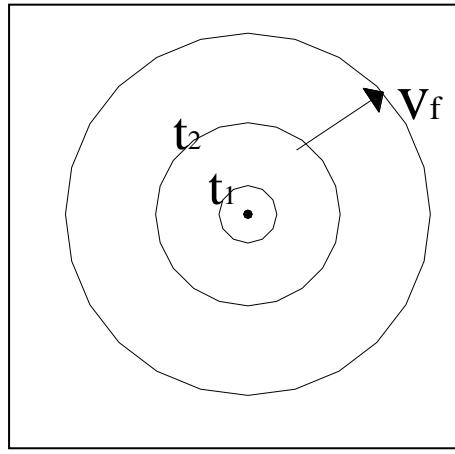


YANMA

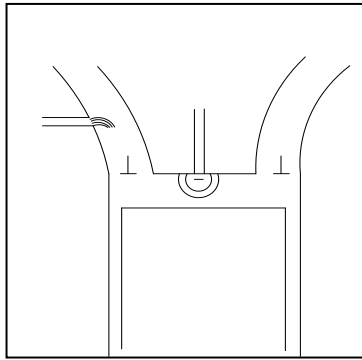
Alev kendi kendine ilerleyen ekzotermik bir reaksiyon tarafından meydana getirilir ve genellikle parlak ışıklı bir reaksiyon bölgesi aleve eşlik eder . Alev veya yanma bir yanıcı gaz karışımı içinde karakteristik bir hızla ilerler. Bu hızı alev hızı veya yanma hızı denir. Yanma stasyoner veya instasyonel olabilir . Yanma ortamındaki özellikler zamana bağlı değilse stasyoner aksi halde instasyoneldir .

Bir miktar yakıtın kapalı bir ortama enjekte edilmesinin ardından (örneğin mutfakta likit gazın sızmasıyla) uzunca bir müddet sonra yakıt molekülleri difüzyonla yayılarak tamamen hava içine karışacak ve homojen bir karışım oluşturacaktır. Bu karışım herhangi bir noktada tutuşturulduğu takdirde (örneğin bir kibrit yakılarak veya bir kıvılcım sonucu) alev tüm ortama bu noktadan itibaren yayılacak ve alev cephesi belli bir alev hızı v_f ile karışım içinde ilerleyecektir (Şekil 1.1).



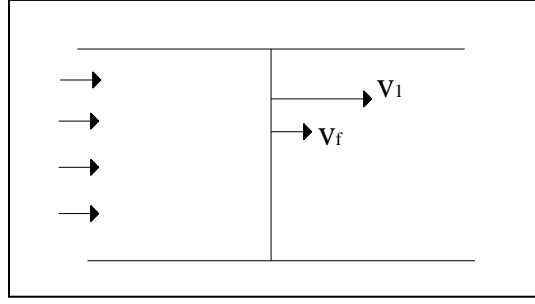
Şekil 1.1

Buna bir uygulama örneği olarak benzinli motorlardaki yanma gösterilebilir (Şekil 1.2). Silindir içine emilen benzin/hava karışımı piston tarafından sıkıştırıldıktan sonra, buji tarafından üst ölü nokta civarında ateşlenmekte ve silindir içine yayılan bir alev oluşturmaktadır.



Şekil 1.2

Buna karşılık karışım bir boru içinde bulunur ve düzlemsel bir alev cephesi oluşturulursa alev cephesi düzlemsel olarak boru içinde iki yönde yayılacaktır. Şekil 1.3’de bir boru içinde v_1 hızıyla hareket eden bir karışım görülmektedir. Bu durumda alev cephesi akıma ters yönde yanmamış karışım içine doğru ilerler. Alev cephesinin ilerleme hızı $v_2 = v_1 - v_f$ olur. Ancak karışım $v_1 = v_f$ hızı ile hareket eder ise alev cephesi stasyoner olacak yani sabit kalacaktır.

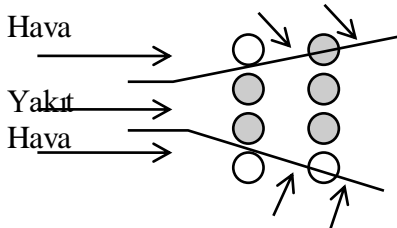


Şekil 1.3

Yanma veya alev çeşitleri yakıtla oksijenin (veya havanın) karıştırılmasına göre gruplandırılabilir.

- Ön karıştırmalı yanmalar (premixed)
 - Laminar
 - Laminar/türbülanslı
 - Türbülanslı
- Sonradan karıştırmalı yanmalar (difüzyonlu yanmalar)
 - Laminar
 - Laminar/türbülanslı
 - Türbülanslı
- Ön karıştırmalı ve difüzyonlu yanmalar
 - Laminar
 - Laminar/türbülanslı
 - Türbülanslı

Ön karıştırmalı laminar yanmalar uygulamada pek fazla rastlanmaz. Örneğin bazı enjektörlü gaz ocaklarında görülür. Kaynaka aletlerinde O_2 ile kesme ve yüzey temizlemede görülür. Böyle aletlerde laminar/türbülanslı durumlar da oluşur. Türbülanslı ön karıştırmalı yanmalar endüstride pek fazla kullanılmaz. Son zamanlarda gaz türbinlerinde geliştirilmektedir. Başka bir örnek tünel fırınlarıdır. Endüstriyel uygulamalarda en fazla görülen yanma tipi difüzyonlu yanmalardır. Bu tip yanmalarda yakıtla hava (O_2) yanma ortamına girdikten sonra bir araya gelir (Şekil 1.4). Difüzyon sonucu ki, bu moleküler (yani laminar) veya türbülans ile olabilir, yakıt molekülleri ve O_2 molekülleri birbiriyle temas eder ve ancak ondan sonra reaksiyona girilebilir.



Şekil 1.4

Endüstriyel uygulamalarda yanma genellikle türbülanslı olur. Çünkü hem debiler (dolayısıyla hızlar), hem de boyutlar büyüktür.

$$R_e = \frac{v.d}{\nu}$$

Bilindiği gibi Re sayısı büyüdükçe türbülans artmaktadır. Ancak bazı ısıtma fırınlarında laminar veya karışık tiplere rastlanabilir. Çünkü böyle fırınlarda akışkan hızı genellikle düşüktür ve bilhassa sıcaklığın çok yüksek olması kinematik viskoziteyi artırarak düşük Re sayısına sebep olur. Re sayısı görüldüğü gibi yakma sistemlerinin karakterize edilmesi için önemli bir ölçektir. Yakma sistemleri genellikle silindirik boru veya benzer geometrilere sahiptir. Silindirik geometri olmadığı takdirde hidrolik çap alınmalıdır:

$$d_h = \frac{4A}{\zeta}$$

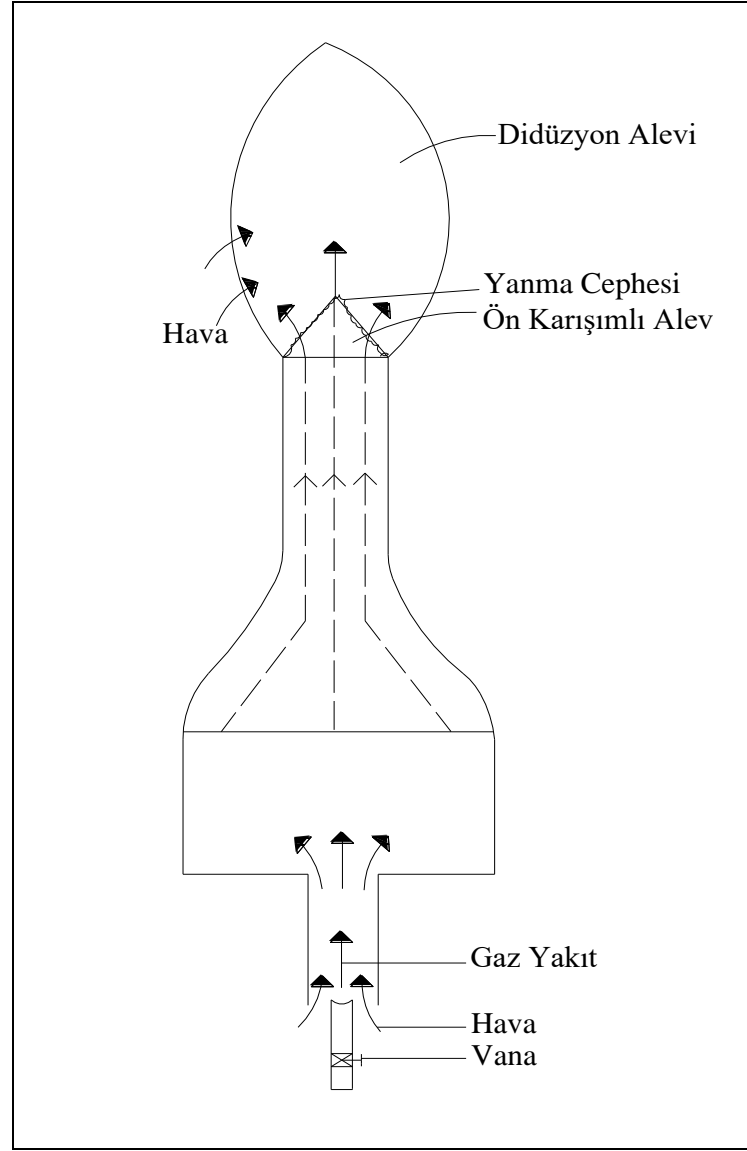
Burada A kesit alanını, ζ akışkanla temas eden (ıslak) çevreyi simgelemektedir.

Ön Karışmalı Alevler

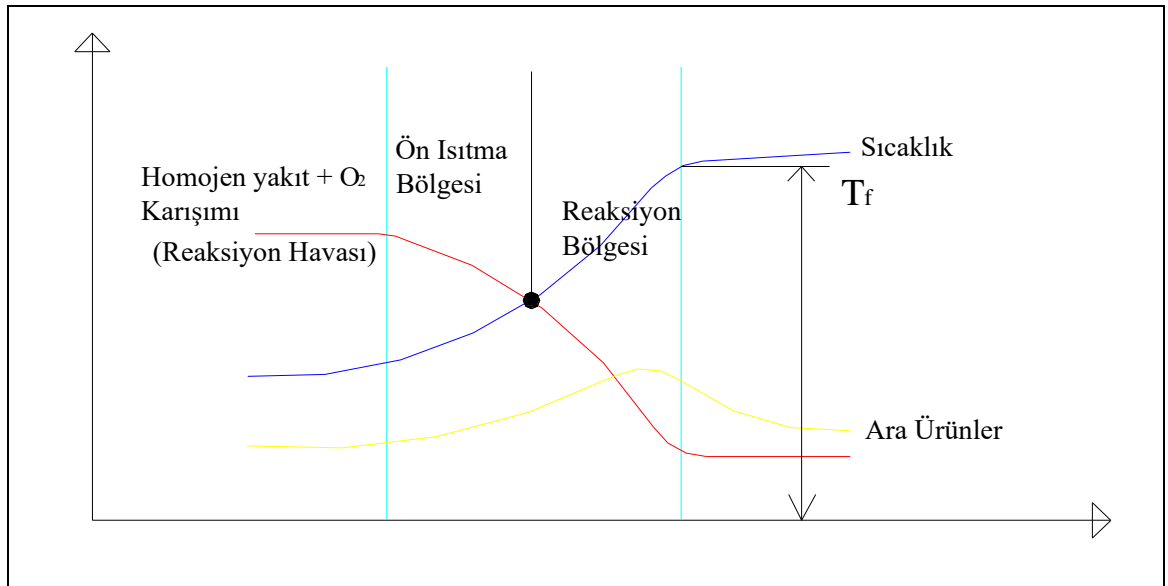
Ön karışmalı alevler seyrek uygulanmakla birlikte basit olmaları açısından önemlidir. En fazla görülen ön karıştırmalı yakıcı Bunsen brülörüdür (Şekil 1.5). Bu alette gaz yakıtla hava önceden karıştırılır ve borunun ağzında yakılır. Böyle birkaç yakıcı bir araya getirilerek bir ocak elde edilebilir. Karışma borusuna giren (birincil) hava minimum (stokiyometrik) hava miktarının altındadır. Bu nedenle şekilde görüldüğü gibi genellikle ön karışmalı yanmanın üzerinde difüzyon alevi oluşur. Alevin çevresindeki hava (eksik) yanma ürünleri içine difüzyonla karışarak yanmayı tamamlar. Ön karışmalı alev genellikle konik veya benzer şekilde olur. Reaksiyon bu konik yüzeyde çok ince bir tabakada olur ($\ll 1$ mm). Bu tabakadan sonra sadece tamamlayıcı reaksiyonlar olmaktadır.

Difüzyon alevi ise genellikle uzunca bir şekil alır. Reaksiyonlar bu ortamda olur ve dolayısıyla ön karıştırmalı alevlerden çok farklıdır. Bu nedenle ilk önce ön karıştırmalı yanmalardaki ince reaksiyon tabakası incelenecektir (Şekil 1.6).

Stasyonier bir yanmada yanma cephesi sabittir. Karışım içinde yanma hızı da hemen hemen sabittir. Buna göre yanma cephesi akışkan hızı ile yanma hızının eşit ve ters yönde olduğu geometrik bölgede oluşur.



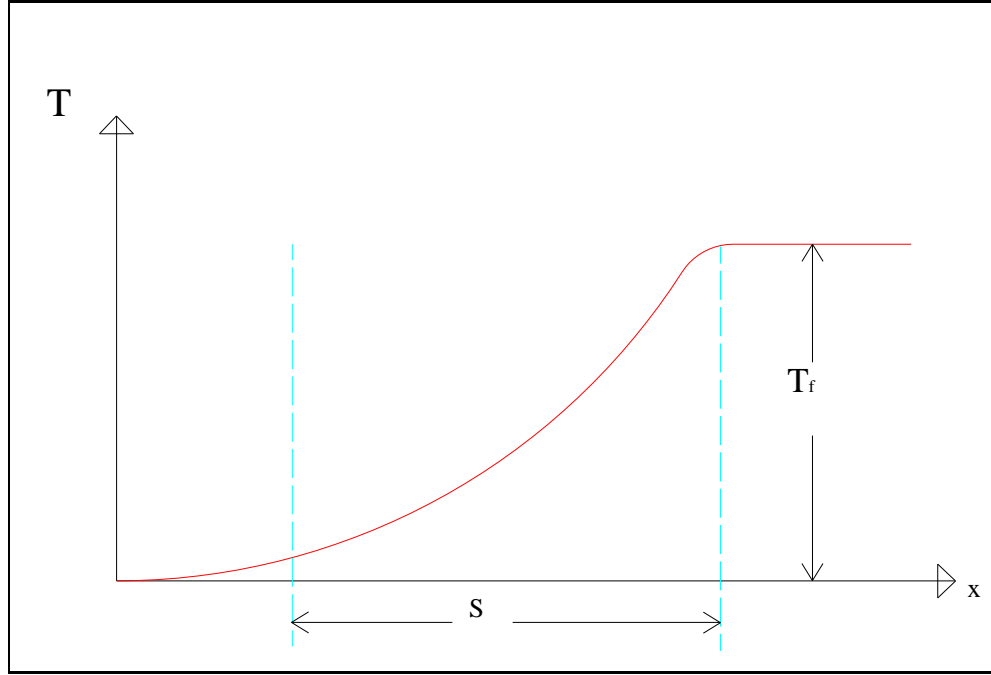
Şekil 1.5: Bunsen brülörü



Şekil 1.6: Ön karışmalı yanmada alev cephesi

Alev Yayılmasının Basit Teorisi

Alev yayılması ile ilgili ilk teoriler daha henüz bu yüzyılın başlarında Michelson, Nusselt, Mach, Le Chatelier (1900), Jost, Lewis, von Elbe (1938), von Karman (1955) gibi araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Bu durum alevin, ateşin tarihçesi göz önüne alındığında bu teorilerin ne kadar yeni olduğunu gösterir. Bu da bir yerde alevin çok karışık bir olay olmasından kaynaklanmaktadır. Onun için teoriler mümkün olduğu kadar basite indirgenmiştir. Önce düzlemsel ve stasyoner alev incelenecektir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7: Alev cephesinde sıcaklık değişimi

A: Yüzey

ρ_0 : Yanmadan önceki yoğunluk

ρ : Yanmadan sonraki yoğunluk

v : hız

Λ : Yanma hızı

δ : Yanma cephesinin kalınlığı

λ : iletim katsayısı

$$\dot{m} = \rho_0 v_0 A = \rho(T) \cdot v(T) \cdot A = -\rho_0 \cdot \Lambda \cdot A \quad (1.1)$$

$$\dot{Q}_R = -\frac{dc_Y}{dt} \cdot \delta \cdot A \cdot \Delta h = \dot{Q} = \dot{m} \Delta h \quad (1.2)$$

$$\frac{dc_Y}{dt} = \frac{d\dot{m}_Y}{dt} \cdot \frac{1}{V}$$

Kondüksiyon (iletim) ile transfer edilen ısı

$$\dot{Q}_{kond} = -\lambda \frac{dT}{dx} \cdot A = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} A = -\lambda \frac{T_F - T_0}{\delta} A \quad (1.3)$$

Adiyabatik yanmada denge halinde

$$\dot{Q}_R = \dot{Q}_{kond}$$

olur. Böylece

$$\frac{dc_Y}{dt} \delta \cdot A \cdot \Delta h = \frac{\lambda}{\delta} (T_F - T_o) A \quad (1.4)$$

$$\Delta h = C_p (T_F - T_o) \quad (1.5)$$

$$\delta^2 = \frac{\lambda}{C_p \frac{dc_Y}{dt}} \rightarrow \delta = \left(\frac{\lambda}{C_p \frac{dc_Y}{dt}} \right)^{1/2} \quad (1.6)$$

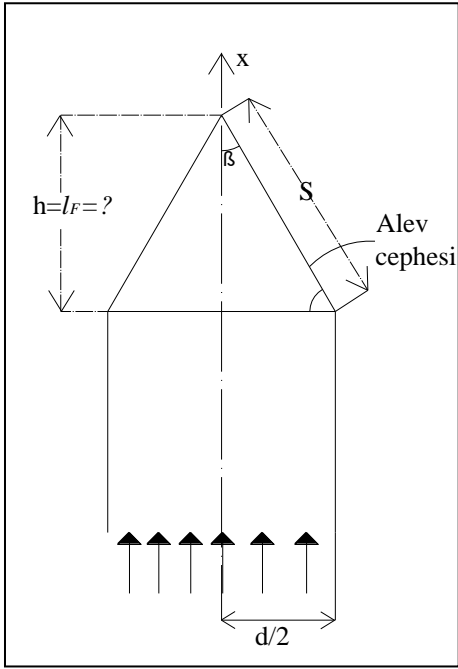
olur. Buna göre alev cephesi kalınlığı δ , ısı iletim katsayısı λ büyüdükçe büyüyecek, reaksiyon hızı büyüdükçe küçülecektir. Diğer taraftan

$$\Lambda = \frac{1}{\rho_0} \frac{dc_Y}{dt} \delta \quad (1.7)$$

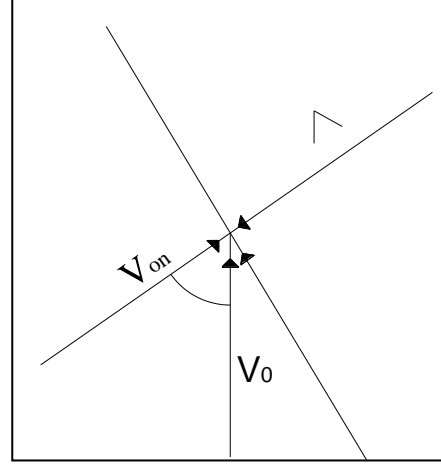
$$= \frac{1}{\rho_0} \frac{dc_Y}{dt} \left(\frac{\lambda}{C_p \frac{dc_Y}{dt}} \right)^{1/2} = \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\lambda \frac{dc_Y}{dt}}{C_p} \right)^{1/2} \quad (1.8)$$

olur. Buna göre Λ , λ ve $\frac{dc_Y}{dt}$ büyüdükçe artar, C_p büyüdükçe azalır.

Alev Boyu ve Şekli



Şekil 1.8



Λ , bütün reaksiyon ortamında sabit olsun: $\Lambda \neq \Lambda(r)$

Aranan $l_F=?$, $x_F(r) = ?$

Geometriden;

$$l_F^2 = s^2 - \frac{d^2}{4}$$

$$l_F = \sqrt{s^2 - \frac{d^2}{4}}$$

Yanma cephesindeki hız vektörleri

$$v_{on} = -\Lambda = v_0 \cos \alpha$$

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= -\frac{\Lambda}{v_0} \\ \cos \alpha &= \frac{d/2}{s} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{d/2}{s} &= -\frac{\Lambda}{v_0} \\ s &= -\frac{v_0}{\Lambda} \frac{d}{2} \end{aligned}$$

$$l_F = \sqrt{\left(\frac{v_0}{\Lambda}\right)^2 \frac{d^2}{4} - \frac{d^2}{4}} = \frac{d}{2} \sqrt{\left(\frac{v_0}{\Lambda}\right)^2 - 1} \quad (1.15)$$

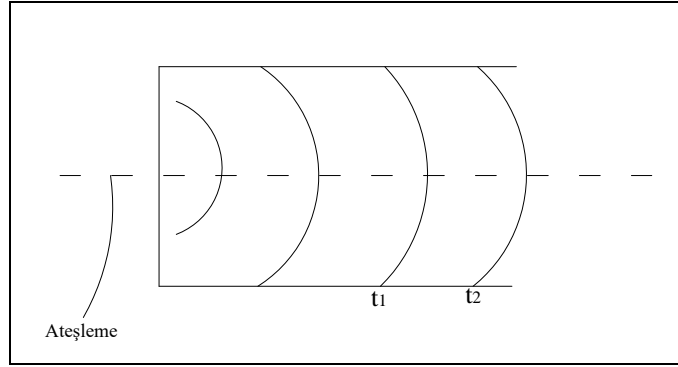
$\frac{v_0}{\Lambda} \gg 1$ için (yani $v_0 \gg \Lambda$)

$$l_F \approx \frac{d}{2} \frac{v_0}{\Lambda} \quad (1.16)$$

(1.15) eşitliği Λ nın deneyle tespit edilmesini sağlar.

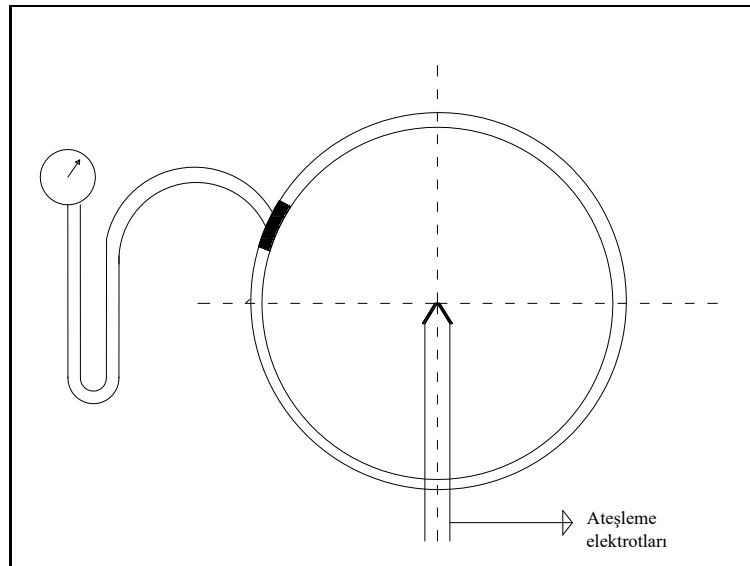
$$\Lambda = \frac{v_0}{\sqrt{\left(\frac{l_F}{d}\right)^2 4 + 1}} \quad (1.17)$$

Bu metot oldukça doğru sonuçlar vermektedir. Bundan başka bazı metotlar da kullanılır. Örneğin bir boru içinde bulunan bir karışımın ateşlenmesi ve yanma cephesinin ilerlemesinin izlenmesiyle Λ ölçülebilir (Şekil 1.9). Çok hızlı bir kamera ile t_1 ve t_2 zamanlarında fotoğraf çekilir. İki cephe arasındaki mesafe ve zaman farkından Λ bulunur.



Şekil 1.9

Şekil 1.10'da bomba adı verilen başka bir ölçüm cihazı görülmektedir. Küresel bir geometrisi olan bir kap içinde alev hızı ölçülecek karışım doldurulmuştur. Kürenin merkezinde gerçekleştirilen ateşlemeden itibaren basınç artışına kadar geçen zaman Δt ölçülür. Bu zaman içinde alev cephesi yarıçap r kadar bir mesafe alacağından yine mesafe ve zaman farkı ile Λ bulunur: $\Lambda = r / \Delta t$.



Şekil 1.10

Alev konisinin yüksekliğinin ölçümüne göre elde edilen bazı alev hızları aşağıdaki tabloda sıralanmıştır.

| Gaz yakıt | χ_{st} | Λ_{st} (m/s) | χ_{max} | Λ_{max} (m/s) |
|--|-------------|----------------------|--------------|-----------------------|
| CH ₄ | 0.095 | 0.42 | 0.102 | 0.43 |
| C ₂ H ₆ | 0.056 | 0.48 | 0.06 | 0.49 |
| C ₃ H ₈ | 0.041 | 0.46 | 0.043 | 0.47 |
| C ₂ H ₆ (Asetilen) | 0.078 | 1.55 | 0.093 | 1.68 |
| H ₂ | 0.296 | 2.37 | 0.425 | 3.46 |
| CO | 0.296 | 0.17 | 0.415 | 0.20 |

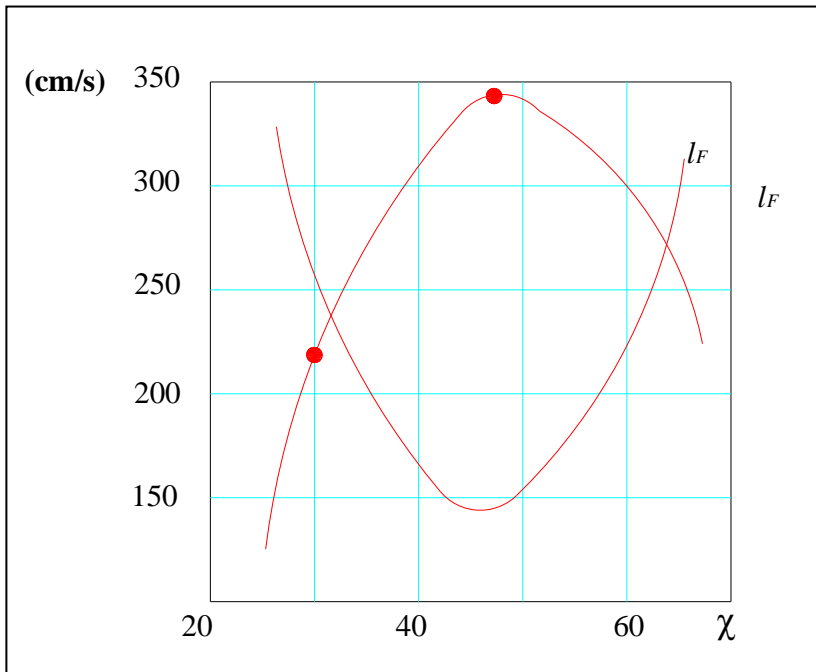
Burada yakıt konsantrasyonu χ =Yakıt miktarı/Karışım miktarı olarak tanımlanmıştır. Bu durumda bir yakıt için

$$\chi = \frac{1}{1 + \lambda H_{min}} = \frac{1}{1 + 4,76\lambda O_{min}}$$

olmaktadır. Burada λ hava fazlalık katsayısı, O_{min} minimum oksijen ihtiyacı, H_{min} minimum hava ihtiyacıdır. Örneğin $H_2 + 0,5(O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow H_2O + 1,88 N_2$ reaksiyonu için stokiometrik karışım halinde konsantrasyon

$$\chi_{st} = \frac{1}{1 + 4,76 \cdot 0,5} = 0,296$$

olmaktadır. Alev hızı gaz yakıt/hava karışımındaki konsantrasyona bağlıdır. Örneğin Şekil 1.11’de H₂’nin konsantrasyonuna bağlı alev hızı görülmektedir. Ayrıca alev boyu da nitelik olarak verilmiştir. Prensip olarak diğer gaz yakıtlarda da durum benzerdir.



Şekil 1.11