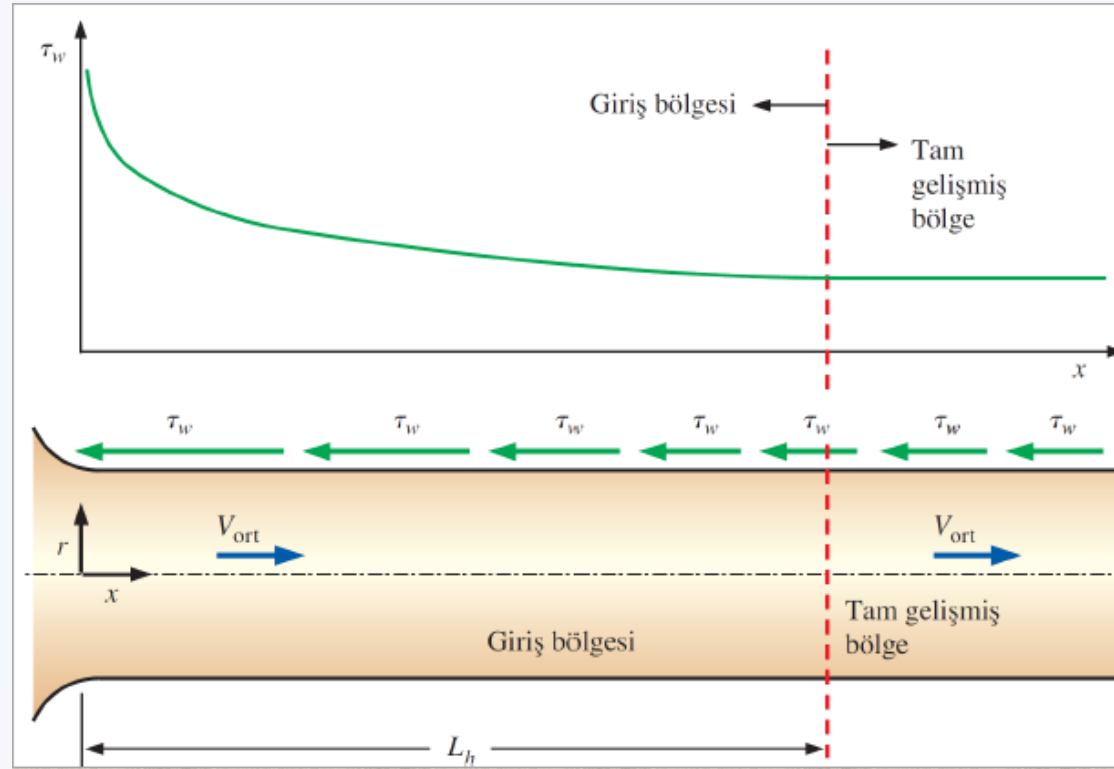
Hidrodinamik olarak tam gelişmiş akış: Giriş bölgesinin uzağında olup hız profilinin tam olarak geliştiği ve değişmeden kaldığı bölgeye denir.

Tam gelişmiş: Boyutsuz sıcaklık dağılımının da değişmeden kaldığı akışa denir.



Borularda Akış

Borunun girişinde basınç düşüşü daha fazladır ve giriş bölgesinin etkisi, bütün boru için ortalama sürtünme faktörünü artırır.

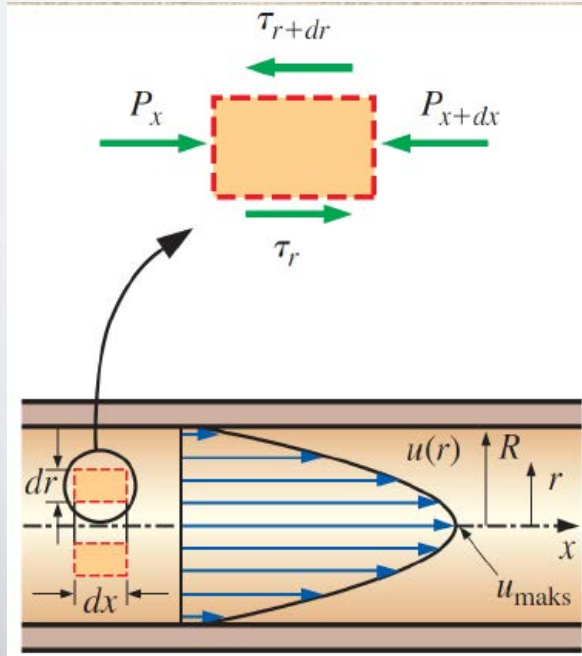


Bir boru akışında çeper kayma gerilmesinin akış yönünde giriş bölgesinden tam gelişmiş bölgeye kadar değişimi.

Borularda Laminer Akış

Bu kısımda dairesel düz bir borunun tam gelişmiş bölgesinde, özellikleri değişmeyen daimi ve sıkıştırılamaz akışkanın laminer akışı ele alınacaktır.

Tam gelişmiş laminer akışta her bir akışkan parçacığı akım çizgisi boyunca sabit eksenel hızla hareket etmekte olup hız profili $u(r)$ akış yönünde sabit kalır. Radyal yönde (yarıçap yönünde) hareket yoktur, bundan dolayı akışa dik yönde hız bileşeni her yerde sıfırdır. Akış daimi ve tam gelişmiş olduğu için ivmelenme de yoktur.



$$u(r) = 2V_{\text{ort}} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad \text{Hız profili}$$

$$u_{\text{maks}} = 2V_{\text{ort}}$$

Merkez çizgisi üzerindeki maksimum hız

Basınç Düşüşü ve Yük Kaybı

Viskoz etkilerden kaynaklanan bir basınç düşüşü tersinmez basınç düşüşünü temsil eder ve **basınç kaybı** ΔP_L olarak adlandırılır.

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{\text{ort}}^2}{2}$$

Tüm tam gelişmiş iç akışlar için basınç kaybı

$$f = \frac{64\mu}{\rho D V_{\text{ort}}} = \frac{64}{\text{Re}}$$

Dairesel boru, laminar

$$\frac{\rho V_{\text{ort}}^2}{2}$$

Dinamik basınç

$$f = \frac{8\tau_w}{\rho V_{\text{ort}}^2}$$

Darcy sürtünme faktörü

Laminar akışta sürtünme faktörü sadece Reynolds sayısının fonksiyonudur ve boru yüzeyindeki pürüzlülüğünden bağımsızdır.

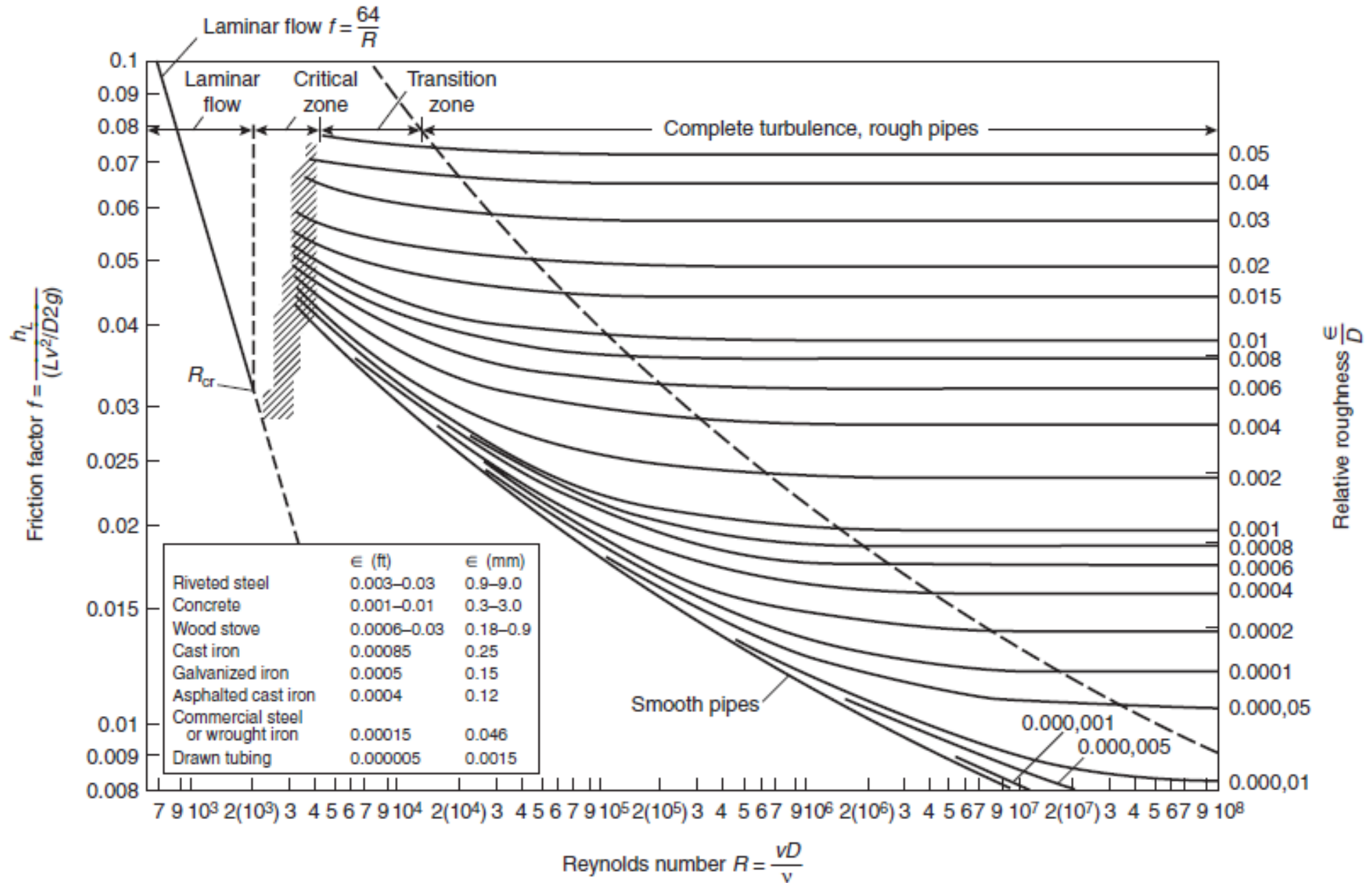
$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{\text{ort}}^2}{2g}$$

Yük kaybı

Yük kaybı borudaki sürtünmeden kaynaklanan kayıpları yenmek için akışkana pompa tarafından verilmesi gereken ilave yüksekliği temsil etmektedir.

Türbülanslı akışlarda, boru duvarlarının pürüzlülüğü çok daha önemli bir faktör haline gelir ve f 'yi belirlemek için basit bir ifade kullanılamaz.

Moody Diyagramı



Basınç Düşüşü ve Yük Kaybı - Hazen-Williams

En yaygın olarak kullanılan akış-enerji kaybı ilişkisi, yüzyılın başında çok sayıda boru hattı akışının gözlemlerinden geliştirilen ampirik temelli Hazen-Williams formülüdür. Hazen-Williams denklemi orijinal olarak şu şekilde yazılır:

$$V = 0.113CD^{0.63}S^{0.54}$$

Burada V saniyede fit cinsinden ortalama hızdır, S enerji seviyesi çizgisinin eğimidir - yani, borunun birim uzunluğu başına enerji kaybı - ve D inç cinsinden burnun iç çapıdır. C katsayısı, boru duvarlarının pürüzlülüğünü temsil etmek için sabit olarak eklenen bir sürtünme faktörüdür.

Basınç Düşüşü ve Yük Kaybı - Hazen-Williams

Hazen-Williams formülü ile birim uzunluk borudaki sürtünme direnci P_m (bar/m) aşağıdaki formülle hesaplanır ve **otomatik sprinkler** sistemi tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Borunun metresi başına bar cinsinden **basınç düşüşünü** bulmak için düzenlenmiştir.

$$P_m = \frac{6.05 \times Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \times 10^5$$

Q= Debi (L/dak)

D= Boru iç çapı (mm)

C= Sürtünme kaybı katsayısı

Type of Pipe	C values for certain pipe diameters					
	2.5 cm (1 in.)	7.6 cm (3 in.)	15.2 cm (6 in.)	30.5 cm (12 in.)	61 cm (24 in.)	122 cm (48 in.)
Uncoated cast iron—smooth and new		121	125	130	132	134
Coated cast iron—smooth and new		129	133	138	140	141
30 years old						
Trend 1—slight attack		100	106	112	117	120
Trend 2—moderate attack		83	90	97	102	107
Trend 3—appreciable attack		59	70	78	83	89
Trend 4—severe attack		41	50	58	66	73
60 years old						
Trend 1—slight attack		90	97	102	107	112
Trend 2—moderate attack		69	79	85	92	96
Trend 3—appreciable attack		49	58	66	72	78
Trend 4—severe attack		30	39	48	56	62
100 years old						
Trend 1—slight attack		81	89	95	100	104
Trend 2—moderate attack		61	70	78	83	89
Trend 3—appreciable attack		40	49	57	64	71
Trend 4—severe attack		21	30	39	46	51
Miscellaneous						
Newly scraped mains		109	116	121	125	127
Newly brushed mains		97	104	108	112	115
Coated spun iron—smooth and new		137	142	145	148	148
Old—take as coated cast iron of same age						
Galvanized iron—smooth and new	120	129	133			
Wrought iron—smooth and new	129	137	142			
Coated steel—smooth and new	129	137	142	145	148	148
Uncoated steel—smooth and new	134	142	145	147	150	150
Coated asbestos-cement—clean		142	149	150	152	
Uncoated asbestos-cement—clean		142	145	147	150	
Spun cement-lined and spun bitumen-lined—clean		147	149	150	152	153
Smooth pipe (including lead, brass, copper, polythene, and smooth PVC)—clean	140	147	149	150	152	153
PVC wavy—clean	134	142	145	147	150	150
Concrete—Scobey						
Class 1— $C_s = 0.27$; clean		69	79	84	90	95
Class 2— $C_s = 0.31$; clean		95	102	106	110	113
Class 3— $C_s = 0.345$; clean		109	116	121	125	127
Class 4— $C_s = 0.37$; clean		121	125	130	132	134
Best— $C_s = 0.40$; clean		129	133	138	140	141
Tate relined pipes—clean		109	116	121	125	127
Prestressed concrete pipes—clean				147	150	150

Basınç Düşüşü ve Yük Kaybı - Hazen-Williams

Örnek: 10 °C sıcaklıktaki su, 102 mm çelik borudan 1892,7 L/dak oranında akmaktadır. 30,48 m boru boyunca akış için Darcy-Weisbach ve Hazen-Williams denklemleri tarafından hesaplanan sürtünme yükü kayıplarını karşılaştırın.

10 °C su için $\nu = 1,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Boru akış alanı $D = 0,032 \text{ m}^2$

$\varepsilon = 0.0002$

Boru iç çapı = 102 mm = 0,102 m

Darcy yaklaşımını kullanarak, önce Re / D 'yi belirleriz ve ardından Moody diyagramından sürtünme faktörü değeri okunur.

Basınç Düşüşü ve Yük Kaybı - Hazen-Williams

$$\text{Debi : } Q = 31,54 \frac{L}{s}$$

$$\text{Hız : } V = \frac{Q}{A} = \frac{31,54}{8,3} = 3,8 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{DV}{\nu} = \frac{0,102 \times 3,8}{1,31 \times 10^{-6}} = 3 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0002}{0,102} = 0,000196$$

Moody diyagramından $f = 0.0188$ okunur. Bu durumda;

$$h_L = \frac{0.025(30,48)(3,8)^2}{(0,102)(2 \times 9,81)} = 5,49 \text{ m}$$

$$\Delta P_L = h_L \times \rho g = 5,49 \times 1000 \times 9,81 = 53937 \text{ Pa} = 0,53 \text{ bar}$$

Basınç Düşüşü ve Yük Kaybı - Hazen-Williams

Hazen-Williams yaklaşımı, suyun fiziksel özelliklerindeki herhangi bir değişkenliği hesaba katmaz. Uygulaması daha basittir, ancak muhtemelen daha az doğru olacaktır. C faktörünü 100 olarak varsayarsak ve 30.48 m başına psi cinsinden basınç düşüşünü doğrudan çözersek şunu elde ederiz:

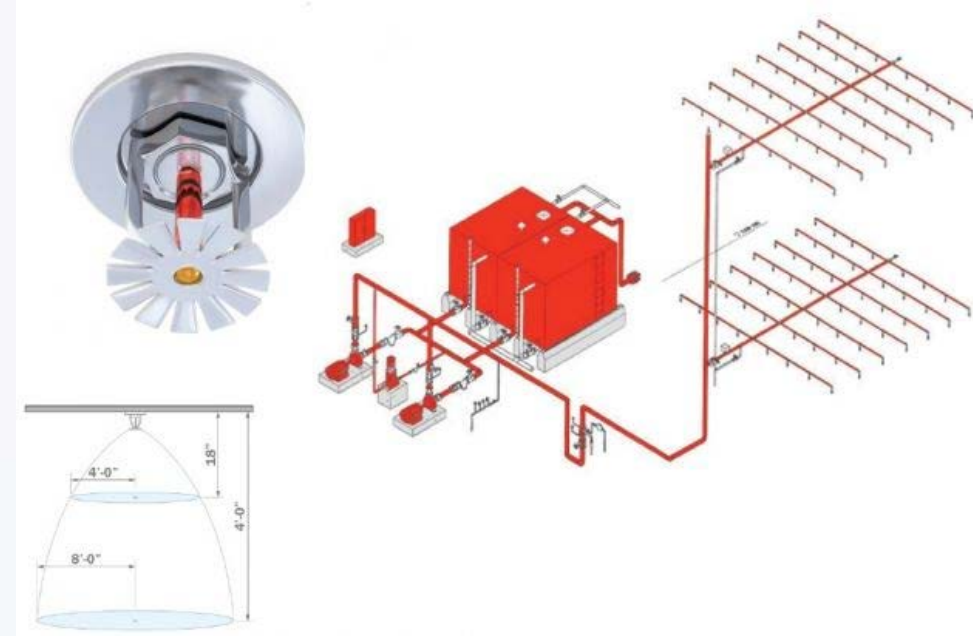
$$\Delta P = \frac{6.05(30.48)(500)^{1.85}}{(100)^{1.85}(102)^{4.87}} = 0.69 \text{ bar}$$

Eğer C =140 alınırsa

$$\Delta P = 0.37 \text{ bar olarak bulunur}$$

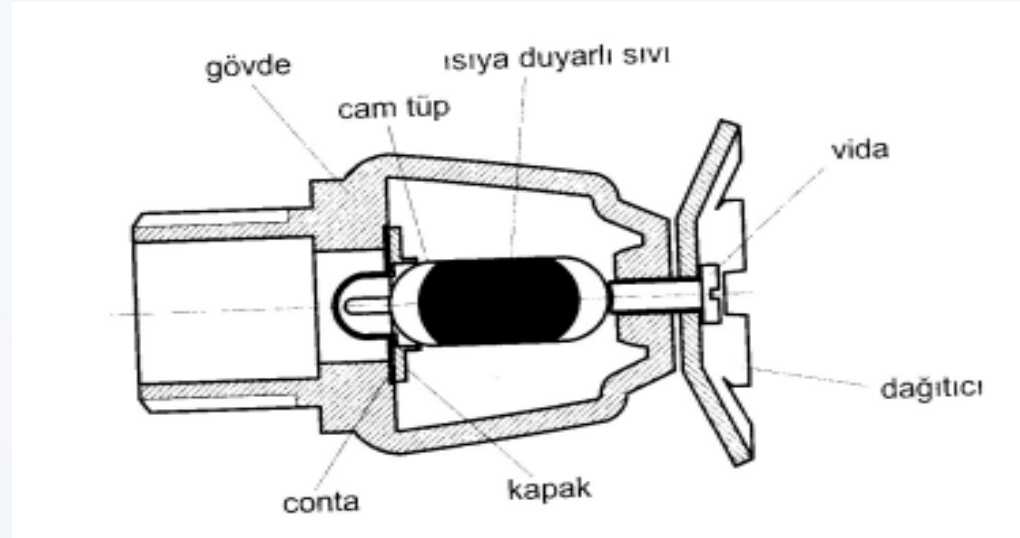
Sprinkler Sistemi

Sprinkler (yağmurlama) sisteminin amacı; yangına erken tepki verilmesinin sağlanması ve yangının kontrol altına alınması ve söndürülmesi için belirli bir süre içerisinde tasarım alanı üzerine belirlenen miktarda suyun boşaltılmasıdır. Sprinkler sistemi, aynı zamanda bina içinekilere alarm verilmesi ve itfaiyenin çağrılması gibi çeşitli acil durum fonksiyonlarını da aktif hâle getirebilir. Sprinkler sistemi; yağmurlama başlıkları, borular, bağlantı parçaları ve askılar, tesisat kontrol vanaları, alarm zilleri, akış göstergeleri, su pompaları ve acil durum güç kaynağı gibi elemanlardan meydana gelir. Sprinkler sistemi elemanlarının TS EN 12259'a uygun olması şarttır.



Sprinkler Sistemleri ve Çeşitleri

Sprinkler yangın anında patlayarak su akışını başlatır ve yanan mahalin üzerine suyun boşalmasını sağlayarak yangının kontrol altına alınmasını sağlar. Sprinkler; gövde, cam tüp, ısıya duyarlı sıvı, vida, dağıtıcı kapak ve conta dan oluşur. Yangın anında sıcaklık yükselmesi ile birlikte cam tüp içerisindeki civa genişler ve bir süre sonra patlar. Patlama ile birlikte tesisatta basınçlı bir şekilde bekleyen su serbest kalır ve dağıtıcı kapağa çarparak yanan mahalinin üzerine dağılır. Bu şekilde yangın kontrol altına alınmış olur.



Sprinkler Sistemleri ve Çeşitleri

Sprinklerin akış özellikleri K faktörü denilen birimsiz sayı ile ifade edilir. Her bir K faktörünün yine birimsiz ve hesaplarda kullanılan Km değeri vardır. K faktörü sprinklerden akacak olan su miktarı ile bağlantılıdır. K faktörü arttıkça sprinklerden akacak olan debi de artacaktır.

K5,6	K80	80lt/dk	1 bar	Bağlantı çapı 1 / 2"
K8,0	K115	115lt/dk	1 bar	Bağlantı çapı 3 / 4"
K14,0	K200	200lt/dk	1 bar	Bağlantı çapı 3 / 4"
K25,0	K360	360lt/dk	1 bar	Bağlantı çapı 1"

Sprinklerdeki debi, basınç ve K faktörü ilişkisi aşağıdaki eşitlik kullanılarak ifade edilir.

$$Q_m = K_m \cdot \sqrt{P}$$

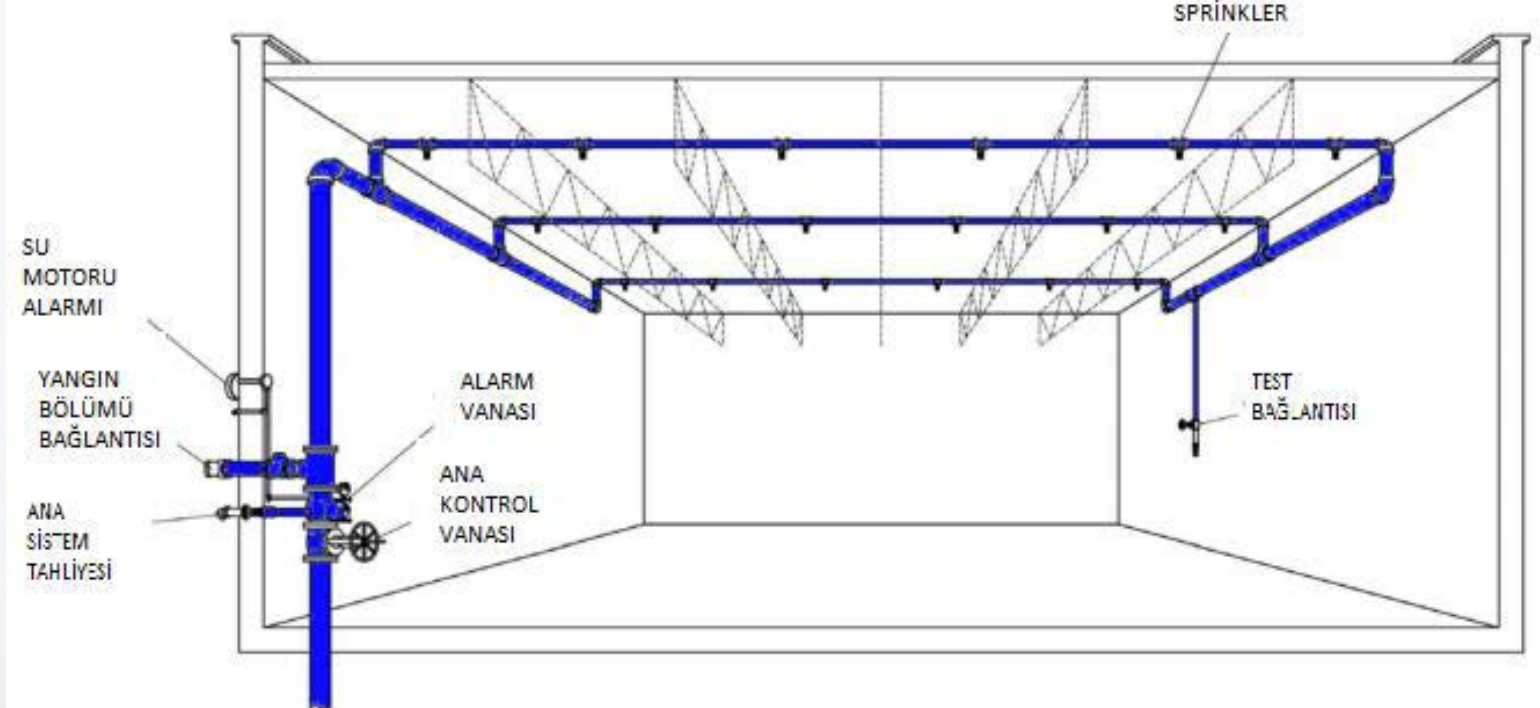
Q_m : Debi (lt/dk.)

P_m : Basınç (bar)

K_m : K Faktörü-Metrik (Birimsiz)

Sprinkler Sistemleri ve Çeşitleri

- Sprinkler (yağmurlama) sistemleri aşağıdaki şekilde guruplara ayrılır.
- Islak Borulu Sprinkler sistemleri
- Kuru Borulu Sprinkler sistemleri
- Ön Tepkili Sprinkler sistemleri
- Baskın (Deluge) Sprinkler sistemleri



Sprinkler Sistemi

Bakanlar Kurulunun 10.08.2009 gün ve 2009/15316 sayılı kararı ile resmi gazetenin 9.09.2009 gün ve 27344 sayılı sayısında yayınlanan “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” doğrultusunda sprinkler sisteminin zorunlu olduğu durumlar Madde 96’da belirtilmiştir.

- a) Yapı yüksekliği 30.50 m’den fazla olan konut haricindeki bütün binalarda,
- b) Yapı yüksekliği 51.50 m’yi geçen konutlarda,
- c) Alanlarının toplamı 600 m²’den büyük olan kapalı otoparklarda ve 10’dan fazla aracın asansörle alındığı kapalı otoparklarda,
- ç) Yatılan oda sayısı 100’ü veya yatak sayısı 200’ü geçen otellerde, yurtlarda, pansiyonlarda, misafirhanelerde ve yapı yüksekliği 21.50 m’den fazla olan bütün yataklı tesislerde,
- d) Toplam alanı 2000 m²’nin üzerinde olan katlı mağazalarda, alışveriş, ticaret ve eğlence yerlerinde,
- e) Toplam alanı 1000 m²’den fazla olan, kolay alevlenici ve parlayıcı madde üretilen veya bulundurulmuş yapılarda, otomatik sprinkler sistemi ile korunacaktır.

Sprinkler Sistemlerinde Su İhtiyacı

Sprinkler sistemleri için gerekli su ihtiyacı aşağıda verilen yaklaşımlara göre belirlenmelidir.

1. Tehlike sınıfı yaklaşımına göre
2. Özel tasarım yaklaşımına göre
3. Depolama alanlarına göre

Sprinkler sistemi su ihtiyacı, hidrolik hesaplarda kullanılacak olan tasarım kriterlerine göre belirlenir. Tasarım kriterleri ve dolayısıyla sistem ihtiyacı olan su debisi için gerekli boru çapları hidrolik hesap ile belirlenmelidir.

Tehlike Sınıfına Göre Su İhtiyacının Belirlenmesi

Tehlike sınıfı yaklaşımına göre, sprinkler su ihtiyacının belirlenebilmesi için öncelikle tasarımda kullanılacak hesap yöntemine göre borulama sistemi seçilir. Yönetmelik gereği sprinkler sistemi boru çapları hidrolik hesap yöntemine göre belirlenmelidir. Boru çaplarının hidrolik hesap yöntemi ile belirlendiği sistemler, “**Tam Hesaplı Boru Sistemleri**” olarak adlandırılır. Diğer boru çapı belirleme yöntemi ise **tablo** yöntemidir. Boru çaplarının bir kısmının boru tablo yöntemi kullanılarak, bir kısmının da hidrolik hesap yöntemi ile belirlendiği sistemler, “**Ön Hesaplı Boru Sistemleri**” olarak tanımlanır. Ön hesaplı boru sistemlerine kullanımı sınırlı büyüklükte olan alanlarda, mevcut yapılara ilaveler veya revizyonlar durumunda izin verilmektedir. Boru tablo yönteminde, boru çapları sprinkler sayısına karşılık gelen çaplara göre tablolardan belirlenir. Ancak ana besleme hatlarının çapları, yine hidrolik hesap yöntemi kullanılarak belirlenir. **Tablo yöntemi**, yüksek basınç ve yüksek boru çapı ihtiyacı nedeniyle genellikle **tercih edilmeyen bir yöntemdir**.

SPRİNKLER SİSTEMİNİN TASARIMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

1. Boru Tablosu Yöntemi

Bu metot ile branşman boruları veya besleme borularının çapları, tablolarda verilen sprinkler sayılarına göre belirlenir. Bu yöntem kullanılarak hızlı bir tasarım yapılabilir bu yüzden piyasada en çok kullanılan yöntemdir.

Sprinkler sistemi boru çaplarının belirlenmesinde tablo metodunun kullanımı belli uygulamalarla sınırlandırılmıştır. Bu yöntemin eksikleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Borularda istenen minimum basınç ihtiyacı yüksek olduğundan dolayı bu metot ile yüksek boru çapları ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.
- Sadece K faktörü 80 olan sprinkler ile tasarım yapılabilir, bu yüzden kullanımı sınırlı ve yüksek yangın yoğunluğu olan mahallerde kullanılmaz.
- Her katta ve her kolonda belirli sayıda sprinkler kullanımına imkân vermektedir.

Sprink Sayısı	Boru çapı
1-2	1"
3	1 ¼"
4-5	1 ½"
6-10	2"
11-20	2 ½"
21-40	3"
41-100	4"
101-160	5"
160 ve üzeri	6"

SPRINKLER SİSTEMİNİN TASARIMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

2. Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

Sprinkler sisteminde hidrolik hesap yönteminin kullanılmasının amacı, yangının söndürülebilmesi ve kontrol altına alabilmesi için sisteme gerekli olan su ve basıncın aktarılması amacıyla ihtiyaç duyulan boru çaplarının, pompa değerlerinin ve gerekli su deposu hacminin belirlenmesidir.

Hidrolik hesap yöntemi ile sprinkler sistemi tasarımı aşağıdaki sıralamaya göre yapılır:

- Sistem seçimi
- Yapı yangın sınıfının belirlenmesi
- Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi
- Sprinklerin koruma alanı ve sprink seçiminin yapılması
- Sprinkler yerleşiminin yapılması
- Sprinkler borulama tasarımının yapılması
- Boru çaplarının belirlenmesi ve çaplandırma
- Hidrolik hesap yapılması
- Su deposu hacmi için gerekli sürenin belirlenmesi
- Gerekli su deposu hacminin belirlenmesi
- Pompa seçiminin yapılması

SPRINKLER SİSTEMİNİN TASARIMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

2. Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

2.1. Sistem seçimi

Sprinkler sistemi yapılacak mahallerin özellikleri (yangın yükü, donma riski vs.) dikkate alınarak sisteminin belirlenmesi gerekir. Sistem çeşitleri aşağıdaki gibidir.

- Islak Borulu Sprinkler sistemleri
- Kuru Borulu Sprinkler sistemleri
- Ön Tepkili Sprinkler sistemleri
- Baskın (Deluge) Sprinkler sistemleri

SPRINKLER SİSTEMİNİN TASARIMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

2. Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

2.2. Yapı yangın sınıfının belirlenmesi

Sprinkler sistemi tasarımına başlamadan önce, tasarım yapılacak mahallin tehlike sınıfı belirlenmelidir. Otomatik sprinkler sistemi ile korunacak mahaller ve binalar düşük, orta ve yüksek tehlike sınıfı olarak adlandırılırlar. Binanın tehlike sınıfı, yangının başlaması ve yayılması, yangın esnasında ortaya çıkan duman ve gazlar, patlama tehlikesi gibi bina veya yapıda bulunanların yaşamları ve emniyetleri için potansiyel tehlike oluşturan faktörlerin izafi tehlike dereceleri anlamındadır. Binaların tehlike sınıfı binada yürütülen işlem veya operasyonların niteliğine bağlı olarak belirlenir.

2.3. Düşük tehlike sınıfı mahaller

Düşük yangın yüküne sahip, düşük yana bilirliliği olan ve yangına karşı direnci en az 30 dakika olan 126 m² den büyük mahalli bulunmayan mekânlardır.

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

2.4. Orta tehlike sınıfı mahaller

Orta yangın yüküne ve orta yana bilirlğe sahip olan ve yanabilen malzemelerin işlendiği veya üretildiği alanları kapsar. Orta tehlike sınıfı mahaller 4 alt gruba ayrılır. Orta tehlike sınıfında yer alan mahaller Tablo'da verilmiştir.

KULLANIM TÜRÜ	Orta Tehlike-1	Orta Tehlike-2	Orta Tehlike-3	Orta Tehlike-4
Cam ve seramikler			Cam fabrikaları	
Kimyasallar	Çimento işleri	Fotoğraf laboratuvarları, fotoğraf film fabrikaları	Boyama işlemleri, sabun fabrikaları	Mum ve balmumu fabrikaları, kibrit fabrikaları, boyahaneler
Mühendislik	Metal levha üretimi	Otomotiv fabrikaları, tamirhaneleri	Elektronik fabrikalar, buzdolabı ve çamaşır makinesi fabrikaları	
Yiyecek ve içecekler	Mezbahalar, mandıralar	Fırınlr, bisküvi, çikolata, şekerleme imalathaneleri, bira fabrikaları	Hayvan yemi fabrikaları, meyve kurutma, suyu çıkarılmış sebze ve çorba fabrikaları, şeker imalathaneleri, tahıl değirmenleri	Alkol damıtma
Çeşitli	Hastaneler, oteller, konutlar, lokantalar, kütüphaneler (kitap depoları hariç), okullar, bürolar	Fizik laboratuvarları, çamaşırhaneler, otoparklar, müzeler	Radio ve televizyon yayınevleri, tren istasyonları, tesisat odaları	Sinemalar, tiyatrolar, konser salonları
Kâğıt			Cilt haneler, mukavva fabrikaları, kâğıt fabrikaları, baskı işleri ve matbaalar	Artık kâğıt işletmeleri
Lastik ve plastik			Kablo fabrikaları, plastik döküm ve plastik eşya (köpük plastik hariç), kauçuk eşya fabrikaları, sentetik lif(akrilik hariç) fabrikaları	Halat fabrikaları
Dükânlar ve ofisler	Bilgisayara veri işleme ofisleri (veri saklama odaları hariç)		Büyük mağazalar, Alışveriş merkezleri	Sergi salonları
Tekstil ve konfeksiyon		Deri eşya fabrikaları	Halı fabrikaları (kauçuk ve köpük plastik hariç) kumaş ve giysi fabrikaları, fiber levha fabrikaları, ayakkabı imalathaneleri, triko (örgü), ev tekstili (bez) fabrikaları, yatak şilte fabrikaları (köpük plastik hariç), döküm ve döküm atölyeleri, yün ve yünlü kumaş atölyeleri	Pamuk iplikhanesi, keten ve kenevir hazırlama tesisleri
Kereste ve tahta			Ahşap işleri fabrikaları mobilya fabrikaları (köpük plastikler hariç), mobilya mağazaları, koltuk kanep ve benzeri döşemelerinin (plastik köpük hariç) imalathaneleri	Odun talaşı fabrikaları, yonga levha fabrikaları, kontrplak levhaları
Orta Tehlike-1 ve Orta Tehlike-2 kullanım alanlarında boyama işlemi vb. yüksek yangın yüküne sahip alanlar var ise kullanım alanları Orta Tehlike-3 olarak değerlendirilir.				

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

2.5. Yüksek tehlike sınıfı mahaller

Yüksek tehlikeli işlemlerin olduğu, yüksek yangın yükü ve yüksek yanma derecesine sahip ve hızla yayılma veya yoğun yangın şeklinde gelişme gösterebilen malzemelerin bulunduğu mahalleri kapsar. Yüksek tehlike sınıfı mahaller, dört ana gruba ayrılır. Bu mahaller Tablo'da gösterilmiştir.

Yüksek Tehlike-1	Yüksek Tehlike-2	Yüksek Tehlike-3	Yüksek Tehlike-4
Döşemelik kumaş ve muşamba fabrikaları, kumaş ve muşamba yer döşemeleri imalatı	Aydınlatma fişeği fabrikaları	Selüloz nitrat fabrikaları	Havai fişek fabrikaları
Boya, renklendirici (ahşap renklendirici ve koruyucuları-pnoteks) ve vernik imalatı	Plastik köpük ve sünger imalathaneleri, lastik köpük eşyaları		
Yapay kauçuk, reçine, lamba isi ve terebentin imalatı	Katran damıtma		
Talaş fabrikaları Odun yünü imalatı	Otobüs ambarı, yüklü kamyonlar ve vagonlar Otobüsler, yüksüz kamyonlar ve demiryolu vagonları için depolar		

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.1. Tasarım yoğunluğunun belirlenmesi

Binanın tehlike sınıfı belirlendikten sonra tehlike sınıfına karşılık gelen tasarım yoğunluğu BYKHY (2007) Ek-8/B yağmurlama sisteminde tasarım yoğunluğu tablosundan tespit edilir. Tasarım yoğunluğu bir sprinkin 1 m² alana, 1 dakikada vermiş olduğu akışkan miktarını gösterir. Tehlike sınıfı yükseldikçe, tasarım yoğunluğu da artar. Tasarım yoğunluğu birimi lt/dk.m² ya da mm/dk. olarak belirtilir. Tehlike sınıfına göre tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanı aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tehlike Sınıfı	Tasarım yoğunluğu lt/dk.m² (mm/dk)	Operasyon (Koruma) alanı (m²)	
		Islak veya ön etkili	Kuru veya değişken
Düşük Tehlike	2,25	84	Orta Tehlike-1 kullanılır
Orta Tehlike-1	5	72	90
Orta Tehlike-2	5	144	180
Orta Tehlike-3	5	216	270
Orta Tehlike-4	5	360	Yüksek Tehlik-1 kullanılır
Yüksek Tehlike-1	7,7	260	325
Yüksek Tehlike-2	10,0	260	325
Yüksek Tehlike-3	12,5	260	325
Yüksek Tehlike-4	Yoğun su		
Not: Depolama alanları ve farklı özellikteki kullanım alanları için TS EN 12845 esas alınır.			

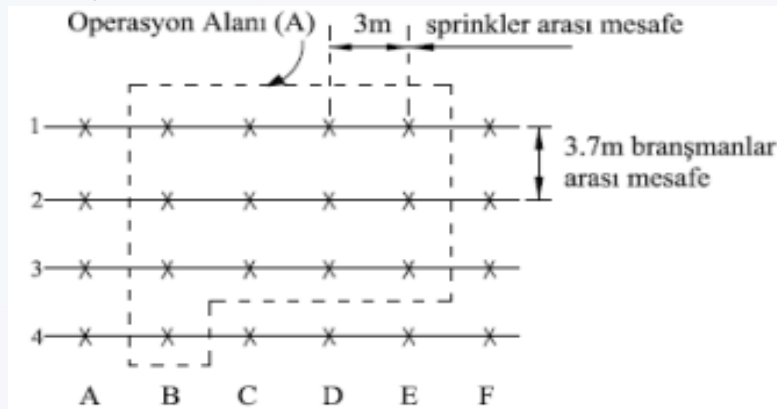
Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.2. Operasyon alanının belirlenmesi

Yapılan araştırmalarda yangının belirli mahallerde başladığı ve bu mahalden yayıldığı görülmüştür. Operasyon alanı yangının muhtemel olarak başlayacağı alanı ifade eder ve bina alanından bağımsız tespit edilir. Hidrolik hesap yapılırken yalnız operasyon alanı içindeki sprinkler dikkate alınır. Operasyon alanı bina tehlike sınıfına göre ve sprinkler sisteminin ıslak ya da kuru olmasına göre BYKHY (2007) Ek-8/B' de tablo halinde verilmiştir.

Operasyon (koruma) alanını belirlerken debi ve basınç yönünden en kritik alan bulunur. Bu alan pompaya en uzak yaklaşık olarak dikdörtgen bir alan olarak seçilir. Yapılan gözlemlerde yangının çizgisel olarak değil dikdörtgene benzer bir alan doğrultusunda yayıldığı görülmüştür. Bu hesabın amacı, pompanın hidrolik olarak en çok su gerektiren alan içinde de gerekli debi ve basıncı karşılayabilmesidir. Tehlike sınıfına göre operasyon (koruma) alanı bir önceki tabloda verilmiştir.



Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

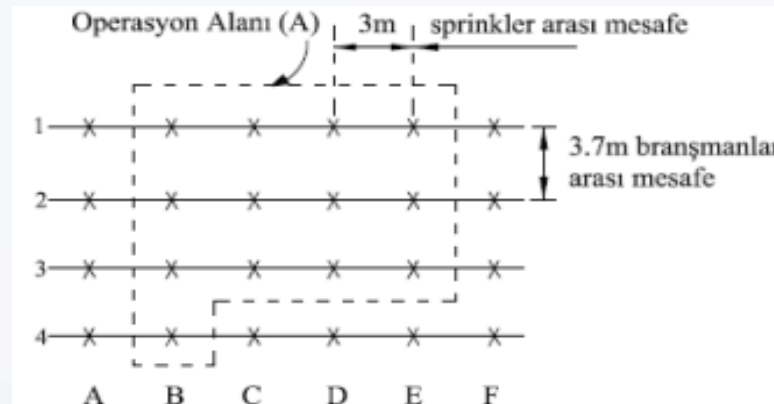
3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.2. Operasyon alanının belirlenmesi

Operasyon alanının belirlenmesi sonucu, alan dikdörtgen kabul edilir ve dikdörtgenin uzun kenarı branşman hattına paralel hesaplanmalıdır. Şekilde örnek bir operasyon alanı gösterilmiştir.

Operasyon (koruma) alanında olması gereken sprinkler adedini aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 4.1) ifade edilmiştir.

Toplam sprinkler sayısı = Operasyon alanı / Bir adet sprinklerin koruduğu alan



Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.2. Operasyon alanının belirlenmesi

Operasyon (koruma) alanını minimum uzunluğu aşağıdaki eşitlik kullanılarak aşağıdaki Denklem ile ifade edilmiştir.

$$L = 1.2 \times \sqrt{A}$$

L: Operasyon alanı minimum uzunluğu (m)

A: Operasyon (koruma) alanı (m²)

Operasyon (koruma) alanını branşman hattındaki sprinkler sayısı aşağıdaki eşitlik kullanılarak aşağıdaki Denklem ifade edilmiştir.

$$\text{Branşman hattındaki sprinkler sayısı} = 1.2 \times \frac{\sqrt{A}}{S}$$

A: Operasyon (koruma) alanı (m²)

S: Branşman hattındaki sprinkler arası uzaklık (m)

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.3. Sprinklerin operasyon alanı ve sprink seçiminin yapılması

Sprinklerin en fazla operasyon alanı binanın yangın tehlike sınıfına göre belirlenir. Bu alan düşük tehlike sınıfında 21 m², orta tehlike sınıfında 12 m², yüksek tehlike sınıfında ise 9 m² olarak alınır. Sprinkler en fazla operasyon alanı Tabloda gösterilmiştir.

Sistem Tipi	En fazla operasyon alanı
Hafif Tehlike	21
Orta Tehlike	12
Yüksek Tehlike	9

Uygulamada sprinkler seçimi yapılırken binanın mimari yapısı dikkate alınır. Örneğin asma tavan olan yerlerde pendent (sarkık) tip, ya da tavana asılamayacak durumlarda duvar tipi sprink kullanılması gerekebilir. Binanın tehlike sınıfına göre de geniş korumalı sprinkler seçimi yapılabilir. Bina yüksekliği fazla olan yerlerde ise $K_m \cdot 80$ ' den daha büyük K_m : 115, K_m :160 tipi sprinkler de kullanılır. Binanın yapısı incelendikten sonra sprink seçimi yapılması gerekir.

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.3. Sprinklerin yerleşiminin yapılması

Sprink yerleşimi yapılırken sprinkler arası en fazla mesafeye dikkat edilir. Sprinkler arası mesafe tehlike sınıfına göre Tablo 4.11.'de verilmiştir.

Sistem Tipi	İki sprinkler arası en fazla mesafe (m)
Hafif Tehlike	4,6
Orta Tehlike	4,0
Yüksek Tehlike	3,7

Genel olarak sprinkler yerleşim yapılırken aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir.

- İki sprink arasındaki en fazla mesafeye dikkat edilmelidir
- Sprinkler ile duvar arası en fazla uzaklık, sprinkler arası verilen uzaklığın yarısından fazla olmamalıdır.
- Sprinkler, genişliği 1,2 metreden büyük olan sabit engelleyiciler (havalandırma kanalı, çatı yanağı, kesme tablaları, açılma kapakları vb.) altına monte edilebilir.
- Düz tavanlı binalarda sprinkler deflektörü ile tavan arası maksimum 305 mm, minimum 25,4mm olacak şekilde yerleştirilir
- Çatı veya tavandaki sprinkler gurubu kolonun bir kenarına 0,6 m' den daha yakın bir konumda sprinkler monte edilmiş ise, diğer sprinkler, kolona 2 m mesafede yer alacak şekilde, kolonun karşı tarafına monte edilmelidir.

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

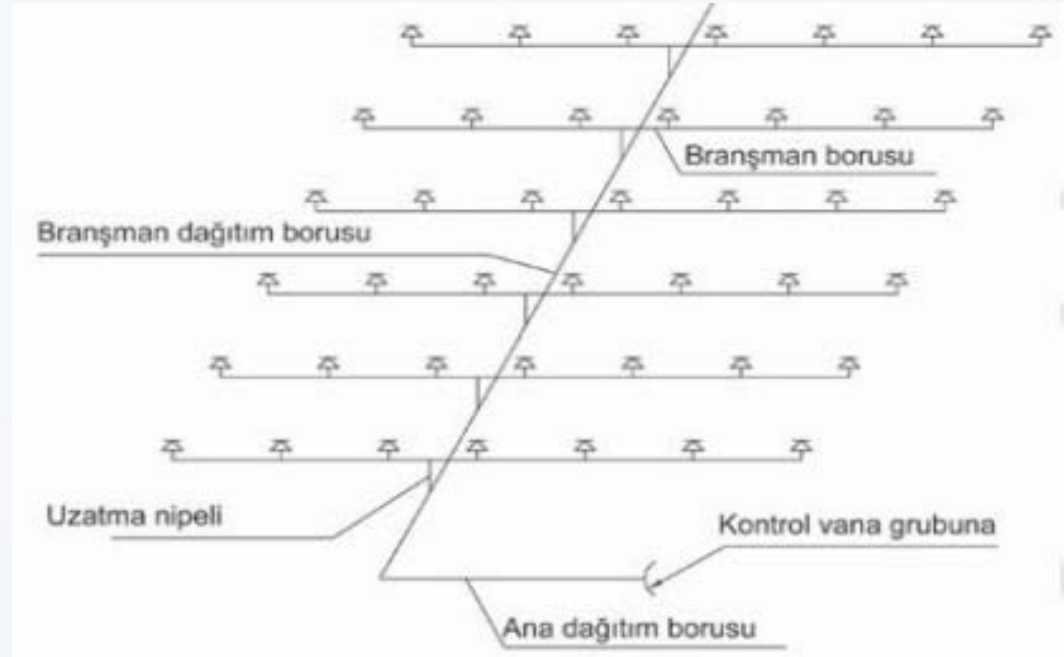
3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.3. Sprinklerin borulama tasarımının yapılması

Sprink başlıklarına suyun taşınmasını sağlayacak olan boru tesisatı değişik dağılım özelliklerinde yapılabilir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

a) Ağaç borulama sistemi

Ağaç borulama sistemi en az ana dağıtım hattı kullanılarak sprinkler branşman borularının beslendiği boru sistemidir. Ağaç borulama sistemi genel olarak en ekonomik boru sistemidir. Ağaç borulama sistemi Şekil'de gösterilmiştir.



Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

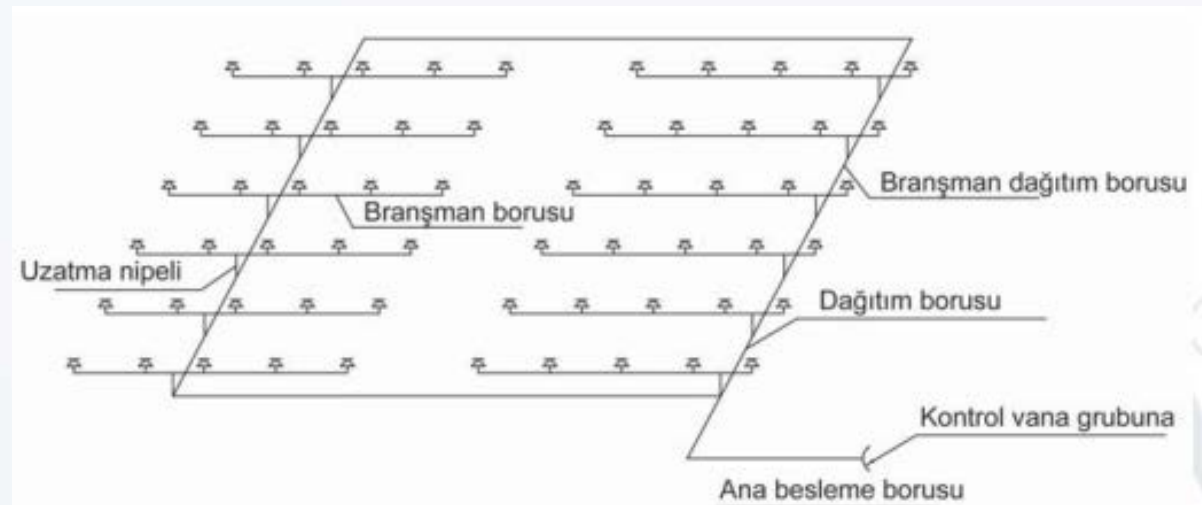
3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.3. Sprinklerin borulama tasarımının yapılması

b) Loop (döngü) borulama sistemi

Loop borulama sistemi ile sistemdeki su akışı bölünerek branşman borularının iki taraftan beslenmesi sağlanır. Branşman borularının iki taraftan beslenmesi ile sistemdeki sürtünme kayıpları azaltılır. Loop sistemi ile boru çapları azaltılarak, branşman borularına su dağılımında artış sağlanmaktadır. Loop sistemlerinde, sprinkler kolon borusu ağaç sistem yapısı ile aynıdır. Ana dağıtım borusu kolon borusundan ayrılarak, sistem branşman borularına ulaşır. Loop sistemleri genellikle, yüksek katlı binalar gibi merkezinde asansör kovanı bulunan yapılarda kullanılır.

Loop borulama sistemi Şekil'de gösterilmiştir.



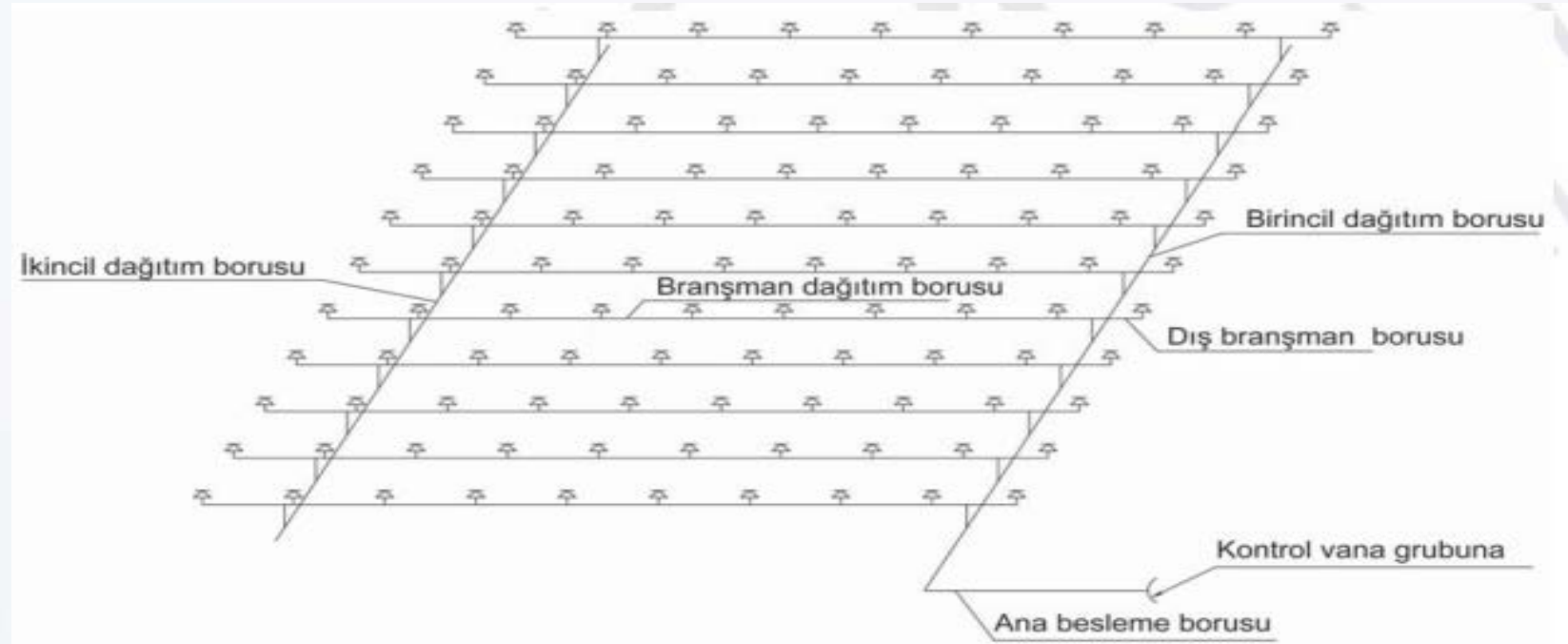
Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.3. Sprinklerin borulama tasarımının yapılması

c) Grid (ızgara) borulama sistemi

Grid borulama sistemi en az iki dağıtım hattının çok sayıda branşman borusu ile birbirine bağlantısını içerir. Ana besleme borusuna yakın olan dağıtım borusu “yakın dağıtım veya birincil dağıtım” ve ana besleme borusuna uzak olan dağıtım borusu “uzak dağıtım veya ikincil dağıtım” olarak isimlendirilir. Grid borulama sistemi geniş dikdörtgen alanlara su ulaştırılmasında verimli bir sistemdir. Grid borulama sistemi Şekil’de gösterilmiştir.



Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.4. Boru çaplarının belirlenmesi ve çaplandırma

Hidrolik hesap yöntemi yapılırken boru çapları Kısım 4.1' de anlatılan tablo yöntemi kullanılır. Ancak burada bulunan boru çapları kesin boru çapları değildir. Hesap yapılırken hız kriteri ve basınç kayıplarına göre boru çaplarını optimum düzeyde seçilmelidir.

3.5. Hidrolik hesap yöntemi

Hidrolik hesaplarda amaç koruma yapılacak olan kritik alana daha önceden yapılan risk analizi sonucunda bulduğumuz debinin uygun basınçta akması ile yangının kontrol altına alınmasını sağlamaktır. Yapılan hidrolik hesap sonucunda operasyon alanındaki uygun basınç ve debiyi sağlayacak pompanın debisi, basıncı ve gerekli olan su deposu hacmi hesaplanır. Hidrolik hesaplarda kullanılan formüller aşağıdaki gibidir.

Hazen Williams –Sürtünme Kaybı Formülü:

$$P_m = 6.05 \left(\frac{Q_m^{1.85}}{C^{1.85} \cdot d_m^{4.87}} \right) \cdot 10^5$$

P_m = Sürtünme kaybı (bar/m)

Q_m = Debi (lt/dk.)

C = Sürtünme Kaybı Katsayısı (Birimsiz)

d_m = Boru iç çap (mm)

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.5. Hidrolik hesap yöntemi

Boru sürtünme kaybı katsayıları malzeme cinsine göre değişmekte olup aşağıdaki Tabloda verilmiştir.

Boru Türü	Sürtünme Kaybı Katsayısı C
Döküm Boru	100
Duktil Boru	100
Siyah Çelik Boru (Kuru ve ön tepkili Sis.)	100
Siyah Çelik Boru (Islak ve Baskın Sis.)	120
Galvanize Boru	120
Beton Boru	140
PE Boru	150
CPVC Boru	150
Bakır Boru	150
Paslanmaz Çelik Boru	150

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.5. Hidrolik hesap yöntemi

Çelik boru iç çap, dış çap ve et kalınlığı gibi fiziksel özellikleri aşağıda Tablo'da verilmiştir.

Anma Çapı		Dış Çap	Et Kalınlığı	İç Çap
İnç	mm	mm	mm	mm
1	25	33.7	3.25	27.2
1 1/4	32	42.4	3.25	35.9
1 1/2	40	48.3	3.25	41.8
2	50	60.3	3.65	53.0
2 1/2	65	76.1	3.65	68.8
3	80	88.9	4.05	80.8
4	100	114.3	4.50	105.3
5	125	139.7	5.00	129.7
6	150	165.1	5.00	155.1
8	200	219.1	6.00	207.1
10	250	273.0	6.30	260.4
12	300	323.9	7.10	309.7

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.5. Hidrolik hesap yöntemi

Hidrolik hesapta boruların dışında lokal kayıpları oluşturan vana, dirsek gibi tesisat elemanların metre cinsinden sürtünme kayıpları Tablo'da verilmiştir.

Fittings ve vanalar	Fittings ve Vanaların Eşdeğer Boru Uzunlukları (m)									
	25	32	40	50	65	80	100	150	200	250
90° standart dişli dirsek	0,77	1,00	1,2	1,5	1,9	2,4	3,0	4,3	5,7	7,4
90° kaynaklı dirsek	0,36	0,49	0,56	0,69	0,88	1,1	1,4	2,0	2,6	3,4
45° dirsek	0,40	0,55	0,66	0,76	1,0	1,3	1,6	2,3	3,1	3,9
Te (Akışta 90° dönüş)	1,5	2,1	2,4	2,9	3,8	4,8	6,1	8,6	11,0	14,0
Sürgülü Vana	-	-	-	0,38	0,51	0,63	0,81	1,1	1,5	2,0
Alarm veya çek vana (Swing tip)	-	-	-	2,4	3,2	3,9	5,1	7,2	9,4	12,0
Alarm veya çek vana (mantar tip)	-	-	-	12,0	19,0	19,7	25,0	35,0	47,0	62,0
Kelebek Vana	-	-	-	2,2	2,9	3,6	4,6	6,4	8,6	9,9
Globe Vana	-	-	-	16	21	26	34	48	64	84

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.5. Hidrolik hesap yöntemi

Diğer C katsayıları için Tablo 'da verilen çarpan faktörleri kullanılmalıdır.

C Katsayısı Değeri	100	120	130	140	150
Çarpan Faktörü	0,713	1	1,16	1,33	1,51

Hidrolik hesapta sprinklerin debi, basınç ve K faktörü bağlantısı için aşağıdaki Denklem kullanılır.

Sprinkler debi, basınç, K faktörü formülü:

$$Q = K \cdot \sqrt{P}$$

Q_m = Debi (lt/dk.)

K = Sprinkler K faktörü

P = Sprinkler orifisindeki basınç (bar)

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.5. Hidrolik hesap yöntemi

Hidrolik hesap yapılırken gerekli yerlerde balanslama işlemi gerekir. Örneğin hat ayrımlarında büyük basınca göre debiyi tekrar hesaplarken balanslama formülü kullanılır. Balanslama formülü Denklem'de verilmiştir.

$$Q_{\text{balans}} = Q_d \sqrt{\frac{P_b}{P_k}}$$

Q_{balans} = Balans Debisi (lt/dk.)

Q_d = Düşük Debi (lt/dk.)

P_b = Büyük Basınç Kaybı (bar)

P_k = Küçük Basınç Kaybı (bar)

Hidrolik Hesap Yöntemi ile Sistem Tasarımı

3. Tasarım yoğunluğu ve operasyon (koruma) alanının belirlenmesi

3.5. Hidrolik hesap yöntemi

Akışkanların boru içerisindeki hareketi debi ve hız ile açıklanır. Boru içerisindeki akışkanın debisi hızına ve borunun iç kesit alanına bağlıdır. Bu bağlantı aşağıdaki Denklem ile ifade edilir.

$$Q=V.A$$

Q = Akışkanın Debisi (m^3/s)

V = Akışkanın Hızı (m/s)

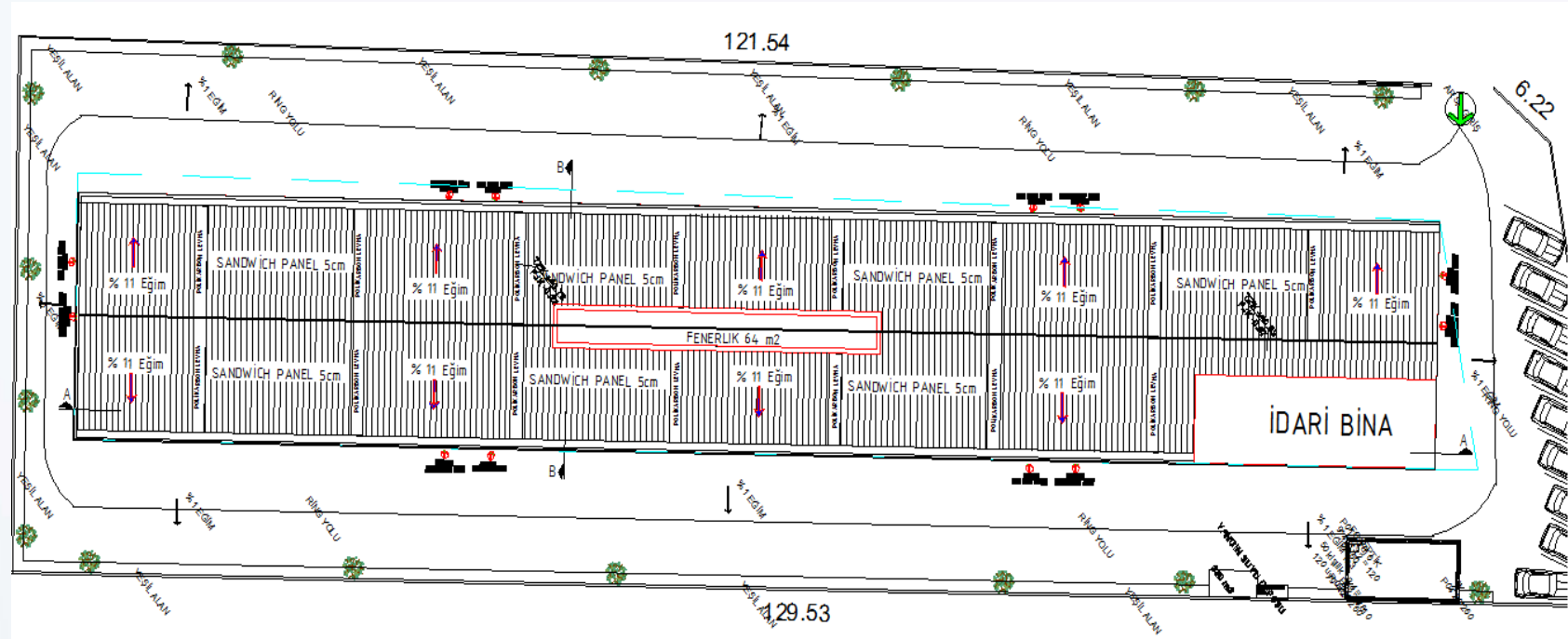
A = Borunun İç Kesit Alanı (m^2)

Operasyon alanı içindeki sprinklerin tamamının açılması durumundaki su akışında, su hızı aşağıdaki değerleri aşmamalıdır. Su hızı Hazen Williams formülünün bir fonksiyonudur.

- Herhangi vana veya debi ölçüm cihazında su hızı limiti: 6 m/sn.
- Sistemdeki herhangi noktadaki su hızı limiti: 10 m/sn.

Örnek Bir Proje Hesapların Yapılması

Örnek hidrolik hesap yapacağımız bina toplam 2051 m² inşaat alanına sahip içerisinde elektronik cihaz bulunduran bir fabrikadır. Binanın genel vaziyet planı aşağıda gösterilmiştir.



Örnek Bir Proje Hesapların Yapılması

Sprinkler sistem seçimi;

- ▶ Sprinkler sistemi yapılacak olan bina Sakarya ili sınırlarında ve mahallerin donma riski bulunmadığı göz önüne alınarak ıslak borulu sprinkler sistemi seçildi.

Yapı yangın sınıfının seçimi;

- ▶ Binanın kullanım amacı elektronik ürün üretim fabrikası olduğu için B.Y.K.H.Y' te bulunan Tehlike sınıfı tablosundan Orta Tehlike 3 sınıfı seçildi.

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

KULLANIM TURU	Orta Tehlike-1	Orta Tehlike-2	Orta Tehlike-3	Orta Tehlike-4
Cam ve seramikler			Cam fabrikaları	
Kimyasallar	Çimento işleri	Fotoğraf laboratuvarları, fotoğraf film fabrikaları	Boyama işlemleri, sabun fabrikaları	Mum ve balmumu fabrikaları, kibrit fabrikaları, boyahaneler
Mühendislik	Metal levha üretimi	Otomotiv fabrikaları, tamirhaneleri	Elektronik fabrikalar, buzdolabı ve çamaşır makinesi fabrikaları	
Yiyecek ve içecekler	Mezbahalar, mandıralar	Fırımlar, bisküvi, çikolata, şekerleme imalathaneleri, bira fabrikaları	Hayvan yemi fabrikaları, meyve kurutma, suyu çıkarılmış sebze ve çorba fabrikaları, şeker imalathaneleri, tahıl değirmenleri	Alkol damıtma
Çeşitli	Hastaneler, oteller, konutlar, lokantalar, kütüphaneler (kitap depoları hariç), okullar, bürolar	Fizik laboratuvarları, çamaşırhaneler, otoparklar, müzeler	Radio ve televizyon yaymevleri, tren istasyonları, tesisat odaları	Sinemalar, tiyatrolar, konser salonları
Kâğıt			Cilt haneler, mukavva fabrikaları, kâğıt fabrikaları, baskı işleri ve matbaalar	Artık kâğıt işletmeleri

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

Tasarım yoğunluğunun belirlenmesi

- Sprink tasarım yoğunluğu Orta Tehlike 3 sınıfı için 5 lt/dk-m2 olarak alındı.

Tehlike Sınıfı	Tasarım mm/dk.	yoğunluğu	Koruma alanı (m ²)	
			Islak veya ön etkili	Kuru veya değişken
Düşük Tehlike	2,25		84	Orta Tehlike-1 kullanılır
Orta Tehlike-1	5		72	90
Orta Tehlike-2	5		144	180
Orta Tehlike-3	5		216	270
Orta Tehlike-4	5		360	Yüksek Tehlik-1 kullanılır
Yüksek Tehlike-1	7,7		260	325
Yüksek Tehlike-2	10,0		260	325
Yüksek Tehlike-3	12,5		260	325
Yüksek Tehlike-4	Yoğun su			

Not: Depolama alanları ve farklı özellikteki kullanım alanları için TS EN 12845 esas alınır.

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

Operasyon alanının belirlenmesi

- Orta Tehlike 3 yangın sınıfı ve ıslak sprinkler sistemleri için operasyon alanı 216 m² olarak belirlendi. Operasyon alanında açılması gereken toplam sprinkler sayısı;

Toplam sprinkler sayısı = $216 \text{ m}^2 / 12 \text{ m}^2 = 18$ adet

Yapılan araştırmalarda yangının belirli mahallerde başladığı ve bu mahalden yayıldığı görülmüştür. Operasyon alanı yangının muhtemel olarak başlayacağı alanı ifade eder ve bina alanından bağımsız tespit edilir. Hidrolik hesap yapılırken yalnız operasyon alanı içindeki sprinkler dikkate alınır. Operasyon alanı bina tehlike sınıfına göre ve sprinkler sisteminin ıslak ya da kuru olmasına göre BYKHY (2007) Ek-8/B' de tablo halinde verilmiştir.

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

Sprinkler Koruma alanı ve sprinkler seçiminin yapılması

Sprinkler koruma alanı Orta Tehlike 3 yangın sınıfı için 12 m² alındı. Bina tehlike sınıfının Orta tehlike sınıfı olması, yüksek yangın yükünün olmaması ve bina yüksekliğinin de düşük olması sebebi ile Sprink K faktörü $K_m = 80$ pendent (sarkık) tip sprink seçildi.

Sistem Tipi	En fazla koruma alanı
Hafif Tehlike	21
Orta Tehlike	12
Yüksek Tehlike	9

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

Sprinkler yerleşiminin yapılması

- Branşmanlardaki sprinkler arası uzaklık 3 metre, branşmanlar arası uzaklık ise 4 metre olarak alındı. Sprinklerin duvara olan mesafesi 2 metre olarak alındı.

Sistem Tipi	İki sprinkler arası en fazla mesafe (m)
Hafif Tehlike	4,6
Orta Tehlike	4,0
Yüksek Tehlike	3,7

Sprinkler borulama tasarımının yapılması

- Sprinkler borulama sistemi ağaç borulama sistemi olarak seçimi yapıldı. Boru sürtünme katsayısı seçimi için ise siyah çelik boruya karşılık gelen C değeri Tablodan 120 olarak belirlendi.

Örnek Bir Proje Üzerinden Hidrolik Hesapların Yapılması

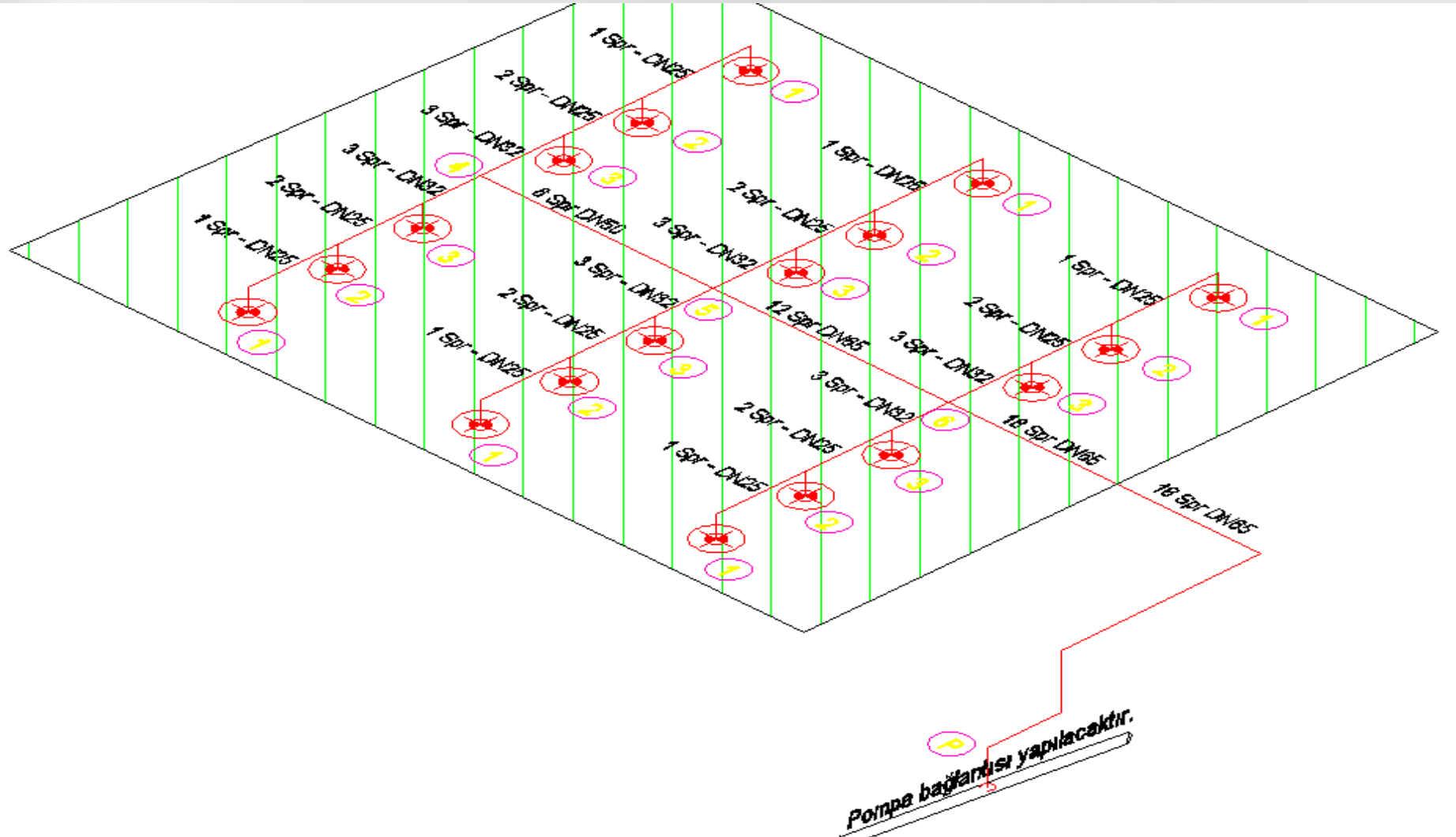
Boru çaplarının belirlenmesi

Hidrolik Hesap Adımları

- Öncelikle sistemde basınç ve debinin değiştiği noktalar numaralandırılır. Aynı debi ve basınç değerleri olan noktalara hesap kolaylığı olması açısından aynı numaralar verilir.



Örnek Bir Proje Üzerinden Hidrolik Hesapların Yapılması



Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

- 1 ve 2 numaralı hatlar arası hesaplamalar

En Uç noktada (1 noktası) bulunan sprinkten akan minumum debi hesaplanır.

$$Q1 = 5 \text{ lt/dk-m}^2 \times 12 \text{ m}^2 = 60 \text{ lt/dk}$$

- En Uç noktada (1 noktası) bulunan sprinkte istenilen minumum akma basıncı hesaplanır

$$60 = 80 \cdot \sqrt{P} \rightarrow P1 = 0,562 \text{ mbar}$$

- 1 noktasındaki basın basıncı $P1=0,562 \text{ mbar}$, debi ise $Q1=60 \text{ lt/dk}$ olarak bulundu.
- 1-2 noktaları arasındaki DN25 boru iç çapı Tablo'dan 27,2 mm olarak alınarak aşağıdaki gibi hesaplandı

$$\frac{60}{1000 \cdot 60} = V_{1-2} \cdot \frac{\pi \cdot 0,0272^2}{4} \rightarrow V_{1-2} = 1,723 \text{ m/s} < 6 \text{ m/s olduğundan dolayı uygundur.}$$

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

1-2 noktaları arasındaki birim sürtünme kaybı Hazen-Williams bağıntısı ile hesaplanır

$$P_{m,1-2} = \frac{6,05 \cdot 60^{1,85} \cdot 10^5}{120^{1,85} \cdot 27,24,87} = 0,017 \text{ bar/m}^{\text{sn}}$$

1-2 numaralı hat arasında direnç değerleri için eşdeğer uzunluk hesaplanır (Tablo).

- Düz boru 3m
- DN25 90° vidalı dişli dirsek 1 adet 0,77m
- DN25 Te 1 adet 1,5m

Toplam eşdeğer uzunluk= 3+0,77+1,5=5,27m

Toplam sürtünme kaybı $P_{1-2} = 0,017 \cdot 5,27 = 0,089 \text{ bar}$

2 noktasındaki toplam basınç:

$P_2 = P_1 + P_{m,1-2} = 0,562 + 0,089 = 0,651 \text{ bar}$ olarak bulunur.

Fittings ve vanalar	Fittings ve Vanaların Eşdeğer Boru Uzunlukları (m)									
	25	32	40	50	65	80	100	150	200	250
90° standart dişli dirsek	0,77	1,00	1,2	1,5	1,9	2,4	3,0	4,3	5,7	7,4
90° kaynaklı dirsek	0,36	0,49	0,56	0,69	0,88	1,1	1,4	2,0	2,6	3,4
45° dirsek	0,40	0,55	0,66	0,76	1,0	1,3	1,6	2,3	3,1	3,9
Te (Akışta 90° dönüş)	1,5	2,1	2,4	2,9	3,8	4,8	6,1	8,6	11,0	14,0
Sürgülü Vana	-	-	-	0,38	0,51	0,63	0,81	1,1	1,5	2,0
Alarm veya çek vana (Swing tip)	-	-	-	2,4	3,2	3,9	5,1	7,2	9,4	12,0
Alarm veya çek vana (mantar tip)	-	-	-	12,0	19,0	19,7	25,0	35,0	47,0	62,0
Kelebek Vana	-	-	-	2,2	2,9	3,6	4,6	6,4	8,6	9,9
Globe Vana	-	-	-	16	21	26	34	48	64	84

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

- 2 ve 3 numaralı hatlar arası hesaplamalar

2. noktasındaki açılacak olan sprik debisi Denklem 4.5 bağıntısı ile belirlenir.

$$Q_2 = 80 \cdot \sqrt{0,651} \rightarrow Q_2 = 64,54 \text{ lt/dk}$$

2-3 noktaları arasındaki toplam debi, $Q_{2-3} = Q_2 + Q_{1-2} = 64,54 + 60 = 124,5 \text{ lt/dk}$

2-3 noktaları arasındaki suyun hızı Denklem 4.7 bağıntısı ile hesaplanır.

2-3 noktaları arasındaki DN25 boru iç çapı Tablo 4.13.'den 27,2 mm olarak alındı.

$$\frac{124,5}{1000 \cdot 60} = V_{2-3} \cdot \frac{\pi \cdot 0,0272^2}{4} \rightarrow V_{2-3} = 3,573 \text{ m/s} < 6 \text{ m/s olduğundan dolayı uygundur.}$$

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

- 2 ve 3 numaralı hatlar arası hesaplamalar

2-3 noktaları arasındaki birim sürtünme kaybı Hazen-Williams bağıntısı ile hesaplanır (Denklem 4.4).

$$P_{m,2-3} = \frac{6,05 \cdot 124,5^{1,85} \cdot 10^5}{120^{1,85} \cdot 27,2^{4,87}} = 0,065 \text{ bar/m}$$

2-3 numaralı hat arasında direnç değerleri için eşdeğer uzunluk hesaplanır

Düz boru 3m

DN25 Te 1 adet 1,5m

Toplam eşdeğer uzunluk= 3+1,5=4,5m

Toplam sürtünme kaybı $P_{2-3} = 0,065 \cdot 4,5 = 0,292 \text{ bar}$

3 noktasındaki toplam basınç $P_3 = P_2 + P_{m,2-3} = 0,651 + 0,292 = 0,943 \text{ bar}$ olarak bulunur.

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

- 3 ve 4 numaralı hatlar arası hesaplamalar

3. noktasındaki açılacak olan sprik debisi Denklem 4.5 bağıntısı ile belirlenir.

$$Q_3 = 80 \cdot \sqrt{0,943} \rightarrow Q_3 = 76,68 \text{ lt/dk}$$

3-4 noktaları arasındaki toplam debi, $Q_{3-4} = Q_3 + Q_{2-3} = 76,68 + 124,5 = 201,18 \text{ lt/dk}$

3-4 noktaları arasındaki suyun hızı Denklem 4.7 bağıntısı ile hesaplanır.

3-4 noktaları arasındaki DN32 boru iç çapı Tablo 4.13.'den 35,9 mm olarak alındı.

$$\frac{201,18}{1000 \cdot 60} = V_{3-4} \cdot \frac{\pi \cdot 0,0359^2}{4} \rightarrow V_{3-4} = 3,314 \text{ m/s} < 6 \text{ m/s olduğundan dolayı uygundur.}$$

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

- 3-4 noktaları arasındaki birim sürtünme kaybı Hazen-Williams bağıntısı ile hesaplanır (Denklem 4.4).

$$P_{m,3-4} = \frac{6,05 \cdot 201,18^{1,85} \cdot 10^5}{120^{1,85} \cdot 35,94,87} = 0,042 \text{ bar/m}$$

3-4 numaralı hat arasında direnç değerleri için eşdeğer uzunluk hesaplanır

Düz boru 1,5m

DN32 Te 1 adet 2,1m

Toplam eşdeğer uzunluk= 1,5+2,1=3,6m

Toplam sürtünme kaybı $P_{3-4} = 0,042 \cdot 3,6 = 0,151 \text{ bar}$

4 noktasındaki toplam basınç $P_4 = P_3 + P_{m,3-4} = 0,943 + 0,151 = 1,094 \text{ bar}$ olarak bulunur.

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

4 ve 5 numaralı hatlar arası hesaplamalar

4-5 noktaları arasındaki toplam debi, $Q_{4-5} = 2 \cdot Q_{3-4} = 2 \cdot 201,18 = 402,36$ lt/dk

4-5 noktaları arasındaki suyun hızı Denklem 4.7 bağıntısı ile hesaplanır.

4-5 noktaları arasındaki DN50 boru iç çapı Tablo 4.13.'den 53,0 mm olarak alındı.

$$\frac{402,36}{1000 \cdot 60} = V_{4-5} \cdot \frac{\pi \cdot 0,053^2}{4} \rightarrow V_{4-5} = 3,041 \text{ m/s} < 6 \text{ m/s olduğundan dolayı uygundur.}$$

4-5 noktaları arasındaki birim sürtünme kaybı Hazen-Williams bağıntısı ile hesaplanır

$$P_{m,4-5} = \frac{6,05 \cdot 402,36^{1,85} \cdot 10^5}{120^{1,85} \cdot 53^{4,87}} = 0,023 \text{ bar/m}$$

4-5 numaralı hat arasında direnç değerleri için eşdeğer uzunluk hesaplanır

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

4 ve 5 numaralı hatlar arası hesaplamalar

4-5 noktaları arasındaki toplam debi, $Q_{4-5} = 2 \cdot Q_{3-4} = 2 \cdot 201,18 = 402,36$ lt/dk

4-5 noktaları arasındaki suyun hızı Denklem 4.7 bağıntısı ile hesaplanır.

4-5 noktaları arasındaki DN50 boru iç çapı Tablo 4.13.'den 53,0 mm olarak alındı.

$$\frac{402,36}{1000 \cdot 60} = V_{4-5} \cdot \frac{\pi \cdot 0,053^2}{4} \rightarrow V_{4-5} = 3,041 \text{ m/s} < 6 \text{ m/s olduğundan dolayı uygundur.}$$

4-5 noktaları arasındaki birim sürtünme kaybı Hazen-Williams bağıntısı ile hesaplanır

$$P_{m,4-5} = \frac{6,05 \cdot 402,36^{1,85} \cdot 10^5}{120^{1,85} \cdot 53^{4,87}} = 0,023 \text{ bar/m}$$

4-5 numaralı hat arasında direnç değerleri için eşdeğer uzunluk hesaplanır

- Düz boru 4m
- DN50 Te 1 adet 2,9m

Toplam eşdeğer uzunluk = $4 + 2,9 = 6,9$ m

Toplam sürtünme kaybı $P_{4-5} = 0,023 \cdot 6,9 = 0,159$ bar

5 noktasındaki toplam basınç $P_5 = P_4 + P_{m,4-5} = 1,094 + 0,159 = 1,253$ bar olarak bulunur.

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

- 5 ve 6 numaralı hatlar arası hesaplamalar

Aynı simetriye sahip olmasına karşın, basınç farkından dolayı 3-5 numaralı hattan geçen debi 4-3 numaralı hattan geçen debiye eşit değildir. Bu yüzden 5 numaralı düğüm noktası için balanslama yapılarak 3-5 numaralı hattan geçen yeni debi hesaplanır.

$$Q_{\text{balans}} = Q_{3-5}$$

Q_{balans} : 3-5 numaralı hattan geçecek olan yeni debi

$$Q_d = Q_{3-4} = 201,18 \text{ lt/dk.}$$

$$P_b = P_5 = 1,253 \text{ bar}$$

$$P_k = P_4 = 1,094 \text{ bar}$$

$$Q_{\text{balans}} = 201,18 \sqrt{\frac{1,253}{1,094}} = 215,31 \text{ lt/dk}$$

Dikkat edilirse 3-5 ve 3-4 numaralı hatlar aynı simetriye sahip olmalarına karşın bu kollardaki debi değerleri eşit değildir. Bu beklenen bir sonuçtur. Pompaya yakın yüksek basınçlı olan hatlardan daha fazla debi geçmesi gerekir.

5-6 noktaları arasındaki toplam debi,

$$Q_{5-6} = Q_{4-5} + 2 \cdot Q_{3-5} = 402,36 + 2 \cdot 215,31 = 832,98 \text{ lt/dk olarak bulunur.}$$

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

5-6 noktaları arasındaki suyun hızı hesaplanır. 5-6 noktaları arasındaki DN65 boru iç çapı Tablo 4.13.'den 68,8 mm olarak alındı.

$$\frac{832,98}{1000 \cdot 60} = V_{5-6} \cdot \frac{\pi \cdot 0,0688^2}{4} \rightarrow V_{5-6} = 3,736 \text{ m/s} < 6 \text{ m/s olduğundan dolayı uygundur.}$$

5-6 noktaları arasındaki birim sürtünme kaybı Hazen-Williams bağıntısı ile hesaplanır (Denklem 4.4).

$$P_{m,5-6} = \frac{6,05 \cdot 832,98^{1,85} \cdot 10^5}{120^{1,85} \cdot 68,8^{4,87}} = 0,025 \text{ bar/m}$$

5-6 numaralı hat arasında direnç değerleri için eşdeğer uzunluk hesaplanır (Tablo 4.14.).

- Düz boru 4m
- DN65 Te 1 adet 3,8m

Toplam eşdeğer uzunluk= 4+3,8 =7,8m

Toplam sürtünme kaybı $P_{5-6} = 0,025 \cdot 7,8 = 0,195 \text{ bar}$

6 noktasındaki toplam basınç $P_6 = P_5 + P_{m,5-6} = 1,253 + 0,195 = 1,448 \text{ bar}$ olarak bulunur.

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

- 6 dan Pompaya kadar olan hatlar arası hesaplamalar

6 numaralı düğümden sonra operasyon alanı dışında olduğundan dolayı (sprinkler açılmayacağından debi değişmeyecektir) ve boru çapı değişmediğinden dolayı başka numaralandırma yapılmadı.

Aynı simetriye sahip olmasına karşın, basınç farkından dolayı 3-6 numaralı hattın geçen debi 3-5 numaralı hattın geçen debiye eşit değildir. Bu yüzden 6 numaralı düğüm noktası için Denklem 4.6 kullanılarak balanslama yapılarak 3-6 numaralı hattın geçen yeni debi hesaplanır.

$$Q_{\text{balans}} = Q_{3-6}$$

Q_{balans} : 3-6 numaralı hattın geçecek olan yeni debi

$$Q_d = Q_{3-4} = 201,18 \text{ lt/dk.}$$

$$P_b = P_6 = 1,448 \text{ bar}$$

$$P_k = P_4 = 1,094 \text{ bar}$$

$$Q_{\text{balans}} = 201,18 \sqrt{\frac{1,448}{1,094}} = 231,45 \text{ lt/dk}$$

6 ve Pompa arasındaki toplam debi,

$$Q_{6-p} = Q_{5-6} + 2.Q_{3-6} = 832,98 + 2 .231,45 = 1295,88 \text{ lt/dk olarak bulunur.}$$

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

6-Pompa noktaları arasındaki suyun hızı hesaplanır. 6-Pompa noktaları arasındaki DN65 boru iç çapı Tablodan 68,8 mm olarak alındı.

$$\frac{1295,88}{1000 \cdot 60} = V_{6-p} \cdot \frac{\pi \cdot 0,0688^2}{4} \rightarrow V_{5-6} = 5,812 \text{ m/s} < 6 \text{ m/s olduğundan dolayı uygundur.}$$

6-Pompa noktaları arasındaki birim sürtünme kaybı Hazen-Williams bağıntısı ile hesaplanır (Denklem 4.4).

$$P_{m,6-p} = \frac{6,05 \cdot 1295,88^{1,85} \cdot 10^5}{120^{1,85} \cdot 68,8^{4,87}} = 0,055 \text{ bar/m}$$

6- Pompa hat arasında direnç değerleri için eşdeğer uzunluk hesaplanır (Tablodan)

- ✓ Düz boru 100m
- ✓ DN65 900 Kaynaklı dirsek 6 adet 0,88m
- ✓ DN65 Sürgülü vana 1 adet 0,51m
- ✓ DN65 Çekvalf 1 adet 3,2m
- ✓ DN65 Kelebek vana 3 adet 2,9m

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

Toplam eşdeğer uzunluk= $100+(6.0,88)+(1.0,51)+(1.3,2)+(3.2,9) = 117,69\text{m}$

Toplam sürtünme kaybı $P6-p = 0,055 \cdot 117,69 = 6,47 \text{ bar}$

6- Pompa hat arasında yükseklikten kaynaklı hidrostatik basınç için sprinkler ile pompa seviyesi arasındaki düşey mesafe 7 metre alındı.

$P_h = 0,098 \cdot 7 = 0,686 \text{ bar}$ bulunur

Pompa için gerekli toplam basınç $P_p = P6 + P_{m,6-P} + P_h = 1,448 + 6,47 + 0,686 = 8,604 \text{ bar}$ olarak bulunur.

Hidrolik hesap sonucunda son noktada yani pompanın çıkışında olması gereken basınç 8,604 bar ve debi de 1295,88 lt/dk. dır.

Örnek Bir Proje Üzerinden Hesapların Yapılması

Hidrolik hesap metodu ile yapılan tüm hesaplamalar sonucunda sistemin bütün noktalarındaki basınç ve debi değerleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

İŞLEM NO	PARÇA NO		SPRINK DEBİSİ (lt/dk)	TOPLAM DEBİ (lt/dk)	BORU ÇAPI (DN)	BORU İÇ ÇAPI (mm)	HIZ (m/sn)	BORU UZUNLUĞU (m)	YÜKSEKLİK (m)	90° vidalı dirsek (adet)	90° kaynaklı dirsek (adet)	Tee (adet)	Sürgülü Vana-Düz Yollu (adet)	Çekvalf - döner tipli (adet)	Çekvalf - mantar tipli (adet)	Kelebek vana (adet)	Globe vana (adet)	TOPLAM EŞDEĞER UZUNLUK (m)	BASINÇ KAYBI (bar/m)	BORU KAYBI (bar)	YÜKSEKLİK KAYBI (bar)	ÖNCEKİ BASINÇ KAYBI (bar)	SON BASINÇ KAYBI (bar)
1	1	2	60,0	60,00	DN25	27,2	1,723	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	5,27	0,017		0	0,562	0,651
2	2	3	64,54	124,50	DN25	27,2	3,573	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4,5	0,065		0	0,651	0,943
3	3	4	76,68	201,18	DN32	35,9	3,314	1,5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3,6	0,042		0	0,943	1,094
4	4	5	0	402,36	DN50	53	3,041	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6,9	0,023		0	1,094	1,253
5	5	6	0	832,98	DN65	68,8	3,736	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7,8	0,025		0	1,253	1,448
6	6	P	0	1295,88	DN65	68,8	5,812	100	7	0	6	0	1	1	0	3	0	117,7	0,055		0,7	1,448	8,604

Sprinkler Aktivasyonu

Sprinkler Aktivasyon denkleminin, belirli bir sprinkler cihazının belirli parametrelerdeki yangına yanıt vermesinin ne kadar süreceğini tahmin etmesi amaçlanmıştır. Denklem şu şekilde ifade edilir:

$$t_{aktivasyon} = \left(\frac{TSi}{\sqrt{U_{jet}}} \right) \left(\ln \left(\frac{T_{jet} - T_{ortam}}{T_{jet} - T_{aktivasyon}} \right) \right)$$

Burada;

$t_{aktivasyon}$ = Sprinkler sisteminin saniye biriminden aktivasyon süresi

U_{jet} = Tavan Jetinin Saniyede Metre Cinsinden Hızı (Hesaplanmalı)

TS = Tepkime Süresi İndeksi (Belirli bir cihazın özelliği tarafından tanımlanan Üretici tarafından belirlenmiş parametre)

T_{jet} = Celsius Derece cinsinden Tavan Jetinin Sıcaklığı (Hesaplanmalı)

T_{ortam} = Celsius Derece cinsinden Ortam sıcaklığı

$T_{aktivasyon}$ = Celsius Derece cinsinden Sprinkler aktivasyon sıcaklığı

Sprinkler Aktivasyonu

Tepki Süresi İndeksi ve Sprinkler Aktivasyon Sıcaklığı, farklı sprinkler türleri ve sprinkler üreticileri arasında değişiklik gösterir, ancak belirli veriler belirli cihazda bulunmalı veya belirli bir cihaz için yayınlanmış ve mevcut olmalıdır. Genel olarak, sprinklerler aşağıdaki RTI kategorilerine girer:

Standart Yanıt Ampulü = 235

Standart Yanıt Bağlantısı = 130

Hızlı Tepkili Ampul = 42

Hızlı Yanıt bağlantısı = 34

Sprinkler Aktivasyonu

Sprinklerler genel olarak aşağıdaki Sprinkler Aktivasyonunda kategorize edilebilir

Sıcaklık kategorileri:

Sıradan = 74 (57-77 aralığı)

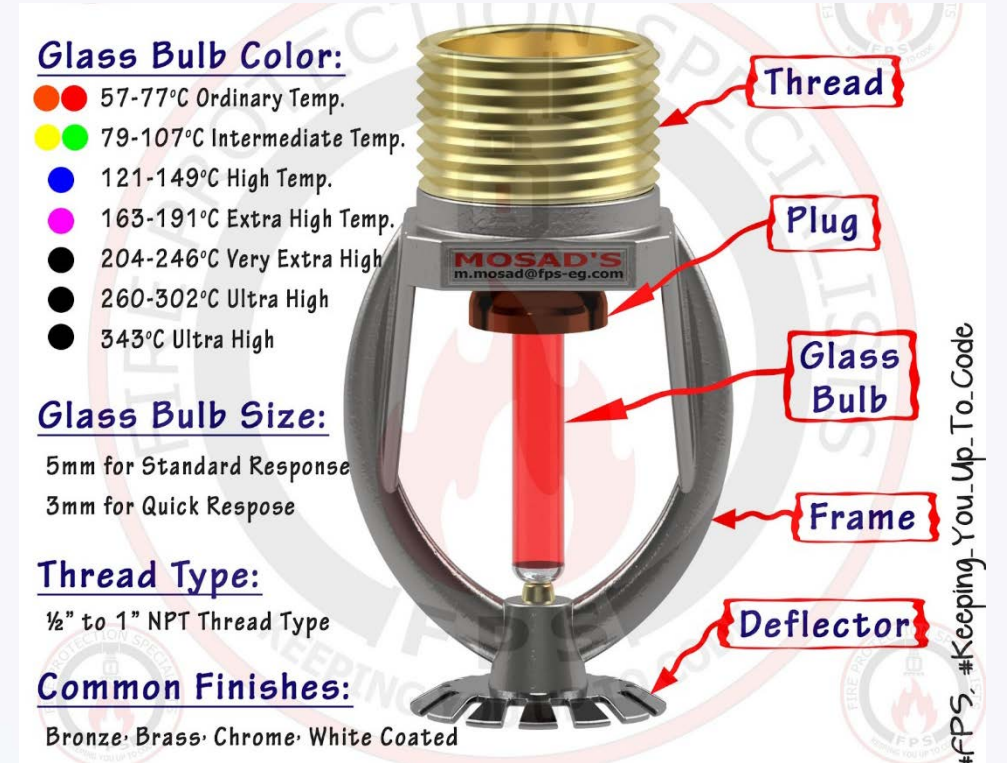
Orta = 100 (80-107 aralığı)

Yüksek = 135 (121-149 aralığı)

Ekstra Yüksek = 172 (162-190 aralığı)

Çok Ekstra Yüksek = 232 (204-246 aralığı)

Ultra Yüksek = 288 (260-301 aralığı)



Sprinkler Aktivasyonu

Yukarıda belirtildiği gibi, Tavan Jet Hızı (U_{jet}), Sprinkler Aktivasyon Denklemlerine dahil edilmek üzere hesaplanır. Tavan jet hızını belirlemek için iki farklı hesaplama vardır ve dedektör ile duman merkez hattı arasındaki radyal mesafenin dedektörün yangının üzerindeki yüksekliğine (r/H) bölünmesi hangi denklemin kullanıldığını belirler. Denklemler aşağıdaki gibidir:

$$U_{jet} = 0.96 (\dot{Q}_c)^{2/3} / H^{5/3} \quad \text{if } r/H \leq 0.15$$

ve

$$U_{jet} = (0.195 \dot{Q}_c^{1/3} H^{1/2}) / r^{5/6} \quad \text{if } r/H \geq 0.15$$

Sprinkler Aktivasyonu

Yukarıda belirtildiği gibi, Tavan Jet Hızı (U_{jet}), Sprinkler Aktivasyon Denklemlerine dahil edilmek üzere hesaplanır. Tavan jet hızını belirlemek için iki farklı hesaplama vardır ve dedektör ile duman merkez hattı arasındaki radyal mesafenin dedektörün yangının üzerindeki yüksekliğine (r/H) bölünmesi hangi denklemin kullanıldığını belirler. Denklemler aşağıdaki gibidir:

$$U_{jet} = 0.96 (\dot{Q}_c)^{2/3} / H^{5/3} \quad \text{if } r/H \leq 0.15$$

ve

$$U_{jet} = (0.195 \dot{Q}^{1/3} H^{1/2}) / r^{5/6} \quad \text{if } r/H \geq 0.15$$

Burada; U_{jet} = Tavan Jetinin Saniyede Metre Cinsinden Hızı

$\dot{Q}$ = Kilowatt biriminden ısı salınım oranı

H = Sprinklerin Yangın Üstündeki Metre Cinsinden Yüksekliği

R = Yangının Merkezi ile Sprinkler Arasının Metre Cinsinden Radyal Mesafesi

Sprinkler Aktivasyonu

Tavan jet sıcaklığı (T_{jet}) ayrıca dedektör ile duman merkez hattı arasındaki radyal mesafenin dedektörün yangının üzerindeki yüksekliğine (r / H) bölünmesiyle hesaplanır. Tavan sıcaklığını hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılır:

$$T_{jet} = 16.9 (\dot{Q}_c)^{2/3} / H^{5/3} + T_{ambient} \quad \text{if } r / H \leq 0.18$$